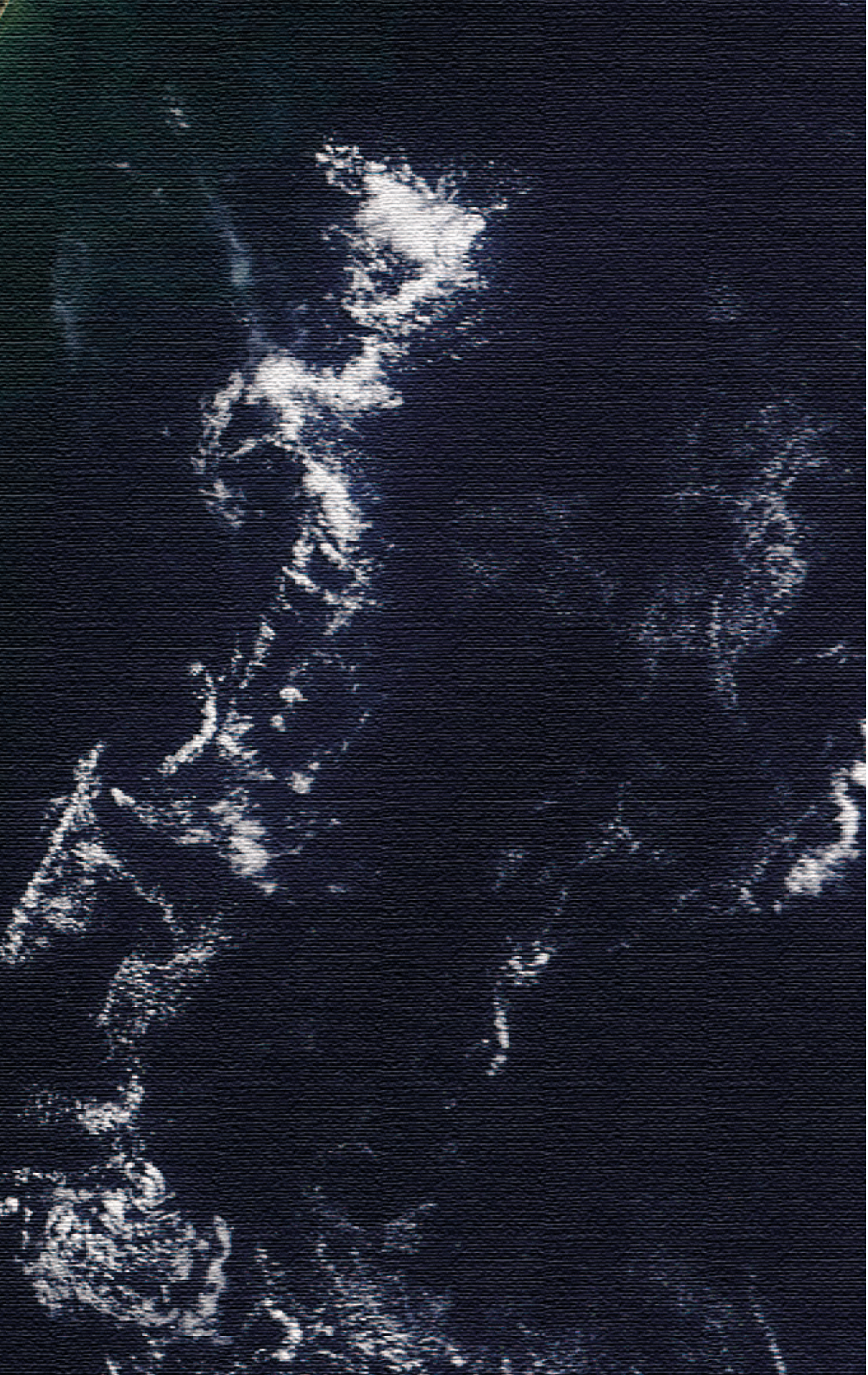
Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos

Pablo Gristo
Gerardo Veroslavsky
Héctor de Santa Ana
Editores

ANCAP



Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos

Pablo Gristo
Gerardo Veroslavsky
Héctor de Santa Ana
Editores

Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos

© 2024, Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP)

Editores: Pablo Gristo, Gerardo Veroslavsky y Héctor de Santa Ana

Producción editorial: Doble clic · Editoras

Corrección y edición de mapas: Rodrigo Novo

Organización de bibliografía: Bruno Conti

ISBN: 978-9915-689-22-7

DOI: 10.70952/a8827tmu

Cómo citar: P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, doi: 10.70952/a8827tmu

Las opiniones vertidas por los autores no representan, involucran ni comprometen a las instituciones a las cuales pertenecen o en las que trabajan.

En la elaboración de este material se ha buscado que el lenguaje no invisibilice ni discrimine a las mujeres y a la vez que el uso reiterado de "/o", "/a", "los y las", etcétera, no dificulte la lectura.

1.ª edición, diciembre de 2024
Montevideo, Uruguay

Contenido

Prólogo 7
Alejandro Stipanicic

Parte 1: Identidad y soberanía

Capítulo 1.1
La identidad del Uruguay con su mar: algunas notas introductorias 11
Yamandú Marín, Omar Defeo y Gerardo Caetano

Capítulo 1.2
Derecho y territorio marítimo 23
Carlos Mata Prates

Capítulo 1.3
Nuestra última frontera:
la determinación del límite exterior de la plataforma continental uruguaya 39
Gerardo Veroslavsky, Pablo Rodríguez, Nelson Ucha, Héctor de Santa Ana,
José Domínguez, Fernando Preciozzi y Carlos Mata Prates

Capítulo 1.4
Regulaciones para el uso del espacio marítimo 67
María Victoria Zorrilla Ferrés

Parte 2: Naturaleza

Capítulo 2.1
Rasgos morfosedimentarios del margen continental uruguayo 91
Adam Kirby, Sara Rodrigues, Ethel Morales, Matías Soto, Leticia Burone, Pablo Rodríguez, Bruno Conti,
Héctor de Santa Ana, Phil Thompson, Gianluca Badalini, Pablo Gristo Savornin y Javier Hernández-Molina

Capítulo 2.2
Geología del margen continental uruguayo 107
Ethel Morales, Bruno Conti, Matías Soto, Gerardo Veroslavsky, Josefina Marmisolle,
Rodrigo Novo y Héctor de Santa Ana

Capítulo 2.3
La circulación oceánica en la zona económica exclusiva uruguaya 127
Gastón Manta, Marcelo Barreiro, Romina Trinchín y Camila De Mello

Capítulo 2.4
Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas:
estructura, funcionamiento y potenciales riesgos 153
Pablo Muniz, Ernesto Brugnoli, Danilo Calliari, Natalia Venturini y Beatriz Yannicelli

Capítulo 2.5
Estrategias para la conservación de la biodiversidad marina en Uruguay 183
Sebastián Horta, Mariana Ríos, Romina Trinchín y Yamandú Marín

Parte 3: Recursos

Capítulo 3.1
Sistemas petroleros del margen continental uruguayo 215
Héctor de Santa Ana, Bruno Conti, Ethel Morales y Rodrigo Novo

Capítulo 3.2
Hidratos de gas 237
Juan Tomasini

Capítulo 3.3
Recursos pesqueros marinos en Uruguay: situación actual y perspectivas 253
Yamandú Marín, Omar Defeo, Sebastián Horta, Julio Chocca y Nazarena Beretta

Capítulo 3.4
Energías renovables costa afuera 279
Lucila Arboleya Sarazola y Pablo González Gascón y Marín

Capítulo 3.5
Depósitos de minerales marinos en el Atlántico Sudoccidental 297
Daniel R. McConnell

Parte 4: Desafíos y oportunidades

Capítulo 4.1
Desafíos desde la ingeniería marítima: bases para el desarrollo de un sistema de pronóstico integrado del territorio marítimo nacional 321
Mónica Fossati, Rodrigo Alonso, Fernanda Maciel, Rodrigo Mosquera, Pablo Santoro, Sebastián Solari y Francisco Pedocchi

Capítulo 4.2
Desarrollo marítimo y navegación 355
Mónica Ageitos

Capítulo 4.3
Aspectos e impactos ambientales de usos y actividades en el territorio marítimo uruguayo 371
Pablo Gristo Savornin

Capítulo 4.4
Caracterización y perspectivas de la planificación espacial marino-costera en Uruguay 437
Luciana Echevarría Fratti, Rafael Tejera, Alberto Gómez, Marcela Caporale y Daniel Conde

Capítulo 4.5
La transición energética y el offshore de Uruguay 487
Santiago Ferro, Natalia Blánquez, Cecilia Romeu, Josefina Marmisolle y Juan Tomasini

Epílogo 511
Pablo Gristo Savornin, Héctor de Santa Ana y Gerardo Veroslavsky

Bibliografía 519

Prólogo

Me siento muy honrado y es un orgullo presentar esta obra titulada *Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos*, que tiene como objetivo divulgar el estado del conocimiento científico, cultural, social y económico de ese enorme espacio sobre el que la República Oriental del Uruguay ejerce su soberanía y tiene derechos, obligaciones y responsabilidades asumidas en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar y otros diversos acuerdos multilaterales.

La superficie de la Tierra, nuestro único hogar, está constituida por masas continentales, mares y océanos. Los océanos cubren alrededor del 70% de la superficie terrestre y juegan un rol fundamental para la humanidad. Proporcionan los recursos que sostienen a la sociedad moderna y aportan los elementos fundamentales para mantener la vida en nuestro planeta.

En las últimas décadas, el mundo ha sido testigo de los efectos del cambio climático y de las crecientes presiones que ejercen las actividades humanas sobre los ecosistemas marinos y costeros. Conservar estos ecosistemas ante las crecientes amenazas de la humanidad se ha vuelto cada vez más imperioso, considerando que la mitad de la población mundial vive dentro de una zona costera, situación que no nos es ajena como país.

En este libro se pone de manifiesto que el conocimiento y la comprensión de los fenómenos físicos, biológicos, sociales y económicos de nuestro territorio marítimo también son relevantes para lograr nuestro bienestar y, de hecho, vitales para nuestra supervivencia. Sólo sobre la base del conocimiento se podrá hacer un uso racional del mar, que permita lograr un equilibrio entre su conservación y la explotación de sus recursos.

Los sucesivos capítulos de esta obra plasman la idea de que nuestro territorio marítimo es y será un protagonista esencial en la alimentación, la salud, la energía y la economía de nuestra sociedad. Se desprende también que es sobre la base de ese conocimiento que se puede ejercer una plena soberanía nacional sobre ese territorio. Este conocimiento científico y tecnológico, en apoyo a los esfuerzos diplomáticos, fue el que permitió a Uruguay extender su plataforma continental hasta muy cerca de las 350 millas marinas. Este proceso se inició con la ratificación de la Convención sobre el Derecho del Mar, en octubre de 1992, y culminó en agosto de 2016, con la recomendación de la Comisión de

Límites de la Plataforma Continental acerca del establecimiento del límite exterior de la plataforma continental uruguaya.

ANCAP es un usuario y un actor relevante en el territorio marítimo uruguayo; ingresa por la costa oceánica el crudo que luego de transformado mueve al país, asegura la provisión de combustible marítimo, promueve la exploración de petróleo y gas, y es impulsor de otros proyectos para el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables costa afuera del Uruguay. Por tal motivo, también tiene una responsabilidad en la conservación y el uso sostenible de este territorio y sus recursos, en línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 y la Agenda de Sostenibilidad 2030 aprobada por las Naciones Unidas.

La presente obra es una contribución más a dichos objetivos, a través de la divulgación de conocimiento que busca estimular el debate y permite tomar acciones basadas en información de calidad. Esta ha sido una vocación de ANCAP, que ha contribuido con una sustantiva base de datos ambientales, oceanográficos y meteorológicos de uso público y permitido el acceso a datos geofísicos y geológicos para la concreción de proyectos de investigación, maestrías y doctorados en la Universidad de la República y en centros de investigación internacionales.

Nuestra identidad nacional, nuestra cultura y nuestra historia están directamente arraigadas en ese mar. Miles de uruguayos están vinculados directa o indirectamente a él a través de actividades económicas tradicionales e históricas como los puertos, el transporte y la logística, o la pesca. Sin embargo, para buena parte de nuestra sociedad aún parece ser algo ajeno a la actividad rutinaria, una parte del país muy distante, compleja, peligrosa, desconocida y, particularmente, no valorada en su real dimensión.

Deseo que esta obra tenga un alcance amplio, que provoque y estimule la reflexión y la búsqueda de nuevos conocimientos. Espero que sea también un disparador y una herramienta útil para el debate y que más uruguayos se sientan identificados con este territorio. Uruguay no puede vivir de espaldas a su mar.

El libro logró reunir a 57 prestigiosos técnicos, profesionales y científicos, nacionales y extranjeros, pertenecientes a diversas instituciones y organismos públicos y privados, que representan una variedad de disciplinas, experiencias y opiniones, y contribuyeron honorariamente a la presente obra. Felicito a los editores, que impulsaron y organizaron este proyecto, y a los autores, que con su contribución hicieron que esta obra sea posible.

Alejandro Stipanicic
Presidente de ANCAP

Parte 1
Identidad y soberanía

Capítulo 1.1

La identidad del Uruguay con su mar: algunas notas introductorias

Ciudad Vieja al puerto. Fotografía de Margarita González Rodríguez-Villamil (margamegpics@gmail.com).

Capítulo 1.1
La identidad del Uruguay con su mar: algunas notas introductorias

Yamandú Marín,[1,2] Omar Defeo[3] y Gerardo Caetano[4]

[1] *Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca*

[2] *Ciencias Ambientales Marinas y Sustentabilidad (CiAMS), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[3] *Laboratorio de Ciencias del Mar (UNDECIMAR), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[4] *Departamento de Ciencia Política, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República*

La identidad de los uruguayos con el mar está profundamente arraigada en su cultura e historia. Con gran parte de la población viviendo en la zona costera, Uruguay posee una larga tradición marítima. A sus 176.215 kilómetros cuadrados de superficie terrestre se deben agregar una zona económica exclusiva, el suelo del Río de la Plata, aguas compartidas y un sector de la plataforma continental, todo lo que, en conjunto, supera su espacio terrestre. Montevideo nació en el siglo XVIII (en un proceso fundacional que transcurrió entre 1724 y 1730), entre un cerro y una bahía. Fueron los portugueses, quienes ya habían fundado la Colonia del Sacramento en 1680, más hacia el oeste del estuario, los que radicaron en 1723 un primer contingente fundacional, convencidos de la importancia estratégica del enclave. Advertidos de la ocupación, los españoles radicados en Buenos Aires los desalojaron de inmediato y comenzaron enseguida la construcción de una plaza fuerte que sirviera para controlar el afán expansionista portugués en el Plata. Muy pronto, el puerto (la bahía natural más importante del estuario) comenzaría a ganarle la partida a la plaza fuerte, marcando el destino de la ciudad para siempre.

En contrapartida, Buenos Aires y Asunción habían nacido en el siglo XVI; la metrópoli porteña de espaldas al río. El despliegue majestuoso de Buenos Aires constituyó un fenómeno esencialmente urbano, cultural. El puerto que se construyó allí fue siempre artificial, tanto como el desarrollo de todas las dependencias de la que llegaría a ser la capital política de los dominios españoles en la región, condición coronada con su nombramiento como capital del Virreinato del Río de la Plata, constituido en 1777. Desde la orilla argentina, el Río de la Plata fue percibido como una prolongación de la superficie

infinita y monótona de la Pampa, donde la costa no es el límite de la tierra (Torres Corral, 2011), "… como una pampa de agua, abierta a todas las partidas, a todas las llegadas. Ese río desaparece en su amplitud misma" (Ocampo, 1929, p. 148).

En ese marco, tanto su consideración desde el punto de vista puramente científico como si se tiene en cuenta exclusivamente su valor económico, el Río de la Plata para ambas márgenes posee una riqueza incalculable, frente a la que aún no se tienen elementos suficientes para asegurar un valor siquiera aproximado (López Campaña y Castells Carafi, 1925, tomo III, p. 226).

En la celebración del Centenario del Uruguay se organizó una serie de actos, exposiciones y publicaciones dedicados a mostrar los avances de la república. En su edición, dispuesta en nueve tomos y 1100 páginas, publicada en 1925, *El libro del centenario del Uruguay: 1825-1925* reunió los más diversos temas, incluyendo la historia, la demografía, el régimen político y social, estadísticas, industria y comercio, cultura y enseñanza en todos los niveles, condiciones y riquezas naturales, puertos y comunicaciones, vida departamental, entre otros, en un extenso repaso de los avances y desafíos del país. Con gran parte de sus análisis centrados en su evidente futuro agropecuario, no dejan de aparecer referencias a los espacios marinos, especialmente al transporte marítimo y sus puertos, con énfasis en el puerto de Montevideo, comercio, balizamiento, seguridad en la navegación y recursos naturales. En la fecha de publicación de esta obra emblemática, el Río de la Plata era también un tema de controversia entre los países limítrofes, que se disputaban la jurisdicción del Río y del océano Atlántico. No obstante, el impulso de la producción, la inmigración y el intercambio comercial marcaban ya las potencialidades del desarrollo del puerto, una flota mercante nacional y un renovado interés por los recursos pesqueros.

Montevideo más allá de la rambla

De modo paradójico, desde el inicio de su proceso fundacional en 1724 hasta la primera década del siglo XX, Montevideo a su manera también le dio la espalda al mar. Era una "casa con sus ventanas del frente cerradas", como advirtió en 1910 Lord Grimthorpe, el representante de una compañía inglesa interesada en la construcción de una avenida costanera sobre el Río de la Plata (Torres Corral, 2011).

Por su parte, durante su segunda presidencia, José Batlle y Ordóñez impulsó una fuerte política de inversión de capitales públicos en obras directamente vinculadas al turismo, al tiempo que estimuló la inversión privada en dicha actividad. La obra emblemática de la transformación de Montevideo en ciudad balnearia fue, precisamente, la construcción de la rambla, una avenida costanera comprendida entre el extremo de la península y el límite este de la ciudad (Torres Corral, 2011).

El proyecto de la rambla siguió las directrices de la política municipal de espacios públicos montevideanos, que procuraba integrar un conjunto de estrategias destinado a converger en una política pública que buscara la mejora de las condiciones de vida de la población, especialmente de los sectores menos

privilegiados (Torres Corral, 2011). En ese contexto, la construcción de la Rambla Sur estuvo asociada a un momento histórico particular, pautado

> … por un clima de optimismo, que se reflejaba en la realización de obras colosales, como el Hotel Casino Carrasco (1921), el Palacio Salvo (1929), el Palacio Legislativo (1925), el Hospital de Clínicas (1929), el Palacio Municipal (1930) o el Estadio Centenario (1930). (CDF, 2012)

La construcción del tramo de la rambla correspondiente a la Ciudad Vieja trajo consigo cambios en el espacio y en la composición social de la zona. Se expropiaron los predios limítrofes con el espacio que ocuparía la rambla, varias calles fueron ensanchadas, otras desaparecieron y se crearon explanadas.

> La demolición de estas viviendas de mediados de siglo XIX, en donde funcionaban burdeles, almacenes, cafés y casas de baile, (impulsó) la revalorización general de este espacio, provocando el desplazamiento de parte de la población del barrio hacia otras zonas de la ciudad. (CDF, 2012)

Las obras se iniciaron en 1923, el borde costero fue modificado, rectificando algunos tramos mediante el avance sobre el Río de la Plata y eliminando entrantes y playas, manteniendo la mayoría de los afloramientos rocosos como defensa natural del muro de contención. Incluso el Templo Inglés fue demolido y construido en otro enclave, esta vez de frente al mar (CDF, 2012).

Los límites del territorio

Durante las primeras décadas de la vida independiente, el incipiente Estado Oriental, así como sus vecinos, como identidades políticas en vías de formación, participaron de una historia que básicamente fue común y en muchos aspectos indistinta. Los Estados nacionales y, sobre todo, las naciones no estaban conformados en el Río de la Plata hacia 1830, año de emergencia del Estado Oriental, tras la Convención Preliminar de Paz de 1828. Proliferaban por entonces, como ha sido estudiado largamente, una multiplicidad de identidades que iban desde distintas formas que referían a las nociones de lo provincial, lo regional y aun lo continental. Los grandes conflictos y procesos sociales se dirimían en el territorio de la región. No existían fronteras jurídicas, políticas ni económicas. El gran negocio de la región era el llamado comercio de tránsito, con los grandes ríos como hidrovías disponibles y disputadas, y las incipientes configuraciones sociales y las primeras cadenas inmigratorias se asociaban a poblaciones que se desplegaban y radicaban con muy vagos sentimientos de límites (Caetano, 2012). La primera Constitución uruguaya, por ejemplo, jurada en forma solemne el 18 de julio de 1830, no fijaba fronteras, ante la definición manifiesta de sus vecinos acerca de que el Estado emergente muy bien podía llegar a ser provisorio (Caetano, 2007).

Como antes se anotara, la jurisdicción del Río de la Plata fue fuente de conflictos con Argentina, en particular a inicios del siglo XX. Rodríguez Ayçaguer (2019) ha analizado los contenciosos derivados de la indefinición de los límites entre Uruguay y Argentina en el Río de la Plata entre 1907 y 1910. Uno de los eventos que aumentaban la tensión entre ambos países era el decreto del 3 de agosto de 1907, que autorizaba el uso de redes de arrastre a una distancia de cinco millas de la

costa y hasta la mitad de Río, resolución que fue considerada por el gobierno de Argentina como "gravísima". Existían dos tesis diferentes respecto de la jurisdicción de las aguas del Río de la Plata: la uruguaya afirmaba que ambos Estados ribereños tenían soberanía sobre el Río de la Plata, hasta la línea del medio del río; por el contrario, la tesis argentina ratificaba su soberanía exclusiva y absoluta sobre todo el Río de la Plata (Cisneros y Escudé, 1999).

Ante el agravamiento de la tensión argentino-uruguaya, el 5 de enero de 1910 se firmó un protocolo que expresaba la voluntad de ambas partes de negociar, difiriendo la solución del litigio para el futuro (Protocolo Ramírez-Sáenz Peña):

> Art 3º- La navegación y uso de las aguas del Río de la Plata continuará sin alteraciones como hasta el presente, y cualquier diferencia que con ese motivo pudiese surgir será allanada y resuelta con el mismo espíritu de cordialidad y buena armonía que ha existido siempre entre ambos países.

Medio siglo más tarde, este espíritu posibilitó alcanzar el Tratado de Límites del Río Uruguay y la Declaración Conjunta sobre el Límite Exterior del Río de la Plata (1961). El acuerdo definitivo se firmaría en 1973, con el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo.

Obstáculos, naufragios y faros

Este tema de la jurisdicción binacional era uno más de los problemas que presentaba el transporte en el Río de la Plata y el océano Atlántico a principios del siglo XX. La navegación en el Atlántico era compleja y la entrada o salida del Río de la Plata sumaba obstáculos, tal como lo atestiguan los numerosos naufragios ocurridos en la costa uruguaya.

> Desde el año 1862 hasta 1923 inclusive, se registraron 543 siniestros marítimos, correspondientes a veleros, 367 y a vapores 176. Fueron salvados 233 y se perdieron 227 buques. Ocurrieron los siniestros, 20 en el Río Uruguay; 105 en el Puerto y rada de Montevideo; 104 en el Banco Inglés; 24 en la Isla de Lobos 245 en el resto del Río de la Plata; 12 en Castillos; 33 en el resto del Atlántico. (López Campaña y Castells Carafi, 1925, p. 283)

Islas, bajos y bancos fueron el triste destino final de muchas embarcaciones, con un desafío particular en el Banco Inglés. Esta zona era considerada como un peligro para la navegación desde la primera colonización, en el siglo XVI, indicándose especialmente en la cartografía desde 1576 (Lezama, 2000; Reitano, 2003). Fueron reportadas al menos cien embarcaciones hundidas y varadas entre 1863 y 1979, y existen aún numerosos cascos visibles (Bertocchi Morán, 2013). De todos modos, considerando su extensión y morfología, no se registra otra formación similar al Banco Inglés en todo el Río de la Plata, lo cual ha motivado iniciativas para su señalización desde el siglo XIX, al igual que el balizamiento de otros peligros para la navegación.[1] A partir de la construcción del faro del Cerro de Montevideo, en 1802, se sucedieron las instalaciones de los faros de Isla de Flores, Colonia y otros diez hasta 1977. El Estado reunió recursos a través de impuestos para construir estas ayudas a la navegación (Ley n.º 425, del 28 de abril de

1 Un pontón fue instalado para señalar las cercanías del Banco Inglés entre 1857 y 1973.

1855), lo que fue complementado posteriormente con el balizamiento de canales y nueva cartografía. A los relevamientos reunidos y ampliados por la Dirección de la Armada a partir de 1916 y con la disposición de buques hidrográficos (el actual buque escuela Capitán Miranda, entre otros), se generaron cartas nacionales del Río de la Plata y el océano Atlántico, tarea que actualmente realiza el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) (Armada Nacional, 2016).

Todo este sistema de ayudas a la navegación construido y adaptado a lo largo de dos siglos no estuvo exento de fallos. Con el agregado de los cambios tecnológicos a nivel global (radares, GPS, etc.), desde mediados del siglo XX los naufragios disminuyeron en forma sostenida, aunque los accidentes ocurren y con consecuencias trágicas (Isla de Flores, en 1954; Ciudad de Asunción, en 1963; Royston Granger, en 1972; San Jorge, en 1997).

Tratados internacionales

El Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, firmado con Argentina en 1973, resolvió las diferencias limítrofes y construyó una referencia jurisdiccional que permitió la administración conjunta de los recursos comunes, las actividades y la solución de controversias.

Con una impronta esencialmente latinoamericana, la tesis de las doscientas millas como zona económica exclusiva fue adoptada por muchas naciones, plasmada en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) y tempranamente adoptada por Uruguay. En ese marco, al inicio del siglo XXI Uruguay reclamaba la extensión de la plataforma continental, extendiendo su soberanía al borde de las trescientas cincuenta millas a partir de la línea de base, superando definitivamente la superficie terrestre del país.

El interés nacional por el espacio marítimo no se limitó al Río de la Plata y la plataforma continental adyacente, sino que se extendió también hacia el sur. Como apostadero naval desde los tiempos coloniales, el puerto de Montevideo era la base de operaciones de barcos que cazaban ballenas en el Atlántico Sur, en los siglos XVIII y XIX, a lo largo de la Patagonia, Islas Malvinas y Shetland del Sur. Tuvo especial relevancia el intento de rescate de la expedición de Shackleton, que aspiraba a atravesar por tierra el continente antártico. El barco que los transportaba quedó atrapado en el hielo del Mar de Weddell, los tripulantes se desplazaron a la Isla Elefante y después de una larga odisea lograron ser rescatados. Uno de los barcos que participaron en esas operaciones de rescate fue el Instituto de Pesca n.º 1, en 1916, del recientemente creado Instituto de Pesca, que llegó a destino pero no pudo desembarcar en la isla.

No sería la última participación de Uruguay en la zona austral. En la década del cuarenta surgía el concepto de "Antártida sudamericana" y se afirmaban reclamos territoriales que fueron antesala de la firma del Tratado Antártico en 1959. El Estado mantuvo una posición activa con la creación del Instituto Antártico Uruguayo (1968), la promoción de la Primera Convención Nacional Antártica (1970) y el ingreso como miembro adherente al Tratado Antártico en 1980 y como miembro pleno en 1985.

Actualmente, Uruguay mantiene bases en la Antártida, donde se realizan actividades científicas con la participación de varias instituciones programadas y coordinadas por el Instituto Antártico Uruguayo. Participa también en actividades pesqueras reguladas por la Convención para la Conservación de Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA).

Planes y expectativas

... la mina pesquera no se agota jamás...

Leoncio Lasso de la Vega

El Uruguay ingresa en el siglo XX con la consolidación de una economía agraria, comercial y de servicios, así como con un peso determinante de las actividades vinculadas al comercio exterior (Bértola, 2000). Durante su confirmación como Estado, en el siglo XIX, se sucedieron transformaciones que incluyeron el progreso de las instituciones, el arraigo del modelo agroexportador con la introducción del ganado ovino, el Código Rural y el alambrado de los campos, el despliegue de una fuerte corriente de inmigrantes europeos que cambiaron el perfil demográfico, a la vez que se producía el fin de las guerras civiles al viejo estilo. Por entonces, Uruguay exportaba intensamente cueros, lana y carne e ingresaba en un período de modernización que cambiaría la sociedad. Durante los tiempos de predominio del primer batllismo (1903-1917) se impulsó una amplia política de industrialización, nacionalizaciones y estatizaciones que hicieron del Estado un agente económico de primer orden para las dimensiones de la estructura económica del país, proceso en el que la pesca estuvo incluida. Para esa fecha, la actividad industrial se refería fundamentalmente a pequeños talleres con pocos establecimientos que reunían las condiciones de empresas fabriles, relacionadas directamente con las dimensiones de un mercado esencialmente urbano y capitalino (Beretta Curi, 2001).

En este contexto comenzaron a utilizarse redes de arrastre, "... tanto de playa tiradas por hombres, animales o medios mecánicos, como las que se empleen mar afuera tiradas por vapores o veleros" (Bouyat, 1911, p. 64). La introducción de las redes de arrastre (el "bou") tenía antecedentes polémicos desde su utilización en varias zonas de la Europa del siglo XVIII, cuando el aumento de la producción, ligado al crecimiento demográfico, una mayor demanda, el desarrollo de métodos de conservación de pescados y la competencia con la producción artesanal tradicional, generó no pocas protestas:

> ... acusaban al arrastre de arruinar el futuro del recurso al capturar una gran cantidad de peces inmaduros y destruir su hábitat perjudicando su reproducción. [...] del exterminio total de todas las crías [... y] tirar a la mar o arrojar en la playa la cuarta parte: en suma, que desperdicia unos tres millones de pesca magullada y enfangada... (Viruela Martínez, 1993, p. 148)

La introducción de las redes de arrastre en Uruguay generó también controversias. Martínez Montero (1940) recopila la cronología de eventos con relación a ello y registra operaciones con el "bou" en 1897 y un pedido de prohibición de su uso al año siguiente en una carta firmada por 34 pescadores. De hecho, la primera ley específica sobre pesca, la Ley n.º 2.660, del año 1900, habilitó la prohibición de su empleo, instancia que se concretaría por primera vez en 1903. Entre 1900

y 1920 su utilización fue sucesivamente prohibida y habilitada, alejándola aguas afuera de la costa hasta ser definitivamente autorizada al este del Banco Inglés en 1922.

En Uruguay el consumo de pescado era bajo (estimado en 1,25 kg/habitante/año) y se buscaba aumentarlo (Martínez Montero, 1940). Desde el inicio de la producción con red de arrastre se argumentó su promoción con la posibilidad de mayor captura a menor costo y un menor precio de venta al consumidor. Bouyat (1911) destacaba el valor excesivo del pescado, al igual que se hacía en la exposición del decreto del 26 de junio de 1903. Durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) se tomaron varias medidas tendientes a asegurar el abaratamiento del pescado, que abarcaron, entre otras: la habilitación temporal de redes de arrastre (decretos del 26 de junio y el 4 de diciembre de 1917), la limitación de las exportaciones y la fijación de las ganancias máximas de los revendedores (no mayor del 30%), en el decreto del 3 de marzo de 1918. Tanto este decreto como el del 4 de diciembre de 1917 castigarían, además, con el retiro del permiso de pesca, toda destrucción de pescado antes o después de haber comenzado la venta.

La polémica por el uso de las redes de arrastre generó preguntas y la necesidad de información científica en el ámbito local, lo cual se refleja en particular en el decreto del 26 de junio de 1903, que mantiene la prohibición de usar dichas redes. En ese decreto se señalaba: "… es indispensable iniciar algunas investigaciones científicas en beneficio de la mejor explotación de la fauna marina". Entre otras prácticas se argumentaba:

> … la conveniencia o no de establecer períodos de vedas, y la oportunidad de señalar zonas de descanso, con el objeto de proteger las especies sedentarias, cuestiones todas que no pueden resolverse acertada y científicamente, si no se practican estudios en nuestra región de pesca, y se forman cartas de las costas con indicación de la topografía y geología submarina; y se conocen la flora y fauna litoral con especial señalamiento de las especies de peces sedentarias y viajeras; la forma y causa de la emigración e inmigración de algunas especies, las costumbres, naturaleza y elementos de los peces, el modo de producirse las profundidades, corrientes, temperaturas, densidades y composición química de las aguas, para conocer, con la naturaleza del fondo, la existencia y desarrollo de determinadas especies comestibles que hoy no son motivo de explotación, y los demás conocimientos e investigaciones relacionadas con esa valiosa fuente de producción y con el fomento de las industrias marítimas….

Con estos argumentos como base, el mismo decreto designaba a los integrantes de una Comisión Especial Honoraria para asesorar sobre la conveniencia o no de mantener la prohibición y que indicara las reglamentaciones que era necesario adoptar. Aunque la Ley n.º 2.660 del año 1900 ya había constituido esta Comisión, la designación de sus integrantes en 1903 demuestra una composición multidisciplinaria que reúne además a diferentes instituciones (zoólogos, ingenieros, abogados, hidrógrafos y capitanes, procedentes del Museo Nacional, el Departamento Nacional de Ingenieros, la Oficina Hidrográfica, la Universidad de la República y la Capitanía General de Puertos).

En la actualidad, más del 90% de la flota industrial uruguaya utiliza la red de arrastre de fondo como arte de pesca principal, mientras que el consumo anual de pescado se estima

en diez kilogramos por persona, cuando a nivel mundial se sitúa en veinte kilogramos persona (FAO, 2022).

El factor energía, entre la búsqueda de petróleo y la producción de hidrógeno

A pesar de los cambios establecidos en la matriz energética nacional en las últimas dos décadas, con el impulso a las energías alternativas derivadas de la generación de electricidad eólica y de biomasa, el petróleo y sus derivados constituyen un 43% del abastecimiento energético anual (MIEM, 2023). Uruguay es dependiente de la importación de petróleo y a lo largo de su historia ha construido estrategias para manejar este balance, incluyendo la exploración de posibles reservas de petróleo. La exploración sísmica en la plataforma uruguaya fue iniciada en la década del setenta y se perforaron dos pozos (Lobo y Gaviotín) en 1976, sin encontrar yacimientos. Esporádicamente se realizaron prospecciones sísmicas en 1982 y 2002, pero la exploración más intensa se registró a partir de 2007, cubriendo gran parte de la plataforma y talud continental (Ferro *et al.*, 2015). Los conocimientos acumulados y las oportunidades de producción permitieron diseñar una estrategia a lo largo de varias rondas internacionales para licitar bloques de exploración y producción. Se identificaron varios sitios de interés y se realizó una nueva perforación en aguas profundas (pozo Raya-1), sin encontrar yacimientos explotables pero acumulando evidencias de factibilidad (ANCAP, 2020; Soto *et al.*, 2015).

Este proceso, aún en curso, tuvo varias resistencias por parte de agrupaciones y organizaciones no gubernamentales locales, en reclamo por el balance negativo entre las exploraciones sísmicas y una posible explotación, contra los daños potenciales, el efecto sobre los peces y la ausencia de áreas y estrategias de protección en el espacio marino uruguayo (Infopesca, 2014; Cuberos, 2023). En forma simultánea, en 2021 se incorporó la producción de hidrógeno en la plataforma continental a la cartera de proyectos energéticos uruguayos, a los efectos de promover la producción de energías sustentables, por lo que la producción de energía en el mar uruguayo es aún un capítulo abierto.

Perspectivas y desafíos: el problema del espacio

De acuerdo a lo antes señalado, cabe registrar una lógica de acumulaciones significativas: durante dos siglos, en los espacios marinos de Uruguay se han realizado extensos trabajos de cartografía, ampliando el conocimiento acumulado desde 1916; se investigaron los recursos naturales y se generó una industria pesquera nacional; se hicieron prospecciones del subsuelo y se realizaron perforaciones para la búsqueda de hidrocarburos; se mejoraron las condiciones de navegación, lo que se transformó en una de las puertas de entrada al turismo. Tales cambios fueron acompañados de la construcción de terminales portuarias y de modificaciones en la línea de costa. Los amplios espacios acuáticos dejaron de ser una vía principal de comercio, tránsito y transporte marítimo para agregar su función de "tierra productiva".

Pero este crecimiento, a la vez, generó consecuencias, dilemas y responsabilidades. El uso creciente de la zona costera como espacio de producción, contemplación y esparcimiento ha mostrado incompatibilidades evidentes desde el punto de vista del interés público. La contaminación, la introducción de especies invasoras y las floraciones de algas nocivas sin duda atentan contra la biodiversidad y la salud pública. El deterioro de los espacios públicos y de recursos naturales de uso común exige una toma de decisiones informada y con amplia participación de la sociedad civil en dicho proceso.

La mayoría de los recursos pesqueros tradicionales se encuentran en el límite de una explotación sostenible, por lo que se vuelve necesario establecer zonas de veda temporales o permanentes, así como ampliar las escasas áreas marinas protegidas. El derrame provocado por el choque del petrolero San Jorge, en 1997, contra una formación rocosa mostró que relevar los peligros para la navegación requiere una mejora continua, alertando sobre lo falible de la zona costera ante accidentes vinculados al transporte y la eventual explotación de yacimientos de hidrocarburos.

El aumento de actividades en el espacio marino ha conducido a interferencias, superposición, conflictos y competencia por el espacio entre usuarios: la visión bucólica de un horizonte insondable e ininterrumpido esconde otra realidad a considerar. Sin embargo, y aunque hayan tomado distintas formas y dimensiones, estos conflictos siempre han estado presentes en la relación de Uruguay con sus espacios marinos, revelando lo relativo de la fórmula tradicional de "un país de espaldas al mar". Se impone el reclamo de mayor protagonismo. Desde la fundación del Apostadero Naval y el primer amanzanamiento en la bahía con su vocación portuaria, en el año 1724, hasta el más reciente proyecto de un puerto de aguas profundas en las costas de Rocha, vieja iniciativa que pareció activarse en la pasada década, el espacio marino uruguayo ha estado presente como parte integral de la identidad nacional, tanto como oportunidad como en términos de disputa y polémica por el futuro. En ese marco, han surgido nuevos proyectos para aprovechar los recursos con base en una exploración frugal, discontinua e irregular, pero no menos sobria y directiva. El puerto aloja barcos cada vez de mayores dimensiones, periódicamente se recorren miles de kilómetros para abastecer la base antártica General Artigas y se han desarrollado pesquerías —o se ha participado en ellas— en los océanos Atlántico, Pacífico, Índico y Antártico, lo cual, a su vez, genera nuevos desafíos dirigidos a mejorar la infraestructura vinculada con la marina mercante.

Como en muchos otros dominios, las disciplinas y los eventos se entrecruzaron para generar nuevos conocimientos y desafíos: la introducción de las redes de arrastre tuvo consecuencias en la definición de límites nacionales; las prospecciones sísmicas contribuyeron a conocer el perfil de la plataforma y fueron conocimientos clave a la hora de extender la jurisdicción a trescientas cincuenta millas; las intervenciones en la línea de costa dejaron señales a tener en cuenta sobre el efecto en las poblaciones costeras ante el aumento del nivel del mar y otras consecuencias del cambio climático. Muchas instituciones públicas han contribuido en el aspecto

marítimo del desarrollo nacional a lo largo del tiempo, lo que se prueba en este libro, que reúne a las más diversas disciplinas que convergen en la consideración del espacio marino uruguayo. Se sigue discutiendo sobre soberanía, derecho marítimo y cartografía, así como sobre las recientes incorporaciones de la extensión de la plataforma. También se analizan las características geomorfológicas y geológicas del margen continental, así como los aspectos oceanográficos más relevantes. Se abordan aspectos relacionados con los recursos naturales, abarcando los sistemas petroleros, hidratos de gas y minerales, así como también los recursos biológicos y energéticos renovables.

En suma, el tema de la identidad de Uruguay con el mar no sólo refiere a un horizonte amplio de búsquedas, debates y oportunidades. Forma parte indispensable de toda prospectiva de desarrollo del país. Ese desafío, que desde una historia larga permanece entre nosotros, incluye múltiples desafíos y perspectivas derivados del desarrollo marítimo, su impacto en la sociedad y en determinados actores, las necesidades de protección y conservación, así como las oportunidades para establecer mecanismos y pautas de ordenamiento marino racional y equilibrado. Como puede atisbarse en esa rica historia, de la que apenas se han dado algunas notas introductorias, la tarea pendiente es tan ardua como suscitadora. El país como un todo debe encarar en profundidad esta tarea, incluyendo una activa y protagónica participación de la sociedad civil en el proceso de toma de decisiones, el cual ha sido muchas veces controversial y ha estado enmarcado en políticas de corto plazo sin considerar la anhelada y necesaria equidad intergeneracional.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Marín, Y., O. Defeo y G. Caetano, 2024, La identidad del Uruguay con su mar: algunas notas introductorias, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 11-22, doi: 10.70952/a8827tmuc1-1

Capítulo 1.2
Derecho y territorio marítimo

Imagen: Carta de acceso al Río de la Plata (1974), compilación de trabajos del Servicio de Hidrografía Naval Argentino, Instituto Geográfico Militar Argentino, Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires. Completada con datos de los servicios hidrográficos de Uruguay, Brasil, Gran Bretaña y goleta oceanográfica Vema del Lamont Geological Observatory, hasta 1960. Primera carta publicada del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo entre la República Argentina y la República Oriental del Uruguay, que incluye el límite lateral marítimo, la zona común de pesca y la zona de prohibición de vertimiento de hidrocarburos y otras acciones contaminantes.

Capítulo 1.2
Derecho y territorio marítimo

Carlos Mata Prates[1,2,3,4]

[1] *Instituto de Derecho Administrativo, Facultad de Derecho, Universidad de la República*

[2] *Departamento de Derecho, Universidad Católica del Uruguay*

[3] *Facultad de Derecho, Universidad CLAEH*

4 Representante Permanente ante la ONU y Organizaciones Internacionales (Ginebra), Ministerio de Relaciones Exteriores

La Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP) tuvo la excelente iniciativa y planeamiento de realizar una publicación sobre un aspecto y componente distintivo de la República Oriental del Uruguay como lo es, y así se titula el libro, el *Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos*.

Es por la antedicha razón que el presente trabajo versará a manera introductoria sobre el derecho internacional general y se circunscribirá a dos cuestiones dentro de él. En primer término, algunos aspectos acerca de la evolución y la enseñanza del derecho internacional en el siglo XXI o, al menos, en su fase actual, y, en segundo lugar, uno de los capítulos de la materia que surge con el derecho internacional y hago referencia, concretamente, al derecho del mar y su directa incidencia en asuntos estratégicos para los países ribereños, así como a los desafíos globales que enfrenta dicha temática y, en consecuencia, el derecho internacional todo.

Algunos aspectos de la actualidad del derecho internacional contemporáneo

Entiendo necesario realizar algunas breves reflexiones sobre la actual fase del derecho internacional contemporáneo para enmarcar la evolución y entender su producción, interpretación y aplicación. Podemos afirmar que existe un cierto consenso con relación a que el derecho internacional es el conjunto de normas jurídicas que regulan las relaciones (derechos y obligaciones), en general externas, de los miembros de la sociedad internacional a los que el sistema normativo reconoce subjetividad jurídica. En consecuencia, el supuesto necesario refiere a que la asignatura Derecho Internacional Público tiene como objeto de estudio un sistema normativo y, se desprende de ello, que su análisis es necesariamente jurídico.

Es del caso señalar, además, que el derecho internacional presupone la existencia de la sociedad internacional, a la cual se aplica dicho sistema normativo. Esta es una cuestión a destacar, pues en algunas ocasiones lleva a confusiones, en especial cuando se pretende comparar el derecho internacional con los derechos internos pues, como lo expresan Remiro Brotóns *et al.* (2010, p. 37), "respondiendo a las características de la sociedad internacional, el derecho internacional se vacía en un molde distinto al de los derechos estatales". El derecho internacional asume premisas diferentes a las de los derechos internos, pues se estructura en base al principio de coordinación, mientras que los derechos internos lo hacen a partir del principio de subordinación (Mata Prates, 2000, pp. 135 y ss.; Ruocco y Vázquez, 2023, pp. 213 y ss.).

Lo señalado precedentemente tiene directa consecuencia, entre otras, en el grado de generalidad de las normas internacionales, su obligatoriedad, los intereses tutelados y los modos de ejercicio de la tutela jurídica (González Campos *et al.*, 2008, p. 109 y ss.; Sáenz de Santa María, 2014, p. 30 y ss.), lo cual nos remite a la teoría de las fuentes del derecho internacional, en especial en lo relativo al procedimiento para la producción de normas internacionales, así como en el ámbito de su validez (subjetivo, temporal, territorial y material), a los entes a los cuales se le reconoce subjetividad en dicho sistema, la forma de interpretación y aplicación, y, a su vez, lo referente a la coacción como elemento determinante de todo sistema jurídico, etcétera (Kelsen, 1952, 1979, 2007; Hart, 2011; Crawford, 2013; Cançado Trindade, 2017). Lo anterior, o la falta de comprensión de dichas premisas, llevó, en algunas oportunidades, a la realización de afirmaciones apresuradas, las cuales, en sus posiciones más extremas, negaban la naturaleza jurídica del derecho internacional o lo estigmatizaban señalándolo como un derecho primitivo en comparación con los derechos internos, todo lo cual fue terminantemente desmentido una y otra vez por la realidad.

Existen algunos hechos y fechas relevantes —aunque necesariamente su selección tiene cierta arbitrariedad— en la historia del derecho internacional, los cuales tienen directa incidencia en su estructura y funcionalidad, y existe consenso en seleccionar los siguientes: a) el sistema de paz de Westfalia (1648); b) el Congreso de Viena (1815); c) el Tratado de Versalles (1919); con posterioridad a la finalización de la denominada Segunda Guerra Mundial, el sistema basado en la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1945); y, finalmente, la institucionalización de la sociedad internacional y, en consecuencia, del derecho internacional a partir de la década de del ochenta del siglo pasado (Jiménez de Aréchaga, 1980; Jiménez de Aréchaga *et al.*, 2005; Accioly y Borba Casella, 2014; Rezek, 2002; González Campos *et al.*, 2008; Kissinger, 1995).

Al finalizar la denominada Segunda Guerra Mundial y con la instauración primero y la consolidación *a posteriori* —naturalmente que dicho proceso no es lineal, sino que depende de los momentos históricos, no obstante, es correcto afirmar que se trata de una constatación fáctica— de la ONU y el fortalecimiento de las organizaciones regionales, el derecho internacional contemporáneo ha ingresado en una nueva fase histórica. Sus principales características se pueden resumir de

la siguiente manera: a) la codificación de materias (Convención de Viena del Derecho de los Tratados, 1969); Convención de Viena de Relaciones Diplomáticas (1961); Convención de Viena de Relaciones Consulares (1963); Convención del Derecho del Mar (1982); Estatuto de Roma, con la creación de la Corte Penal Internacional (1998), etc.; b) la institucionalización de las decisiones en el ámbito universal, haciendo especial énfasis en las diferentes materias (ONU, Organización Mundial del Comercio [OMC], Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional); c) la creación y aceptación de órganos jurisdiccionales permanentes (Corte Internacional de Justicia, Tribunal del Derecho del Mar, Corte Penal Internacional, etc.) y sistemas arbitrales (Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones [CIADI], etc.); d) la aceptación, por parte de los sujetos de que no existe, en principio, materia que se encuentre excluida de ser regulada por el derecho internacional; y e) la definitiva aceptación de la primacía del derecho internacional sobre los derechos internos.

Una de las críticas más incisivas que se le realizaban al derecho internacional, para negarle su naturaleza jurídica, era la falta de un juez internacional que interpretara y aplicara la norma internacional. Al respecto, es notable la evolución que se dio en dicho punto (Wagner Menezes y Menezes, 2013) y, a manera de constatación, enumero alguno de los tribunales existentes al momento: a) tribunales con vocación universal (Corte Internacional de Justicia, Tribunal del Derecho del Mar, Corte Penal Internacional); b) tribunales *ad hoc* (Tribunal Penal Internacional para la ex-Yugoeslavia, Tribunal Penal Internacional para Ruanda, Corte Especial para Sierra Leona, Tribunal Especial para Líbano); órganos arbitrales (Corte Permanente de Arbitraje Internacional, órganos de solución de controversias de la OMC, CIADI); finalmente, órganos jurisdiccionales regionales (Tribunal de Justicia de la Unión Europea, Tribunal Permanente de Revisión del Mercosur, Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina, Corte Interamericana de Derechos Humanos, Corte Europea de Derechos Humanos, etc.).

Esta nueva configuración institucional ha cambiado la dinámica del derecho internacional e incide en la enseñanza del derecho internacional contemporáneo, como la codificación de diferentes materias mediante tratados multilaterales con alto nivel de aceptación, la creación de ámbitos de toma de decisiones universales (Consejo de Seguridad, OMC, etc.) y el establecimiento de diferentes órganos jurisdiccionales, que no son aspectos indiferentes para la comprensión y el análisis de la materia.

En pleno proceso de consolidación de esta nueva realidad ya se expresaba dicha preocupación en diferentes ámbitos[1] y me adelanto a señalar que, en principio, la crisis que atraviesa el *multilateralismo* en el presente no cambia forzosamente el panorama descripto.

En lo que a la enseñanza del derecho internacional refiere, debe asumirse, en primer término, que el objeto de estudio de dicha asignatura es un sistema jurídico y, en consecuencia, ello debe reflejarse en la

1 V Jornadas y Cursos de Derecho Internacional organizados en el ámbito de las Naciones Unidas, la Organización de Estados Americanos, la Academia de la Haya, etc.

metodología de la enseñanza y de la investigación. En segundo lugar, la enseñanza del derecho internacional contemporáneo sería inexacta y errónea si no se integra el cambio estructural y funcional que implica la actual fase de *institucionalización* de la sociedad internacional.

Lo anterior debe integrar también —aunque no es una condición de enseñanza exclusiva del derecho internacional sino de todo el derecho—, como lo enseñaba el profesor Héctor Gros Espiell, el aspecto en cuanto a que

> No se puede enseñar Derecho Internacional, aunque sea una materia jurídica, y deba ser una enseñanza técnicamente jurídica, sin una referencia constante a la política internacional y a las relaciones internacionales. Es decir, los programas de Derecho Internacional […] deben mantener esta tensión constante de la realidad que se vive con el Derecho.

Con relación a la enseñanza del derecho internacional, debe tenerse en consideración el nivel en el cual se dicta la asignatura, es decir, si se trata de un curso de grado, posgrado o doctorado. Es evidente que la estrategia de enseñanza en los diferentes niveles debe ser distinta, en cuanto a que no es lo mismo un alumno que se enfrenta por primera vez al estudio de la materia, que un profesional que busca perfeccionar sus conocimientos o un profesional avanzado que busca profundizar e investigar acerca de aspectos concretos del derecho internacional. Esta situación requiere, necesariamente, un enfoque pedagógico diferente, de acuerdo al nivel, que combine los aspectos teóricos con la práctica del derecho internacional. Pero en todos ellos es determinante analizar las construcciones teóricas, de dogmática jurídica, que se desarrollan en los centros de excelencia académica (entre otros, universidades, Academia de la Haya de Derecho Internacional, Curso de Derecho Internacional del Comité Jurídico Interamericano), así como de aquellos que tienen a su cargo la elaboración y desarrollo del derecho internacional (ONU, Organización de los Estados Americanos [OEA], órganos jurisdiccionales, Comité Jurídico Interamericano, Comisión de Derecho Internacional, etc.).

Señalado lo anterior, deben tenerse presentes los nuevos desafíos que afronta el derecho internacional, como lo son, entre otros, la *fragmentación*, la *desformalización* y el *pluralismo jurídico.*

La *fragmentación* como tal no significa necesariamente un asunto preocupante si se encuentra debidamente justificada, no obstante lo cual, como lo expresa Martti Koskenniemi,

> La cuestión se vuelve más controvertida cuando varias instituciones tratan un problema de manera distinta y no hay consenso firme ni una práctica interpretativa […]. Aunque las instituciones tuvieran que aplicar las mismas reglas, las aplicarían de manera distinta debido a diferencias de contexto, objetivos y propósitos respectivos, la práctica subsecuente de las partes y los *travaux prepartoires*. Todo depende del sesgo de la institución […]. La elección del marco determinó la decisión. (2020, pp. 368 y 369)

La *desformalización* creciente del derecho internacional, con el acrecentamiento de las formas del derecho blando (*soft law*) y

> … un predominio creciente de una actitud en la que las "disputas" parecen "problemas de gerencia" y en la que la respuesta adecuada es siempre técnica o económica. Para esta actitud, derechos y obligaciones son reglas generales o presunciones sujetas a ajuste con la

> perspectiva de alcanzar resultados óptimos. Esto se hace visible en la reciente práctica de insertar cláusulas en tratados multilaterales para resolver posibles conflictos de regímenes. (Koskenniemi, 2020, pp. 376 y 377)

Finalmente, frente a la alternativa del constitucionalismo, la reafirmación del *pluralismo jurídico*, pues —y especialmente para los países pequeños y medianos territorialmente— "[s]olo un equilibrio entre esos puntos plurales de poder político llamados Estados reflejaría la diversidad del ámbito internacional" (Koskenniemi, 2020, pp. 383 y ss.).

Es en el marco expuesto que debemos ubicar la determinación del límite exterior de la plataforma continental del Uruguay.

El derecho del mar con especial referencia a la plataforma continental

Muchas de las consideraciones que se realizarán fueron expuestas en las diferentes comparecencias a las comisiones de Asuntos Internacionales y Defensa de las Cámaras de Senadores y Representantes, así como en otros trabajos de Carlos Mata Prates (2011, pp. 1165 y ss.; 2013, pp. 132 y ss.; 2015a, pp. 31 y ss.; 2014; 2015b; 2018, pp. 161 y ss.; 2023a).

Con la finalidad de mostrar cómo se manifiesta la institucionalización de la sociedad internacional, analizaré un área que se encuentra regulada por normas internacionales abarcativas y suficientes, con amplia aceptación universal; me detendré en el derecho del mar y los desafíos que plantea dicho sistema para los Estados. La Convención sobre el Derecho del Mar (en adelante, la Convención) fue aprobada por la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar el 30 de abril de 1982 —consta de 320 artículos y varios anexos—, constituyendo, al decir del doctor Eduardo Jiménez de Aréchaga, un verdadero Código del Mar o, para otros doctrinos, la Constitución del Mar. El 10 de diciembre de 1982 la Convención fue abierta para su firma, la República Oriental del Uruguay la suscribió y procedió posteriormente a su ratificación el 29 de julio de 1992.

Con relación a lo dispuesto en la Convención sobre el Derecho del Mar, me permito destacar que —naturalmente, de manera esquemática— se conceptualizan, en principio, dos grandes áreas: el espejo y el volumen de las aguas y, por otra parte, el lecho y el subsuelo marinos.

En lo referente al espejo y el volumen de las aguas, la Convención los subdivide, a su vez, en cinco zonas: las aguas interiores (artículo 8), el mar territorial (artículo 3 y siguientes), la zona contigua (artículo 33), la zona económica exclusiva (artículo 55 y siguientes) y la alta mar (artículo 86 y siguientes), correspondiendo a cada una de ellas un régimen jurídico singular y distintivo.

Por su parte, en lo que al lecho y el subsuelo marinos refiere, la Convención distingue tres grandes zonas: lecho y subsuelo del mar territorial, la plataforma continental (artículo 76 y siguientes) y los fondos marinos y oceánicos, denominada esta por la Convención como La Zona (artículos 133 y siguientes), otorgándole a cada una un régimen jurídico diferente.

Debe señalarse que la Convención del Derecho del Mar (1982) no solamente regula

aspectos sustantivos, sino que, a efectos de hacer efectivo dicho régimen jurídico, establece cuatro órganos: 1) la Asamblea de Estados Parte; 2) la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (artículo 76 y Anexo II); 3) el Tribunal del Derecho del Mar (Anexo VI); y 4) la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (artículos 156 y siguientes).

En el caso de Uruguay, debe tenerse presente que para comprender adecuadamente el alcance de la Convención del Derecho del Mar debe realizarse una interpretación que, necesariamente, integre y armonice esta Convención con el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (1973), celebrado entre la República Argentina y la República Oriental del Uruguay.

Si bien el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (1973) es anterior a la Convención del Derecho del Mar (1982), es del caso recordar que el principal negociador de Uruguay para ambos instrumentos fue el doctor Julio César Lupinacci, por lo cual, al negociarse el primero de dichos instrumentos jurídicos se tenía conocimiento acerca de las tendencias que comenzaban a consolidarse en el derecho del mar y, en consecuencia, ambos son perfectamente compatibles, además de señalarse que tanto Argentina como Uruguay son Estados parte de la Convención del Derecho del Mar.

A su vez, con relación a la interpretación de las disposiciones del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (1973), debe preferirse, como criterio general, aquella que haga compatible a este con la Convención del Derecho del Mar (1982), teniendo en consideración que en ambos tratados son parte la República Argentina y la República Oriental del Uruguay y siguiendo los criterios establecidos, a dichos efectos, en la Convención de Viena (1969) sobre el Derecho de los Tratados en sus artículos 31 y 32.

A título ilustrativo, el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (1973) dispone en su artículo primero dónde comienza el Río de la Plata y hasta dónde se extiende:

> El Río de la Plata se extiende desde el paralelo de Punta Gorda hasta la línea recta imaginaria que une Punta del Este (República Oriental del Uruguay) con Punta Rasa del Cabo San Antonio (República Argentina), de conformidad a lo dispuesto en el Tratado de Límites del Río Uruguay del 7 de abril de 1961 y en la Declaración Conjunta sobre el Límite Exterior del Río de la Plata del 30 de enero de 1961.

Dicha declaración opera como línea de base de conformidad a la Convención del Derecho del Mar (1982), establece "[e]l límite lateral marítimo y el de la plataforma continental, entre la República Oriental del Uruguay y la República Argentina…" (artículos 70 y siguientes); en ella se "garantizan la libertad de navegación y sobrevuelo en los mares bajo sus respectivas jurisdicciones más allá de las doce millas marinas…" (artículo 72); "Las partes acuerdan establecer una zona común de pesca, más allá de las doce millas marinas…" (artículo 73 y siguientes); establece un régimen de prevención de la contaminación marina (artículo 78) y de investigación (artículo79); entre otras cuestiones vinculadas al mar.

El concepto de plataforma continental en la Convención del Derecho del Mar

En concreto, en relación con la plataforma continental el artículo 76 preceptúa:

> La plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental, o bien hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde la línea de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial, en los casos en que el borde exterior del margen continental no llegue a esa distancia.

Simplificando, es decir, sin ingresar en otras hipótesis especiales previstas en la norma, se puede afirmar que la Convención les garantiza a todos los Estados ribereños, con independencia de los criterios geomorfológicos, una plataforma continental de doscientas millas marinas (condicionada a las situaciones geográficas, por ejemplo Estados con costas frente a frente, etc.).

A su vez, en los casos en los cuales el Estado ribereño posea, de conformidad al criterio o a los criterios aceptados en la Convención, una plataforma continental superior a las doscientas millas marinas, dispone el numeral 7 del artículo 76 de la Convención:

> El Estado ribereño trazará el límite exterior de su plataforma continental cuando esa plataforma se extienda más allá de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial, mediante líneas rectas, cuya longitud no exceda de 60 millas marinas, que unan puntos fijos definidos por medio de coordenadas de latitud y longitud. 8. El Estado ribereño presentará información sobre los límites de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, establecida de conformidad con el Anexo II sobre la base de una representación geográfica equitativa. La Comisión hará recomendaciones a los Estados ribereños sobre las cuestiones relacionadas con la determinación de los límites exteriores de su plataforma continental. Los límites de la plataforma que determine un Estado ribereño tomando como base tales recomendaciones serán definitivos y obligatorios.

Agrega luego la Convención:

> Artículo 77. Derechos del Estado ribereño sobre la plataforma continental. 1. El Estado ribereño ejerce derechos de soberanía sobre la plataforma continental a los efectos de su exploración y de la explotación de sus recursos naturales. 2. Los derechos a que se refiere el párrafo 1 son exclusivos en el sentido de que, si el Estado ribereño no explora la plataforma continental y no explota los recursos naturales de ésta, nadie podrá emprender estas actividades sin expreso consentimiento de dicho Estado. 3. Los derechos del Estado ribereño sobre la plataforma continental son independientes de su ocupación real o ficticia, así como de toda declaración expresa. 4.- Los recursos naturales mencionados en esta Parte son los recursos minerales y otros recursos no vivos del lecho del mar y su subsuelo, así como los organismos vivos pertenecientes a especies sedentarias, es decir, aquéllos que en el período de explotación están inmóviles en el lecho del mar o en su subsuelo o sólo pueden moverse en constante contacto físico con el lecho o el subsuelo.

A su vez el artículo 78 y siguientes de la Convención establecen determinadas limitaciones al ejercicio del derecho de soberanía del Estado ribereño sobre su plataforma continental.

Naturaleza de las recomendaciones de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental

Es pertinente tener en cuenta la naturaleza de las recomendaciones realizadas por la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de la ONU en el marco de la Convención del Derecho del Mar y del derecho internacional.

Como cuestión previa, entiendo oportuno consignar que, de conformidad con el Anexo II de la Convención, la Comisión de Límites de la Plataforma Continental más allá de las doscientas millas marinas

> ...estará compuesta de 21 miembros, expertos en geología, geofísica o hidrografía, elegidos por los Estados Partes en esta Convención entre sus nacionales, teniendo debidamente en cuenta la necesidad de asegurar una representación geográfica equitativa, quienes prestarán sus servicios a título personal (artículo 2.º)

Por su parte, el artículo 3.º del Anexo II preceptúa:

> 1. Las funciones de la Comisión serán las siguientes: a) Examinar los datos y otros elementos de información presentados por los Estados ribereños respecto de los límites exteriores de la plataforma continental cuando ésta se extienda más allá de 200 millas marinas y hacer recomendaciones de conformidad con el artículo 76 y la Declaración de Entendimiento aprobada el 29 de agosto de 1980 por la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. b) Prestar asesoramiento científico y técnico, si lo solicita el Estado ribereño interesado, durante la preparación de los datos mencionados en el apartado a).

Finalmente, en lo que a este estudio importa, "la Comisión funcionará mediante subcomisiones integradas por siete miembros, designados de forma equilibrada teniendo en cuenta los elementos específicos de cada presentación hecha por un Estado ribereño" (artículo 5.º del Anexo II) y "presentará sus recomendaciones a la Comisión" (artículo 6.º, numeral 1, del Anexo II). De conformidad con lo dispuesto en el artículo 4.º del Anexo II, el plazo para proponer la extensión del límite exterior de la plataforma continental más allá de las doscientas millas deberá realizarse "en todo caso dentro de los 10 años siguientes a la entrada en vigor de esta Convención respecto de ese Estado..." (artículo 4.º del Anexo II). Este plazo ha sido prorrogado, naturalmente, para los Estados parte a dicho momento y la fecha final admitida para realizar dicha presentación es el 31 de mayo del año 2009.

El numeral 7 del artículo 76 de la Convención establece:

> El Estado ribereño trazará el límite exterior de su plataforma continental, cuando esa plataforma se extienda más allá de 200 millas marinas contadas desde la línea de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial.

A su vez, la parte final del numeral 8 del artículo 76 expresa:

> La Comisión hará recomendaciones a los Estados ribereños sobre las cuestiones relacionadas con la determinación de los límites exteriores de su plataforma continental. Los límites de la plataforma que determina un Estado ribereño tomando como base tales recomendaciones serán definitivos y obligatorios.

En consecuencia, en la concepción de la Convención el establecimiento del límite

exterior de la plataforma continental corresponde al Estado ribereño, no obstante, ello no le asegura un efecto *erga omnes* frente a la sociedad internacional, pues para obtener dicho efecto es necesario seguir el procedimiento establecido en ella.

Lo referido *ut supra* surge con meridiana claridad del numeral 8 del artículo 76 de la Convención, al disponer que "[l]os límites de la plataforma que determina un Estado ribereño tomando como base tales recomendaciones *serán definitivos y obligatorios*".[2]

Es del caso señalar que una vez establecido el límite exterior de la plataforma continental más allá de las doscientas millas marinas, dicho espacio pasará a formar parte del dominio público de la república y pasa a estar regido por el régimen jurídico nacional e internacional. Me adelanto a señalar que en caso de existir una contradicción entre la norma nacional y la de naturaleza internacional, la primera deberá adecuarse, necesariamente, al derecho internacional (Mata Prates, 2000, 2023b, pp. 213 y ss.).

Algunos aspectos referidos a la delimitación del límite exterior de la plataforma continental

La presentación en el año 2009, por parte de múltiples Estados ribereños y como directa consecuencia del vencimiento del término, de "información sobre los límites de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas contadas desde la líneas de base a partir de los cuales se mide la anchura del mar territorial" a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental", en conformidad con el Anexo II, implicó el desarrollo y evolución de dicho procedimiento en múltiples aspectos, con énfasis en cuestiones sustantivas acerca de la información requerida y aportada.

Me detendré en este trabajo sobre dos puntos que entiendo de interés. El primero de ellos refiere al ámbito subjetivo, es decir, a si el procedimiento establecido en el artículo 76 de la Convención del Derecho del Mar, así como en su Anexo II y su reglamentación, se encuentra circunscripto exclusivamente a los Estados parte o podría en algunas hipótesis legitimar la presentación de información con la finalidad de obtener una recomendación de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental a Estados no parte de ella.

En una primera instancia, podría señalarse que únicamente se encontrarían legitimados para realizar su presentación de información los Estados que entienden que poseen una plataforma extensa y son parte de la Convención. Ahora, si analizamos con detenimiento y ubicamos a la Convención del Derecho del Mar como un instrumento jurídico de gobernanza de los océanos y si tomamos en consideración que muchas de las normas contenidas en la Convención poseen la naturaleza de normas consuetudinarias —así fue reconocido, entre otros, por la Corte Internacional de Justicia—, se podría sostener que cuando un Estado no parte reconoce y manifiesta su voluntad de cumplir con los aspectos vinculados a dicha zona se encontraría legitimado para realizar su presentación ante la Comisión de Límites de la

2 Las itálicas no pertenecen al original.

Plataforma Continental a efectos de obtener una recomendación acerca del límite exterior de su plataforma continental.

Un segundo punto refiere a la vinculación existente entre las recomendaciones de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental y su eventual revisión por parte de un órgano jurisdiccional internacional, especialmente por parte del Tribunal del Derecho del Mar. Si bien un Estado, al no concordar en su totalidad o con relación a aspectos de la recomendación de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, se encuentra legitimado para realizar una nueva presentación ante ella, ya sea total o parcial, podría darse una situación de *impasse* entre el Estado y la Comisión que admitiría una revisión por parte de un órgano jurisdiccional internacional, en principio y teniendo en consideración las aspectos procesales asociados, el Tribunal del Derecho del Mar, con la iniciativa necesaria del Estado en cuestión y más allá de aspectos técnicos que necesariamente deberán determinarse en cada caso.

Uruguay y el establecimiento del límite exterior de su plataforma continental más allá de las doscientas millas marinas

A partir de las normas contenidas en la Convención sobre Derecho del Mar, en especial lo establecido en su artículo 76 y en el Anexo II, el Poder Ejecutivo, mediante Decreto n.º 811/96, del 20 de agosto de 1996, dispuso: "1º.- Créase la Comisión Asesora del Poder Ejecutivo para el establecimiento del límite exterior de la plataforma continental" —Comisión Asesora para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental de la República (COALEP)—, la cual estará integrada por un representante del Ministerio de Relaciones Exteriores, que la presidirá, y representantes del Ministerio de Defensa Nacional (Armada Nacional), el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y el Ministerio de Industria, Energía y Minería.

Posteriormente, con fecha 20 de noviembre de 1998, se promulgó la Ley n.º 17.033, denominada Ley de Espacios Marítimos, la cual adecua la legislación nacional a las normas establecidas en la Convención. En su artículo 10 se dispuso:

> La plataforma continental de la República comprende el lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá del mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio, hasta el borde exterior del margen continental. El Poder Ejecutivo a través de una Comisión Especial, presidida por un representante del Ministerio de Relaciones Exteriores e integrada por representantes de los organismos competentes, dispondrá y coordinará las acciones pertinentes a efectos de la fijación del límite exterior de la plataforma continental de la República, de acuerdo a las disposiciones del artículo 76 de la Convención.

Culminado el informe para el establecimiento del límite exterior de la plataforma continental más allá de las doscientas millas marinas —se contó, entre otros, con el asesoramiento del Instituto Alemán de Geociencias, de un integrante de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, así como de otros expertos, y se intercambió información con las comisiones respectivas de la República Argentina y la República

Federativa del Brasil—, la COALEP lo elevó al Poder Ejecutivo, el cual dispuso, mediante resolución del 19 de marzo de 2009 (Asunto 131/2009):

> 1º.-Apruébase el informe presentado por la Comisión Asesora para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental de la República (COALEP), el cual se anexa. 2º.- Encomiéndase a dicha Comisión la presentación del informe referido a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de las Naciones Unidas.

El 1.º de abril de 2009, el ministro de Relaciones Exteriores de la época, doctor Gonzalo Fernández, acompañado del presidente de la COALEP, el doctor Carlos Mata Prates, presentó el informe a los líderes de los partidos políticos con representación parlamentaria.[3]

Posteriormente, dentro del término establecido en la Convención —mayo de 2009— y tal como se expresó en el comunicado de prensa del Ministerio de Relaciones Exteriores n.º 68/09,

> El día 25 de agosto de 2009 en la sede de las Naciones Unidas (Nueva York) el Gobierno de Uruguay procedió a realizar la presentación ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de Naciones Unidas, con el propósito de determinar la fijación del límite exterior de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas establecidas en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.

De conformidad con lo previsto en el procedimiento, se constituyó una subcomisión para el estudio de la presentación de Uruguay en el año 2011 y se llevaron a cabo once reuniones de intercambio entre la delegación de Uruguay y dicha subcomisión. En las sesiones de trabajo realizadas entre el 28 de julio y el 1.º de agosto de 2014, la subcomisión aceptó los criterios sostenidos por Uruguay para extender el límite exterior de la plataforma continental más allá de las doscientas millas marinas, culminando un largo proceso de cuatro años.

Una vez elevado el informe de la subcomisión a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, Uruguay realizó el 9 de febrero de 2016 la presentación final a la Comisión, compartiendo los criterios de la subcomisión. La Comisión de Límites de la Plataforma Continental aprobó por consenso de sus 21 miembros la presentación de Uruguay el 19 de agosto de 2016 y procedió a notificar dicha recomendación el 31 de agosto de 2016.

Es del caso señalar que dicha recomendación con efectos *erga omnes* implicó un acrecimiento de la plataforma continental uruguaya en aproximadamente 85.000 kilómetros cuadrados y la metodología de la presentación e intercambio con la subcomisión y la Comisión de Límites de la Plataforma Continental es reconocida en el ámbito internacional como un ejemplo a considerar en presentaciones ante órganos internacionales.

Debo destacar especialmente que los miembros tanto de la COALEP como de su Grupo Técnico —ambos de naturaleza honoraria— demostraron un nivel técnico de excelencia y un excepcional compromiso con su trabajo,

3 Participaron de dicha reunión los doctores Luis Alberto Lacalle Herrera y Jorge Larrañaga (Partido Nacional), Jorge Brovetto (Encuentro Progresista-Frente Amplio), Jorge Batlle y Luis Hierro López (Partido Colorado), y Pablo Mieres (Partido Independiente).

y a ellos, me permito señalar, el país les debe un reconocimiento. Desde el año 1996 hasta la fecha colaboraron y participaron muchos integrantes, algunos al principio, en la génesis de los trabajos, pero entiendo necesario mencionarlos a todos a manera de merecido agradecimiento y siguiendo el orden observado en el capítulo 1.3 de este libro, ellos son: Daniel Gilardoni, Daniel Montiel, Fernando Preciozzi, Francisco Camaño, Gerardo Veroslavsky, Orestes Pereira, Gustavo Musso, Héctor de Santa Ana, Hugo Roldós, Jorge Lemos, Jorge López Laborde, José Domínguez, Julio Lamartheé, Julio Lupinacci, Leda Sánchez, Manuel Burgos, Nelson Ucha, Noelia Gasperi, Pablo Rodríguez, Pablo Tabárez, Matías Soto y Natalie Aubet.

Figura 1: Salón de las Banderas de los Estados Miembros de las Naciones Unidas, Nueva York, con integrantes de la COALEP acompañados por el cuerpo diplomático uruguayo con sede en Estados Unidos y Naciones Unidas. A la izquierda, la delegación del 25 de agosto de 2009 con motivo de la presentación de Uruguay ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental; a la derecha, la delegación de la COALEP, en su última intervención, el 9 de febrero de 2016, donde se solicitó la fijación del límite exterior conforme al artículo 76 de la Convención del Derecho del Mar.

La irrupción de los aspectos ambientales en el derecho del mar

En el desarrollo y la evolución del derecho del Mar influyen diferentes elementos, uno de ellos es la irrupción de la conservación del ambiente y su incidencia en el derecho internacional contemporáneo, así como en los derechos nacionales, y si bien no modifican sus estructuras ni los diferentes espacios marítimos, sí exigen una nueva mirada sobre ellos. Me detendré someramente en uno de los diferentes instrumentos jurídicos con dicho contenido, como lo es la Conferencia Intergubernamental sobre un Instrumento Internacional Jurídicamente Vinculante, en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, relativo a

la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica marina de las zonas situadas fuera de la jurisdicción nacional.

Al respecto, debe tenerse en consideración que dicho instrumento jurídico se inscribe en el marco de la Convención del Derecho del Mar, no obstante lo cual implica un desarrollo que impactará de forma significativa en el paradigma de la gobernanza en los océanos.

A la fecha se han realizado cinco períodos de sesiones de los cuatro establecidos originalmente, el último período de sesiones, la continuación del quinto, se llevó a cabo del 20 de febrero al 4 de marzo de 2023 y durante este período se logró un acuerdo sobre el texto del tratado y se dispuso la creación de un grupo de trabajo para la revisión técnica del texto y su publicación en los seis idiomas de la ONU, para proceder, posteriormente, a la adopción del texto por parte de la Asamblea. Es del caso señalar que participaron en la conferencia tanto Estados parte de la Convención del Derecho del Mar como Estados que no son parte de ella, destacándose el alto nivel de participación en los diferentes períodos de sesiones, en los cuales compareció la totalidad de los miembros de las Naciones Unidas. Debe destacarse también la alta participación en la conferencia, pues, una vez aprobado el texto, este tendrá un efecto generador de futuras normas consuetudinarias con independencia de la efectiva entrada en vigencia del tratado y, eventualmente, como una norma de *soft law*.

El proyecto de instrumento se caracteriza por lo ambicioso de sus objetivos, pues sólo hacer referencia a las partes en las cuales se estructura deja en evidencia lo abarcativo de su finalidad. Entre otros, se regulan, en la parte I, las disposiciones generales (términos empleados, objetivo general, aplicación, relación con otros instrumentos, etc.); en la parte ii, los recursos genéticos marinos, incluidas las cuestiones relativas a la participación en los beneficios; en la parte III, los mecanismos de gestión basados en zonas geográficas, incluidas las áreas marinas protegidas, y otras medidas; en la parte IV, las evaluaciones del impacto ambiental; en la parte V, la creación de capacidad y transferencia de tecnología marina; en la parte VI, los arreglos institucionales; en la parte VII, los recursos financieros y mecanismos de financiación; en la parte VIII, la aplicación y cumplimiento; en la parte IX, la solución de controversias; en la parte X, los terceros al acuerdo; en la parte XI, la buena fe y abuso de derecho; en la parte XII, las disposiciones finales.

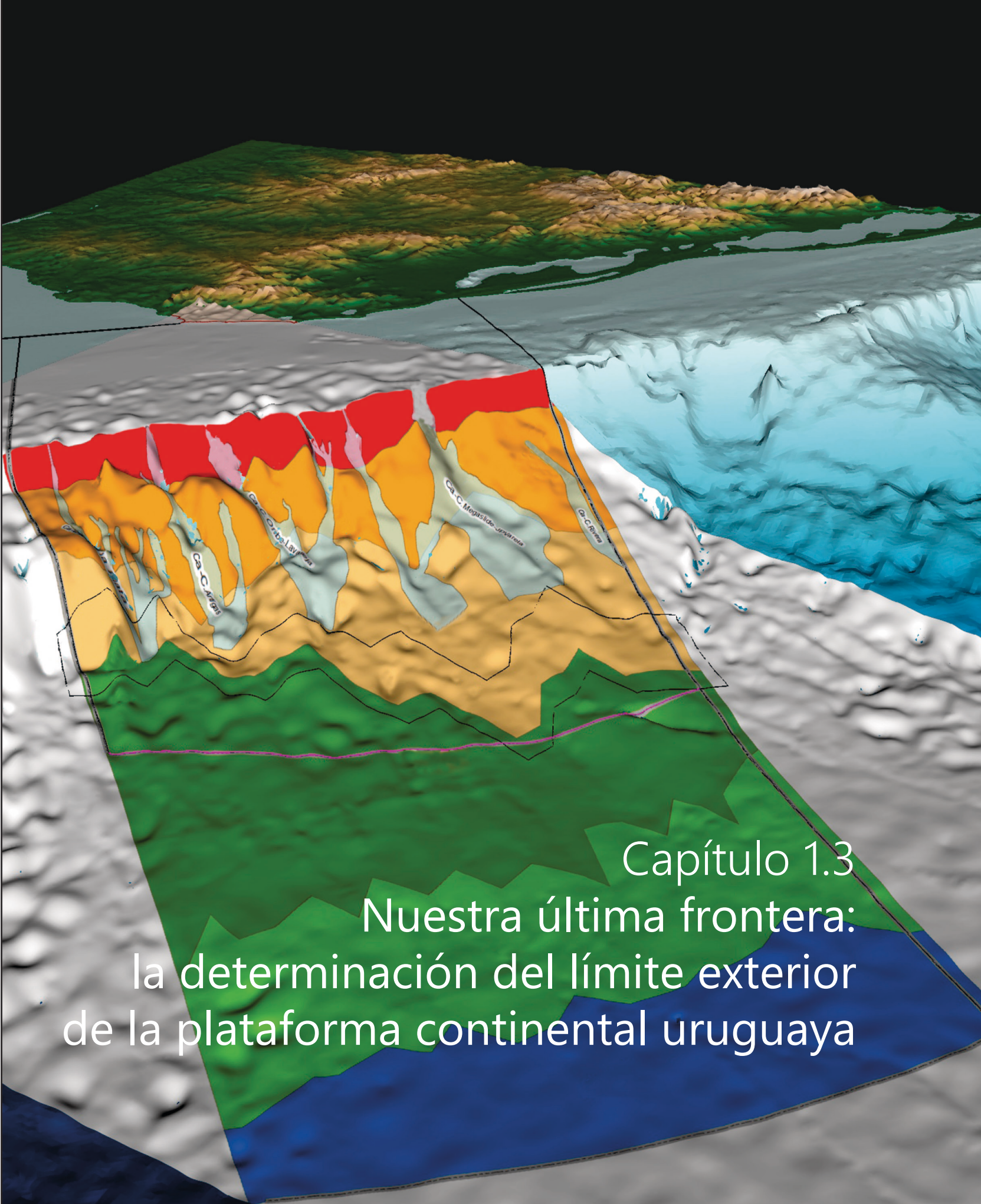
Si se analiza la estructura del proyecto dentro de la lógica jurídica de la Convención del Derecho del Mar, se puede apreciar que su ámbito espacial refiere especialmente a la alta mar, donde se pretende establecer un nuevo paradigma en muchos aspectos, pero con un énfasis importante en el régimen jurídico de esta zona marítima.

A lo anterior debe agregarse, entre otros, los informes del secretario general de las Naciones Unidas sobre los Océanos y el Derecho del Mar, las resoluciones de la Asamblea de los Estados Parte de la Convención del Derecho del Mar y de los demás órganos creados por dicha Convención, los desarrollos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), especialmente sobre la pesca, etcétera, todo lo cual pone en

evidencia los desafíos globales que debe afrontar el derecho del mar, lo cual demuestra, a su vez, el dinamismo y la actualidad de esta área del derecho internacional. Esto deberá, necesariamente, ser asumido como un desafío a tener en consideración por los Estados nacionales a la hora de desarrollar sus políticas públicas sobre las diferentes zonas marítimas.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Mata Prates, C., 2024, Derecho y territorio marítimo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 23-38, doi: 10.70952/a8827tmuc1-2



Capítulo 1.3
Nuestra última frontera: la determinación del límite exterior de la plataforma continental uruguaya

Imagen 3D de la batimetría regional del margen uruguayo, incluyendo la extensión de la plataforma continental, que formó parte de los informes elaborados por el Grupo Técnico de la Comisión Asesora del Poder Ejecutivo para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COALEP).

Capítulo 1.3
Nuestra última frontera: la determinación del límite exterior de la plataforma continental uruguaya

Gerardo Veroslavsky,[1] Pablo Rodríguez,[2]
Nelson Ucha,[3] Héctor de Santa Ana,[4] José Domínguez,[5]
Fernando Preciozzi[6] y Carlos Mata Prates[7]

[1] *Instituto de Ciencias Geológicas (ICG), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[2] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

[3] *Consultor senior, retirado de ANCAP*

[4] *Subgerencia General de Asuntos Estratégicos, ANCAP*

[5] *Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (SOHMA), Armada Nacional*

[6] *Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), Ministerio de Industria, Energía y Minería*

[7] *Ministerio de Relaciones Exteriores*

Introducción

Este capítulo tiene como objetivo describir y documentar el conjunto de actividades que llevaron a establecer la última frontera de nuestro territorio. Luego de casi veinte años de esfuerzos científicos, técnicos, jurídicos y económicos, la República Oriental del Uruguay alcanzó su aspiración a extender el límite marítimo más allá de las doscientas millas marinas (M) (figura 1). De esta forma, culminaban con éxito los esfuerzos realizados por numerosas instituciones, organismos y personas que contribuyeron a la labor de la Comisión Asesora del Poder Ejecutivo para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COALEP).

Uruguay remitió el 3 de abril de 2009 la documentación científica y técnica que sustentaba su aspiración a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLCS, por sus siglas en inglés, Commission on the Limits of the Continental Shelf), órgano creado por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR). Previamente, la COALEP había presentado un informe detallado sobre todo lo actuado a los líderes de los partidos políticos con representación parlamentaria (Mata Prates, 2015b).

La delegación uruguaya procedió a la presentación inicial ante el plenario de la CLCS el 25 de agosto de 2009, mientras que la presentación final fue puesta a consideración de ese mismo órgano el 9 de febrero de 2016, ambas en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York (ver capítulo 1.2 de este libro).

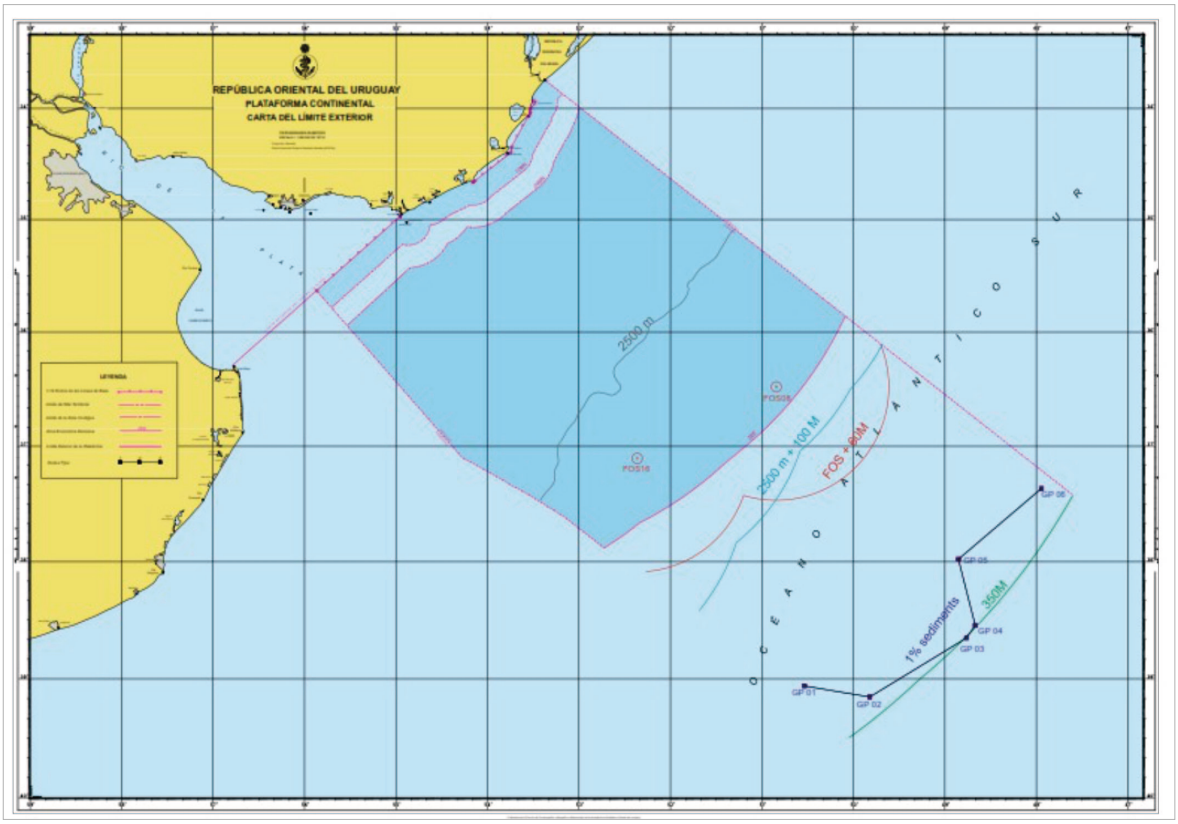


Figura 1: Mapa original presentado por la delegación uruguaya para la definición del límite exterior de la plataforma continental ante el plenario de la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de la CONVEMAR el 9 de febrero de 2016.

La Comisión aprobó por consenso la recomendación para Uruguay el 19 de agosto de 2016. Esta decisión implicaba la ampliación del territorio uruguayo en aproximadamente 83.000 kilómetros cuadrados, quedando habilitado nuestro país a promulgar su nuevo límite marítimo por una ley que debería comunicar a las Naciones Unidas.

A la vista de los ciudadanos de la república y la comunidad internacional, establecer el nuevo límite exterior de la plataforma continental es lograr certidumbre jurídica internacional en el ejercicio de nuestros derechos de soberanía sobre esa nueva área marítima. A partir de ese momento, Uruguay pasaba a tener más mar que tierra.

La plataforma continental y la aplicación del artículo 76 de la Convención del Mar

La CONVEMAR es el orden jurídico de los mares establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y su formulación está inspirada

> … por el deseo de solucionar con espíritu de comprensión y cooperación mutuas todas las cuestiones relativas al derecho del mar y conscientes del significado histórico… como contribución importante al mantenimiento de la paz y la justicia y al progreso para todos los pueblos del mundo. (Naciones Unidas, 1982)

La Convención, entre otros logros, hizo que los Estados acordaran la definición de los espacios marítimos con el fin último de evitar controversias al fijar sus límites. Estableció el orden jurídico sobre las seis zonas marítimas, a saber: las aguas interiores, el mar territorial, la zona contigua, la zona económica exclusiva, la plataforma continental y la zona alta mar (ver capítulo 2 de este libro). En particular, el régimen de la plataforma continental quedó definido por la Parte VI (artículos 76 al 85) y el artículo 76, en particular, establece la posibilidad del Estado ribereño de extender su plataforma continental más allá de las doscientas millas.

La soberanía y el control sobre los recursos naturales del subsuelo y el lecho marino sobre el territorio marítimo de los Estados ribereños fue motivo de debate y litigio en diferentes organismos y foros internacionales durante todo el siglo XX (ver capítulo 2 de este libro). Nuestro país, al igual que otros países americanos, históricamente defendió la soberanía sobre su plataforma continental más allá de las doscientas millas (Lupinacci, 1983; Jiménez García-Carriazo, 2017; Capandeguy *et al.*, 2017). Los intereses que subyacen a la ampliación del territorio marítimo de un Estado ribereño son políticos y económicos. Los primeros suponen su afianzamiento, al incrementar el territorio sobre el que ejercen sus derechos de soberanía, mientras que los económicos se sustentan en el conocimiento de que el lecho y el subsuelo marino cuentan con recursos minerales y energéticos atractivos (Jiménez García-Carriazo, 2017).

La CONVEMAR estableció que un Estado ribereño puede extender su plataforma continental si logra demostrar, cumpliendo con los requisitos establecidos, que la prolongación natural de su territorio se extiende más allá de las doscientas millas. Si así lo entiende, el Estado debe someter todos los datos e información científica y técnica en los que basa su aspiración a consideración de la CLCS, quien debe emitir finalmente una recomendación. Si el Estado ribereño acepta esa recomendación al establecer sus límites marítimos, estos "serán definitivos y obligatorios" según la CONVEMAR.

El artículo 76.1 de la Convención establece que:

> … la plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental, o bien hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial, en los casos en que el borde exterior del margen continental no llegue a esa distancia.

El margen continental, a su vez, está definido en el artículo 76.3:

> El margen continental comprende la prolongación sumergida de la masa continental del Estado ribereño y está constituido por el lecho y el subsuelo de la plataforma, el talud y la emersión continental. No comprende el fondo oceánico profundo con sus crestas oceánicas ni su subsuelo.

El artículo 76 se refiere a la "plataforma continental" como término jurídico, define su límite exterior por referencias al borde exterior del margen continental (figura 2) con sus componentes naturales, como la plataforma, el talud y la emersión continental, a modo de categorías geológicas o geomorfológicas (CLCS, 1999, párr. 6.1.7.). Es obvio que el referido término "prolongación natural" se relaciona con la naturaleza y la continuidad física del territorio de un Estado bajo el agua, por lo que su derecho a trazar el borde exterior de su plataforma continental más allá de las doscientas millas no podrá ser antojadizo y sólo será posible si lo permite su configuración geomorfológica y geológica.

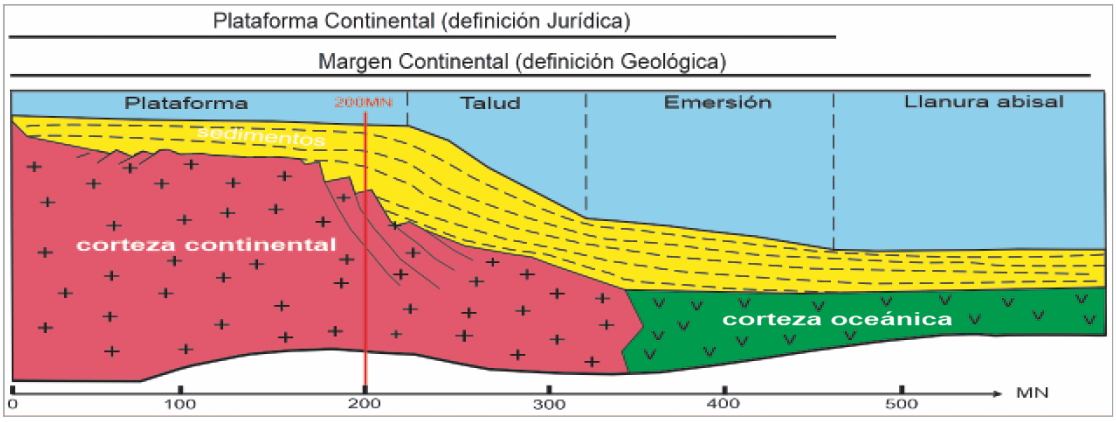


Figura 2: Esquema que permite visualizar la definición jurídica de plataforma continental y los rasgos geomorfológicos y geológicos que encierra el concepto de margen continental. Ilustración modificada del libro El margen continental argentino *(COPLA, 2017).*

La CONVEMAR, en su artículo 76.4, establece dos fórmulas que el Estado ribereño puede utilizar para determinar el borde exterior de su margen continental más allá de las 200 M: el espesor sedimentario (fórmula irlandesa o de Gardiner) y de distancia (fórmula de Hedberg), y puede combinar ambos criterios si le es conveniente. Por otro lado, en su párrafo 5, el artículo 76 impone dos restricciones a la aplicación de las fórmulas ampliatorias: la imposibilidad de fijar el límite más allá de las 350 M contadas desde la línea de base y la de 100 M establecidas desde la isóbata de 2.500 m (figura 3). Al igual que en las fórmulas ampliatorias, se admite la posibilidad de combinar las restricciones y elegir la más conveniente a los intereses del Estado ribereño.

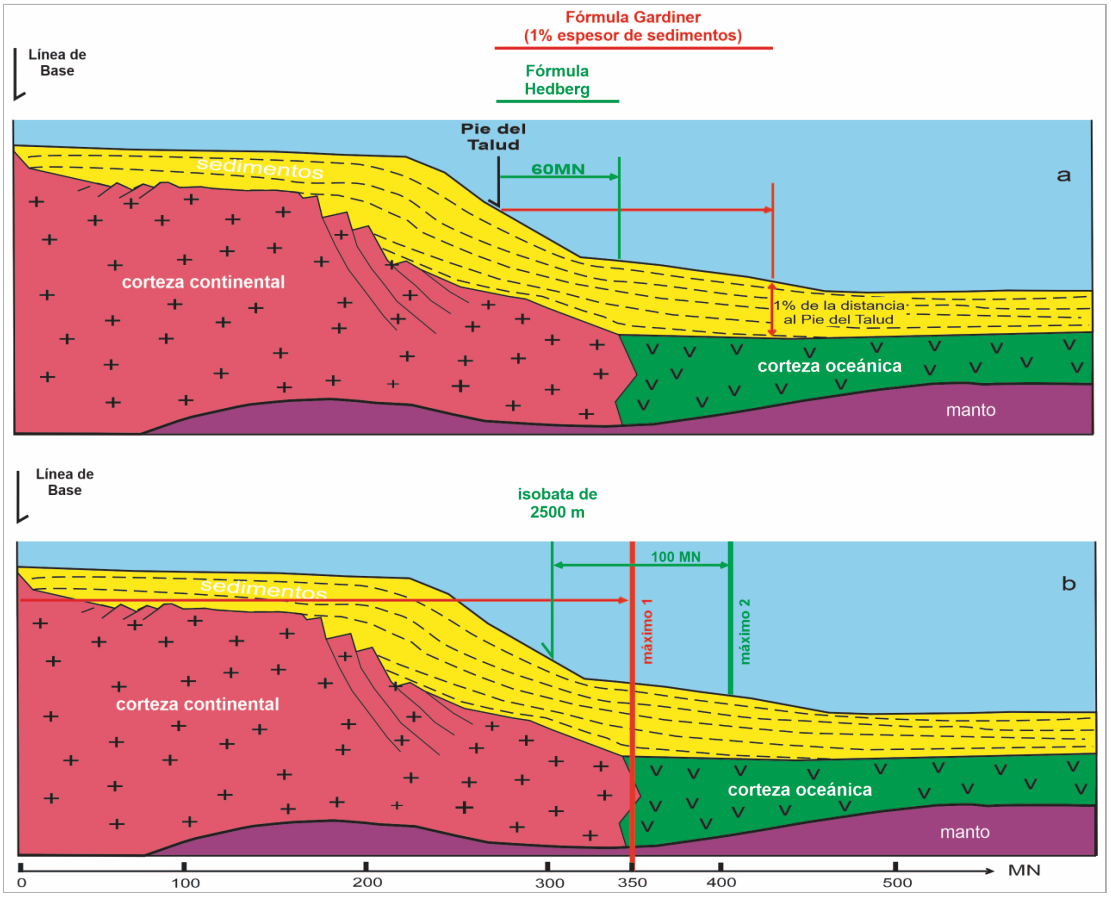


Figura 3: a) Esquema que muestra la aplicación de las fórmulas ampliatorias contempladas en el artículo 76 de la CONVEMAR (CLCS, 1999): la fórmula del espesor sedimentario (Gardiner) resulta de elegir los puntos fijos más alejados del pie del talud donde se medirá el espesor sedimentario para comparar esta medida con la distancia más corta entre el punto elegido y el pie del talud continental, donde el espesor de las rocas sedimentarias debe ser del 1% o superior a esa distancia; la fórmula de la distancia (Hedberg) es aquella donde los puntos fijos que establecerán el borde del límite exterior estarán situados a 60 M del pie de talud. b) Esquema que muestra la aplicación de las cláusulas de restricción previstas en el artículo 76: el límite no puede extenderse más allá de las 350 M o más allá de las 100 M de la isóbata de 2.500 m (línea que une puntos con igual profundidad de lámina de agua), lo que resulte en la mayor extensión de las dos restricciones.

La COALEP

El Decreto n.º 811, del 20 de agosto de 1996, dispuso la creación de la Comisión Asesora del Poder Ejecutivo para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COALEP) con el cometido de realizar todas las actividades requeridas por la CONVEMAR para la determinación del límite exterior de la plataforma continental. Se constituyó así una comisión interministerial presidida por el Ministerio de Relaciones Exteriores e integrada también por el Ministerio de Defensa Nacional (Servicio de

Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada Nacional [SOHMA]), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos), el Ministerio de Industria, Energía y Minería (Dirección Nacional de Minería y Geología) y la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP).

La COALEP, presidida inicialmente por el doctor Julio Lupinacci y luego por el doctor Carlos Mata, constituyó su Grupo Técnico, de carácter honorario, con apoyo de profesionales de esos organismos del Estado y de la Universidad de la República, involucrando a hidrógrafos, oceanógrafos, geólogos, geofísicos, geodestas, ingenieros, matemáticos y abogados en derecho internacional (tabla 1).

Un gran desafío inicial se le presentaba a la Comisión para el cumplimiento de su objetivo: el desconocimiento casi total de los rasgos morfológicos, geológicos y geofísicos del margen continental más allá de las doscientas millas. Los antecedentes geomorfológicos y oceanográficos, así como el conocimiento geológico y geofísico relacionado con la búsqueda de hidrocarburos, comprendían, en su inmensa mayoría, la zona económica exclusiva. Sólo algunas pocas investigaciones oceanográficas y geofísicas sobrepasaban el umbral que imponían las doscientas millas.

A lo largo de su actuación, la COALEP contó también con el apoyo de varios profesionales extranjeros que actuaron como asesores en distintas disciplinas: el doctor Galo Carrera (de México, geodesta, miembro de la CLCS), el doctor Karl Hinz (de Alemania, consultor en geología y geofísica), el doctor Marcus Gorini (de Brasil, consultor, geólogo) y el doctor Javier Hernández Molina (de España, consultor en geomorfología).

Asimismo, la COALEP recibió la colaboración y cooperación de otros profesionales a lo largo de sus actividades, entre los que se encuentran: el doctor Jorge López Laborde, del SOHMA (2000-2005), la doctora Natalie Aubet (2012-2013) y el doctor Matías Soto (2010-2012), los dos últimos de la Universidad de la República.

Tabla 1: Integrantes de la COALEP durante el período 1997-2016

COALEP	MC = Miembro de la Comisión GT = Integrante del Grupo Técnico	Organismo de origen	Años de actuación
Carlos Mata	MC, GT	Ministerio de Relaciones Exteriores	2008-2016
Daniel Gilardoni	MC	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca	2014-2016
Daniel Montiel	MC	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca	2007-2014
Fernando Preciozzi	MC, GT	Ministerio de Industria, Energía y Minería	2003-2015
Gerardo Veroslavsky	GT	Facultad de Ciencias, Universidad de la República	2004-2016

COALEP	MC = Miembro de la Comisión GT = Integrante del Grupo Técnico	Organismo de origen	Años de actuación
Héctor de Santa Ana	MC, GT	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland	1999-2016
Hugo Roldós	MC	Armada Nacional	1996-2006
Manuel Burgos	MC, GT	Armada Nacional	1997-2016
Francisco Caamaño	GT	Armada Nacional	1998-2014
Orestes Pereira	MC	Armada Nacional	2006-2012
Gustavo Musso	MC	Armada Nacional	2012-2016
Pablo Tábarez	GT	Armada Nacional	2004-2009
José Domínguez	GT	Armada Nacional	2008-2015
Jorge Lemos	GT	Armada Nacional	2015-2016
Noelia Gasperi	GT	Armada Nacional	2012-2016
Julio Lamartheé	MC	Ministerio de Relaciones Exteriores	1997-2008
Julio Lupinacci	MC, GT	Ministerio de Relaciones Exteriores	1997-2008
Leda Sánchez	MC	Ministerio de Industria, Energía y Minería	2015-2016
Nelson Ucha	MC, GT	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland	1997-2016
Pablo Rodríguez	GT	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland	2012-2016

La Comisión de Límites de la Plataforma Continental y la subcomisión

La CLCS es un organismo científico y técnico establecido en 1982 durante la Convención de Montego Bay (Jamaica), como forma de controlar posibles desviaciones o abusos en que los Estados pudieran incurrir al definir la extensión del borde exterior de su plataforma continental, así como para intentar compatibilizar la definición del límite exterior de países vecinos para evitar posibles solapamientos o escalonamientos del espacio marino.

Las funciones que cumple la CLCS son básicamente la de ofrecer asistencia científica y técnica a los Estados durante la preparación de sus aspiraciones y la de analizar las propuestas de ampliación de la plataforma

continental antes de su dictamen de recomendación. Esta comisión tuvo la importante tarea de generar un conjunto de insumos que conformaron las denominadas Directrices Científicas y Técnicas (CLCS, 1999) que los países debieron tener en cuenta para formular su base argumental (DOALOS, 2006).

La CLCS está integrada por 21 miembros de destacada actuación en áreas como geología, oceanografía, hidrografía, geomorfología, geodesia y geofísica y, si bien son elegidos por los Estados parte de la CONVEMAR de forma tal que existan determinados equilibrios en la representación de los continentes, actúan a título personal, sin representar a Estados (Mata Prates, 2015b).

La CLCS adoptó para analizar cada una de las presentaciones de los Estados la conformación de subcomisiones de siete miembros. Una vez emitida la recomendación por parte de la subcomisión responsable de examinar la presentación del Estado ribereño, esta debe ser presentada y puesta a consideración del plenario de la CLCS y su aprobación sometida a votación, que requiere de mayorías especiales (Guaitolini y Obregon, 2019).

La subcomisión que examinó la presentación uruguaya fue designada en abril de 2011 y fue presidida por el hidrógrafo doctor Francis Charles (Trinidad y Tobago). A partir de agosto de 2011, se inició su intercambio con el Grupo Técnico de la COALEP (tabla 2). Los trabajos incluyeron presentaciones, consultas y aclaraciones, solicitudes de ampliación de datos e información e instancias de reprocesamiento de datos adquiridos en los diferentes relevamientos batimétricos y sísmicos.

Tabla 2: Integración de la subcomisión de siete miembros de la CLCS que examinó la presentación de Uruguay entre 2011 y 2015. Los cambios de integración se dan porque sus miembros cumplen un determinado tiempo en sus funciones como parte de la CLCS.

Subcomisión de la CLPS	Integrantes	Apoyo técnico
Inicial (2011-2014)	Francis Charles (Trinidad y Tobago), Peter Croker (Irlanda), Emmanuel Kalngui (Camerún), Yuri Kazmin (Rusia), Wenzheng Lu (China), Sivaramakrishnan Rajan (India) y Philip Symonds (Australia)	Nicola King
Final (2014-2016)	Francis Charles (Trinidad y Tobago), Walter Roest (Países Bajos), Szymon Uscinowicz (Polonia), Ivan Glumov (Rusia), Emmanuel Kalngui (Camerún), Wenzheng Lu (China), Rasik Ravindra (India) y Richard Haworth (Canadá, consejero)	Guillaume Le Sourd

Se realizó un total de once reuniones de trabajo en Nueva York entre la subcomisión y el Grupo Técnico de la COALEP. Durante estas, se fueron adecuando y acordando distintos aspectos metodológicos y técnicos de la presentación.

A manera de síntesis, lo más sobresaliente con relación al examen científico y técnico de la subcomisión sobre los datos y aspectos metodológicos presentados por la COALEP estuvo centrado en la ubicación de base y pies del talud, y en el cálculo de cada uno de

los puntos fijos del borde exterior determinados a partir de la interpretación sísmica del espesor sedimentario en aplicación de la fórmula del 1% de sedimentos. Otros aspectos del análisis técnico de la presentación no motivaron mayores discusiones entre la COALEP y la subcomisión, como, por ejemplo, la determinación de la isóbata de 2.500 m, la línea de restricción de las 100 M a partir de la isóbata de 2.500 m, la línea de restricción a las 350 M contadas desde la línea de base, el trazado de la línea envolvente de la fórmula del 1% del espesor sedimentario o la línea de restricción como línea envolvente exterior que resulta de la aplicación de la restricción de las 350 M.

Como resultado de esa interacción, se debieron sumar durante el proceso de evaluación otros esfuerzos científicos y técnicos para sustentar algunos enfoques de la COALEP, los que incluyeron desde la adquisición de nuevos datos e información sísmica de alta resolución en la plataforma hasta la ejecución de otro relevamiento batimétrico en un área específica de la plataforma. Estas acciones incrementaron notoriamente la base de datos presentada por Uruguay para justificar, en cantidad y calidad, los límites propuestos en la presentación revisada (COALEP, 2009, 2014).

La presentación revisada fue puesta a consideración de la subcomisión por el Grupo Técnico de la COALEP en las reuniones que se desarrollaron entre el 3 y el 10 de febrero de 2014. Si bien el avance logrado en todos los aspectos técnicos fue más que significativo, al punto de que la subcomisión pretendió formular su recomendación en esa instancia, la delegación uruguaya volvió a pedir un nuevo plazo para presentar un último ajuste a la presentación revisada. La justificación era la necesidad de incorporar los resultados de nuevos relevamientos sísmicos que se desarrollarían a lo largo del segundo semestre de 2014 con la intención de ampliar el conocimiento de la naturaleza rocosa de los depocentros sedimentarios muy próximos a las 350 M. Estos nuevos relevamientos permitirían ajustar el cálculo de los espesores sedimentarios cuya interpretación geofísica aún no estaba saldada en las discusiones técnicas. La última reunión técnica entre las partes se llevó a cabo entre el 17 y el 21 de agosto de 2015, y se logró que la recomendación fuese de común acuerdo entre la subcomisión y el Grupo Técnico de la COALEP.

La última intervención de la COALEP ante el plenario de la CLCS la realizó el doctor Carlos Mata el 9 de febrero de 2016 para exponer la presentación revisada. En esta oportunidad, Uruguay solicitó, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 76 de la CONVEMAR y la normativa derivada, que el plenario de la CLCS realizara su recomendación sobre las cuestiones relacionadas con la determinación del límite exterior de la plataforma continental en los términos presentados por Uruguay y en sentido coincidente con la recomendación comunicada por la subcomisión.

Las comisiones de plataforma de Argentina y Brasil

Los países vecinos conformaron fuertes programas gubernamentales con el propósito de

establecer el límite exterior de sus plataformas continentales, sobre las que pretenderán ejercer sus derechos de soberanía para la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y el subsuelo.

Brasil creó en 1989 el Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), coordinado por la Comisión Interministerial para los Recursos del Mar, que desarrolla todas las actividades conjuntamente con la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Brasil (DHN), la Empresa Brasileira de Petróleo S.A. (PETROBRAS) y la comunidad científica brasilera.

Argentina creó en 1997 la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA), órgano estatal encargado de elaborar la presentación final del límite exterior de la plataforma continental argentina, presidida por el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, e integrada también por el Servicio de Hidrografía Naval y el Ministerio de Economía y Producción. En sus actividades, la COPLA involucró a un numeroso equipo de trabajo que contó con el apoyo de varios organismos públicos y universidades relacionados con la temática.

Durante los trabajos de la COALEP, existieron varias instancias de coordinación y colaboración entre las comisiones de plataforma de Argentina y Brasil, en particular, promoviendo el intercambio de datos e información sobre la plataforma continental en áreas de mutuo interés para establecer en las zonas limítrofes la extensión más beneficiosa para ambos países.

El LEPLAC hizo su presentación del límite exterior de la plataforma continental ante la CLCS el 17 de mayo de 2004, mientras que la COPLA entregó su presentación el 21 de abril de 2009. Lamentablemente, la mayor parte de la colaboración entre las comisiones de plataforma se produciría luego de que cada país realizara su presentación y tuviera los primeros comentarios de las respectivas subcomisiones que entendían en sus aspiraciones.

Luego de que la subcomisión que analizó la presentación de Uruguay emitió su recomendación, las subcomisiones que analizaban las aspiraciones de Argentina y Brasil prosiguieron sus trabajos con la COPLA y el LEPLAC, respectivamente, y culminaron en poco tiempo la definición del borde exterior del área marítima adyacente a Uruguay. La recomendación de Uruguay sirvió para que, en ambos casos, Argentina y Brasil asumieran, al menos, un punto fijo establecido para el sector uruguayo en el trazado de sus límites marítimos.

Rasgos geológicos y geomorfológicos generales del margen continental uruguayo

Las características geológicas y geomorfológicas del margen continental son tratadas en este libro de forma detallada y actualizada en los capítulos 2.1 y 2.2, por lo que aquí sólo se enuncian aspectos generales a los que se refiere en el proceso de determinación del límite exterior de la plataforma continental.

El margen continental uruguayo se desarrolla aproximadamente entre los paralelos 33º y 40º S y entre los meridianos 46º y 56º W (figura 1). Su evolución geológica y su actual configuración geomorfológica están pautadas por los procesos tectónicos, magmáticos y sedimentarios que controlaron, desde el Jurásico medio al presente, la fragmentación continental de Gondwana Occidental y la posterior apertura y evolución del océano Atlántico (COALEP, 2009).

Geológicamente, el margen continental uruguayo constituye un margen de tipo divergente, volcánico y segmentado en el que se desarrollan grandes ámbitos de sedimentación (figura 4). Su carácter volcánico está dado por la presencia de basaltos jurocretácicos cortados en los pozos Lobo y Gaviotín (Ucha *et al.*, 2004), mientras que también los rasgos sísmicos evidencian la existencia de *seaward-dipping reflectors* y de una corteza inferior de alta velocidad sísmica (*high velocity lower crust*, HVLC) (Hinz *et al.*, 1999; COALEP, 2014).

Las cuencas presentes son Punta del Este, Pelotas y Oriental del Plata, las que exhiben registros volcánicos y sedimentarios mesozoicos y cenozoicos muy importantes, con espesores que superan los 7.000 m. En estas cuencas se identifican registros *pre-rift* (rocas paleozoicas), *rift* (depósitos continentales generados durante la etapa de subsidencia mecánica acompañada de grandes fallamientos) y *post-rift* (asociados a la subsidencia térmica y flexural del margen y dominados por los cambios en el nivel de base y el aporte sedimentario que ocurrieron durante el Cretácico-Cenozoico (Morales *et al.*, 2017a; Conti *et al.*, 2017).

Morfológicamente, el margen continental uruguayo exhibe: una plataforma continental bien definida; un talud que muestra rasgos diferentes a lo largo de su desarrollo; una emersión continental extendida y bajos gradientes; y la llanura abisal. En función de sus rasgos geomorfológicos y los procesos sedimentarios actuantes, el margen puede ser subdividido en dos regiones, denominadas Septentrional y Meridional, las que se encuentran separadas una de otra por un elemento estructural de primer orden que domina la región: el Sistema de Transferencia del Río de la Plata (Franke *et al.*, 2007; COALEP, 2009; Soto *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2017a; capítulo 2.2 de este libro).

En la región Septentrional, el pasaje del talud continental hacia la emersión transcurre mediante una muy suave pendiente, de curvatura casi constante y bajos ángulos, hasta lograr confundirse en la llanura abisal (figura 5). En la región Meridional, el talud continental exhibe el desarrollo de amplias terrazas y cañones submarinos, asociados a procesos gravitacionales y de corrientes de contorno, conjunto que muestra un talud con gradientes importantes y donde el pasaje hacia la emersión continental está claramente definido (figura 5).

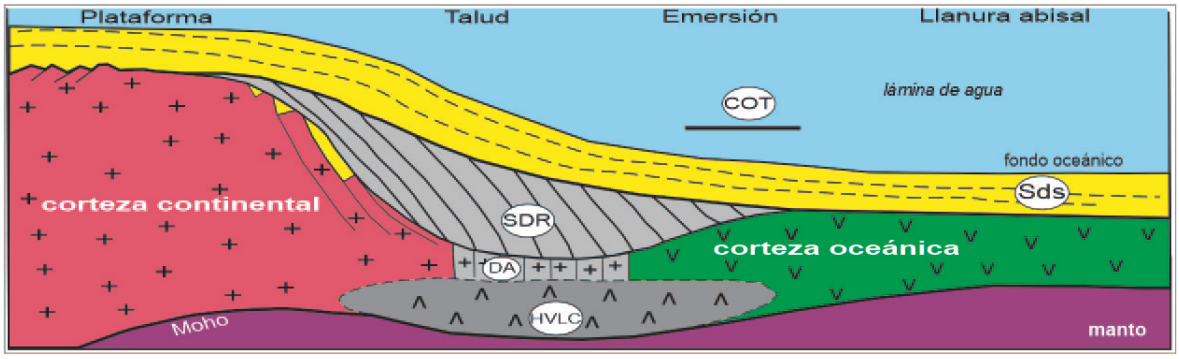


Figura 4: Principales rasgos geológicos presentes en un margen continental pasivo volcánico "de tipo E" de acuerdo a las Directrices establecidas (CLCS, 1999), los que se corresponden con los que exhibe el modelo geológico-geofísico consagrado para el margen continental uruguayo (ver capítulo 2.2 de este libro). Referencias: SDR = cuñas de reflectores buzantes mar adentro; HVLC = corteza inferior de alta velocidad sísmica; Sds = sedimentos; DA = diques de alimentación; COT = zona de transición continental-oceánica.

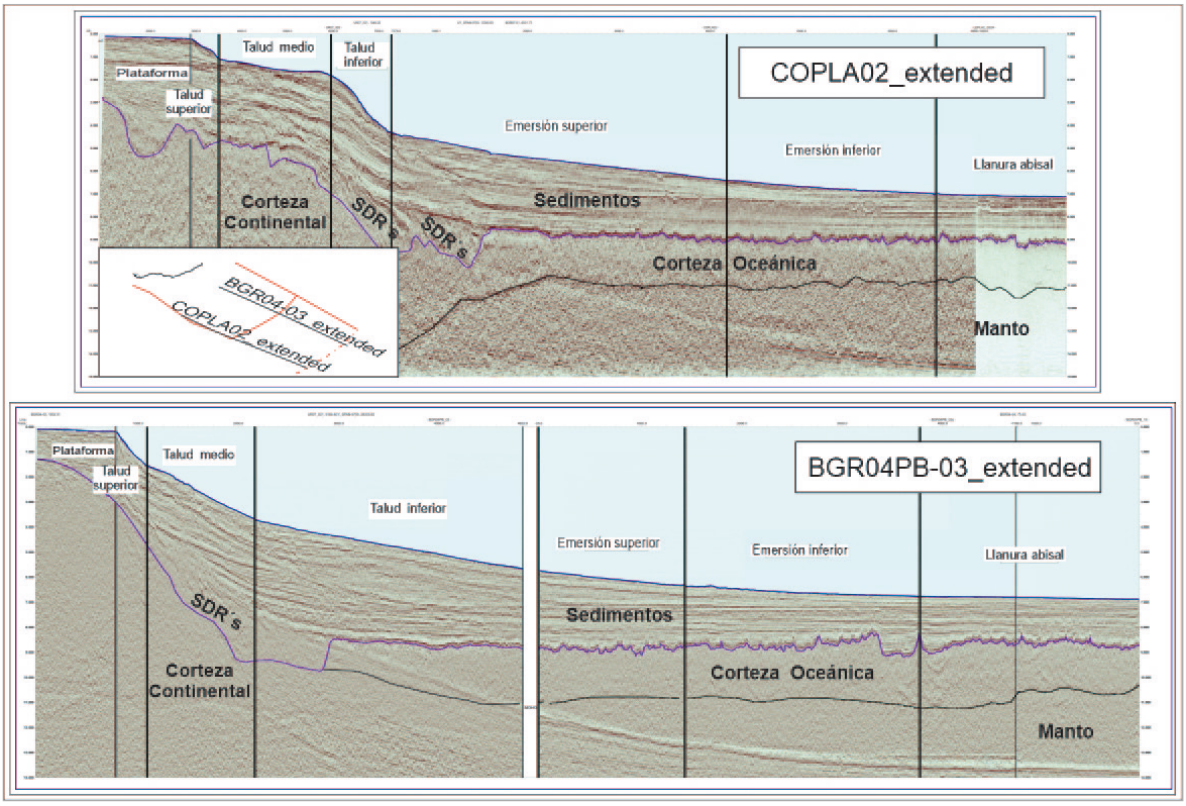


Figura 5: Perfiles sísmicos de reflexión (BGR04PB_03_extended; COPLA02_extended) que exhiben la configuración de los principales rasgos morfológicos y de la estructura geológica representativos de la región Meridional (arriba) y Septentrional (abajo) del margen continental uruguayo.

Base de datos

Tabla 3: Principales fuentes de datos e información utilizadas por la COALEP para la definición del límite exterior

Principales fuentes	Ejecución / fuente	Años	Utilidad
Línea de base	SOHMA (Uruguay)	1997-1998	Referencia fundamental para delimitar todos los espacios marítimos, en particular el cálculo de distancias desde la costa hasta el límite exterior.
		2003-2004	Aplicación de fórmulas.
Batimetría	SOHMA (Uruguay), buque ROU 22 Oyarvide	1999-2006	Definición de los rasgos morfológicos del margen y establecimiento de la lámina agua.
		2015	Definición de base y pie de talud e isóbata de 2.500 m.
Geología	Pozos Lobo y Gaviotín, ANCAP (Uruguay)	1976	Cálculo de espesores sedimentarios y demostración de la continuidad sedimentaria a lo largo del margen continental
Sísmica COPLA02, UR02	COPLA-CGG (Argentina-Francia)	2001-2002	
Sísmica BGR04	BGR-SOHMA-COALEP (Alemania)	2004	
Sísmica UR07	ANCAP (Uruguay)	2007	
Sísmica LEPLAC10	LEPLAC-PETROBRAS (Brasil)	2010	
Sísmica UR12	ANCAP-ION (Uruguay)	2012	Aplicación de la fórmula ampliatoria: 1% de sedimentos.
Sísmica COALEP12	COALEP-ION (Uruguay)	2012	
Sísmica UR13	ANCAP-SPECTRUM (Uruguay)	2013	
Sísmica COALEP14	COALEP-SPECTRUM (Uruguay)	2014	
Sísmica monocanal	Datos públicos	1972-1978	

Procedimiento para el establecimiento del límite exterior

El límite exterior de la plataforma continental se trazó a partir de la aplicación de la fórmula ampliatoria del espesor sedimentario y la fórmula de restricción de no superar las 350 M (figura 3). Posteriormente, a partir de la combinación de la traza de la envolvente exterior de la fórmula ampliatoria y la que surge de la fórmula de restricción de las 350 M, fue trazada la envolvente interior, que representa el límite exterior de la plataforma continental de Uruguay (figura 1).

A continuación, se describen los principales aspectos metodológicos y operativos y los resultados generados que condujeron al establecimiento del límite exterior de la plataforma continental uruguaya.

Definición de la línea de base y la morfología de la plataforma continental

La construcción de la línea de base, indispensable para el cálculo de todas las distancias requeridas, necesitó de la medición en el terreno de los puntos de las líneas de base a efectos de su verificación y correspondiente actualización en el Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS 84) (figura 7). Se procedió a la medición de toda la línea de costa desde Punta del Este (extremo del límite exterior del Río de la Plata) hasta el Chuy, donde comienza el límite lateral marítimo con la República Federativa del Brasil. Los puntos de la línea de base de Uruguay está establecido en el artículo 14 de la Ley n.º 17.033, del 20 de noviembre de 1998, y depositado en la Secretaría General de las Naciones Unidas.

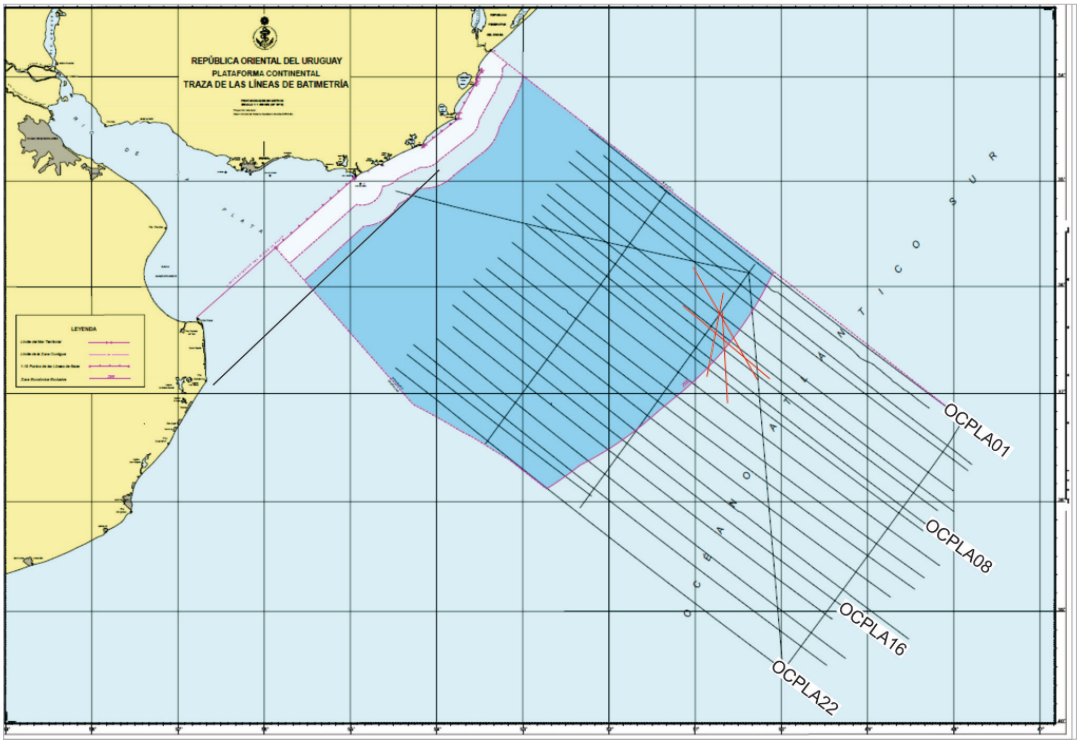


Figura 6: Mapa original presentado por la delegación uruguaya, con la ubicación de la línea de base y de los perfiles batimétricos OCPLA levantados por el SOHMA. Estos datos fueron utilizados por la COALEP para el cálculo de las distancias y la caracterización morfológica del margen, así como en la definición de la base y los pies de talud.

La configuración morfológica de la plataforma continental uruguaya fue definida a partir del levantamiento de 22 perfiles batimétricos de ecosonda monohaz, perpendiculares a la línea de costa y otros longitudinales de comprobación (figura 6). El relevamiento fue realizado por el SOHMA con el buque científico ROU 22 Oyarvide, concretándose un levantamiento inicial de 6.560 M a las que luego se les sumaron 4 perfiles adicionales

(aproximadamente 250 M) para justificar la elección de uno de los pies de talud propuestos. El objetivo final era la determinación de la base y los pies del talud, para lo cual los datos batimétricos adquiridos fueron objeto de análisis y manejo a través de diferentes metodologías y aplicaciones tales como Geocap, Caris Lots y Plata (este último desarrollado por técnicos de la Armada Nacional). Algunos perfiles batimétricos fueron comparados con aquellos perfiles batimétricos generados a partir de los datos de las líneas sísmicas disponibles.

Definición de la región de la base y los pies del talud

La definición de la región de la base del talud (*base of slope*, BOS) es determinante para localizar las posiciones de los puntos del pie del talud (*foot of slope*, FOS) que luego servirán para aplicar cualquiera de las fórmulas ampliatorias. En nuestra región y áreas vecinas adyacentes, la complejidad morfológica del margen continental (ver capítulo 2.1 de este libro), fruto de la dinámica de los procesos oceanográficos y sedimentarios, fue motivo de análisis y discusiones entre el Grupo Técnico de la COALEP y la subcomisión.

Esta complejidad se debe fundamentalmente a la interacción de corrientes contorníticas a lo largo del talud y las corrientes de gravedad descendentes que producen, entre otros, la generación de puntos locales de cambios de gradiente, así como la curvatura constante de las pendientes del talud y la emersión. Estos procesos geomorfológicos que actúan sobre el margen continental uruguayo son responsables de las notables diferencias morfológicas de las regiones Septentrional y Meridional.

Cabe señalar que, a comienzos de 2013, la delegación uruguaya analizó inclusive la posibilidad de utilizar la regla general (criterio morfológico) en la región Septentrional y evidencia en contrario en la región Meridional (criterio geológico). En ese sentido, no hubo acuerdo con la subcomisión, que objetó la aplicación de dos criterios diferentes (regla general y "prueba en contrario") para el margen continental uruguayo al no ofrecer la aplicación del criterio exclusivamente morfológico diferencias significativas en el resultado final de la ampliación.

En definitiva, para la determinación de la región de la base del talud en el margen continental uruguayo en la presentación revisada (COALEP, 2014) se siguieron las recomendaciones establecidas en los párrafos 5.4.4 y 5.4.5 de las Directrices (CLCS, 1999), aplicándose argumentos morfológicos, geomorfológicos y geológicos que atendían a la descripción de la compleja configuración del margen uruguayo.

La subcomisión aceptó que para la determinación de la base del talud continental se procediera en etapas sucesivas. Por un lado, para determinar su borde mar adentro debería iniciarse a partir de la emersión, en dirección hacia el talud continental. En segundo lugar, para determinar su borde hacia la tierra el proceso debería iniciarse desde la parte inferior del talud en dirección a la emersión continental. Siguiendo ese procedimiento, en cada uno de los perfiles batimétricos construidos perpendiculares a la línea de costa se definieron: el talud superior, medio e inferior; la emersión continental superior e inferior; y la llanura abisal (figura 7).

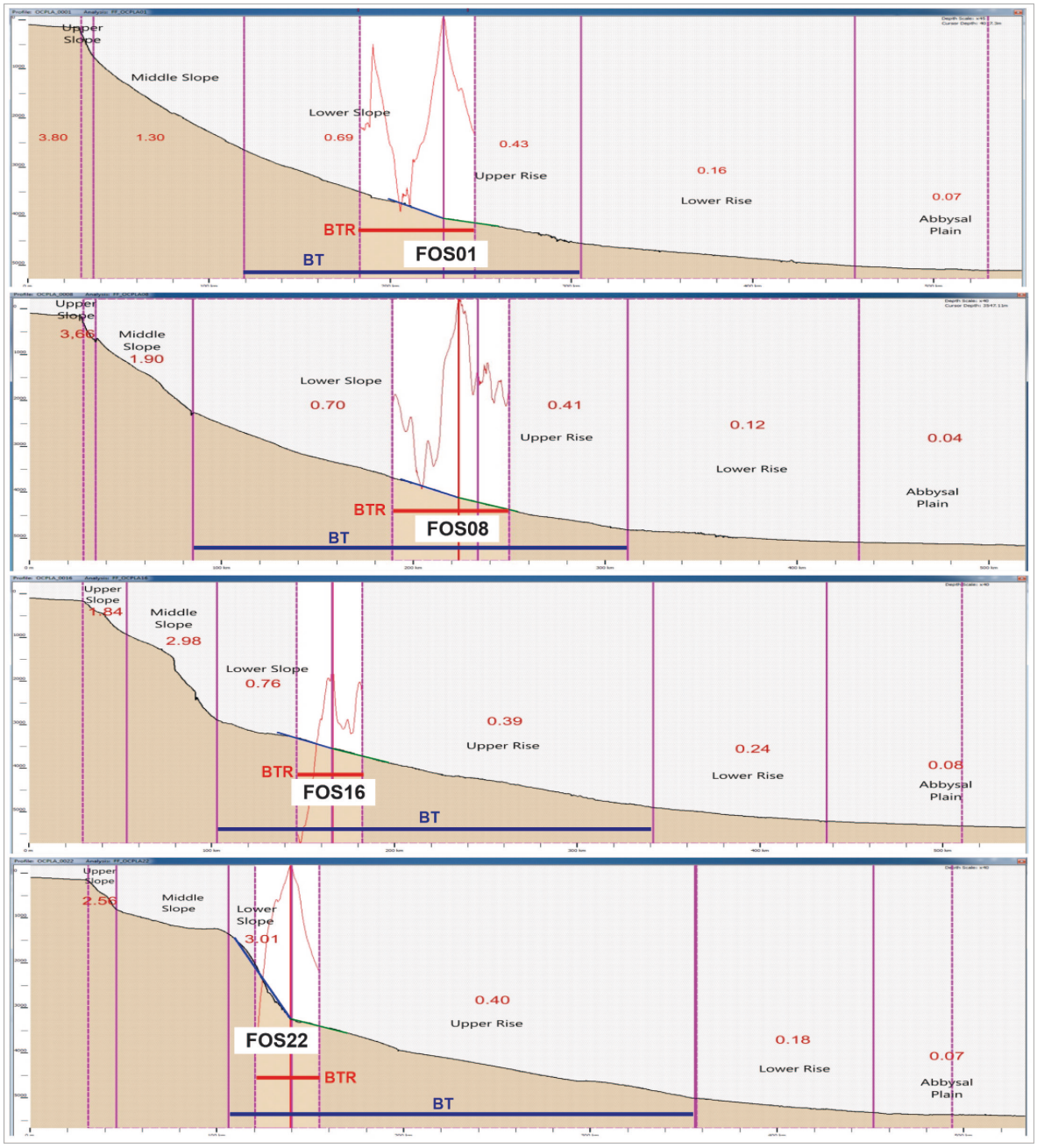


Figura 7: En cada uno de los 22 perfiles batimétricos se identificaron: el talud superior, medio e inferior; la emersión continental superior e inferior; y la llanura abisal. Luego se identificaron la base de talud (BT, en azul) y la base de talud refinada (BTR, en rojo), donde el máximo cambio de gradiente calculado en esta última zona fue pie del talud. Los perfiles OCPLA01, 08 y OCPLA16, 22 son representativos del contraste morfológico del margen continental de la región Septentrional y Meridional, respectivamente. Los FOS08 y FOS16 fueron los únicos utilizados para definir los puntos fijos que establecieron el límite exterior de la plataforma continental (ubicación en figura 6).

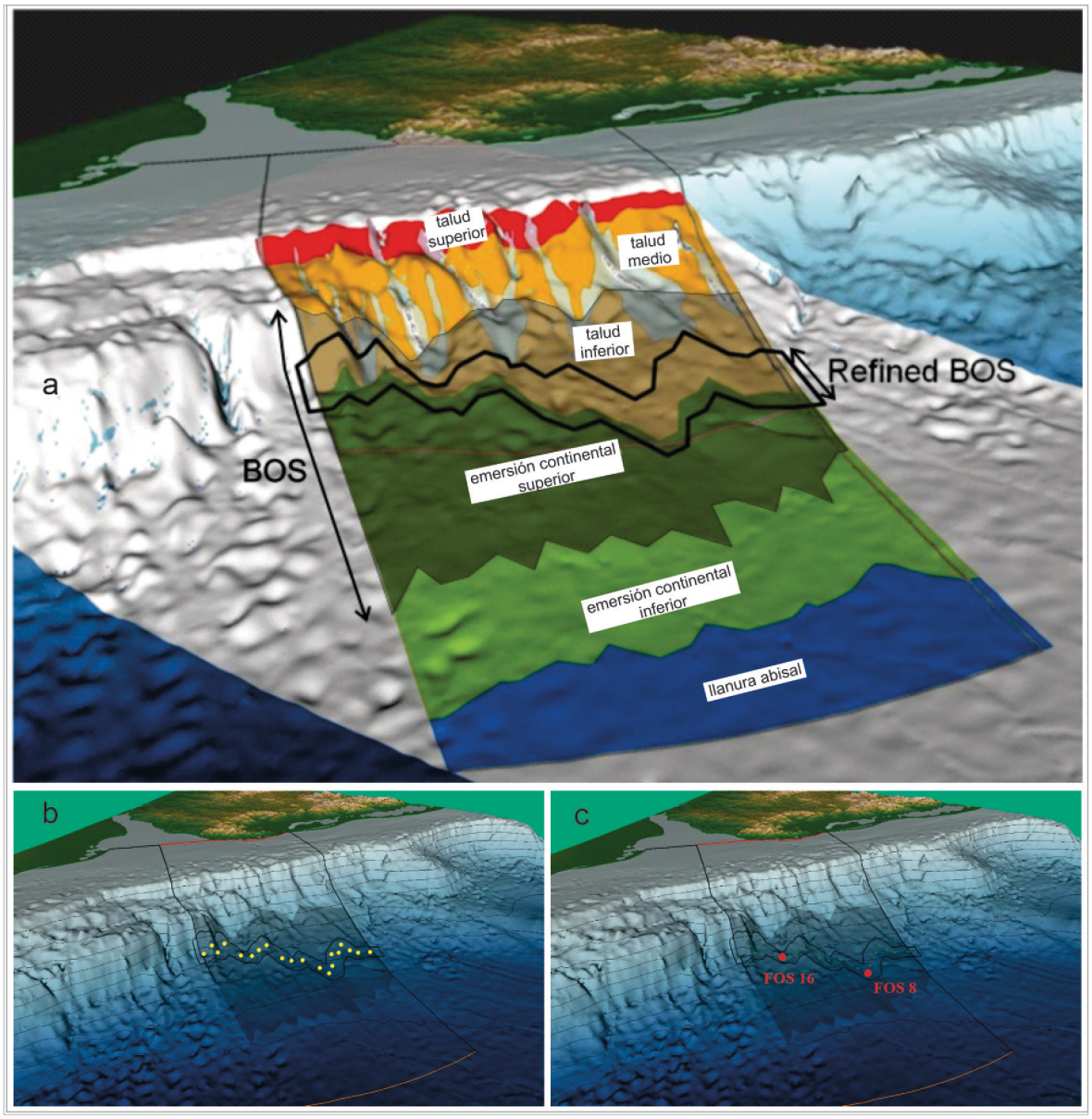


Figura 8: Sucesión de pasos dados por la COALEP para la determinación de los pies del talud utilizados para la aplicación de la fórmula ampliatoria: a) definición de la base del talud (BOS) y la base del talud refinada (BOS refined); b) ubicación de los 22 pies del talud; c) ubicación de los pies del talud críticos: FOS08 situado a 4.117 m de profundidad de agua, Lat. 36.479977 S y Long. 50.84190 W; FOS16 a 3.551 m de profundidad de agua, Lat. 37.106172 S y Long. 52.36248 W.

Luego de la aplicación de esas dos etapas quedó delimitada una zona relativamente amplia que integraba la parte inferior del talud y la parte superior de la emersión continental (figura 8a). Por último, a efectos de acotar esa base de talud extremadamente

amplia, se definió lo que se denominó la base del talud refinada (BOS *refined*) en la presentación revisada. Este criterio intentó contemplar las características disímiles del gradiente de las dos regiones morfológicas del margen continental uruguayo (figura 8a), así como algunos rasgos morfológicos locales que podían quedar expuestos ante una base de talud demasiado amplia. Al restringirse el ancho de la base del talud, la región Septentrional quedó más amplia dado que sus valores de gradiente son más sutiles que los de la región Meridional.

Los 22 pies del talud a lo largo del margen continental uruguayo (Figura 8b) surgieron de calcular el máximo cambio de gradiente dentro de la base de talud refinada, calculando la segunda derivada de la batimetría dentro de esa zona y quedando definidos con exactitud los pies del talud.

Los pies del talud utilizados para la aplicación de la fórmula ampliatoria fueron los FOS08 y FOS16, que mostraron gradientes hacia el mar de 0,41º y 0,39º y gradientes hacia el continente de 0,70º y 0,76º, respectivamente (figura 8c). Esos valores de gradientes fueron considerados aceptables al ser comparables con los rangos establecidos por las Directrices de la CLCS y utilizados en otras presentaciones de Estados ribereños.

Aplicación del criterio del 1% del espesor de sedimentos

La base de datos e información geológica y geofísica, esencialmente sísmica, que sustentó la definición del límite exterior se presenta en la figura 9. La geofísica incluyó: los levantamientos realizados por el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) en el transcurso de la campaña ARGURU-2004; los datos e información sísmica 2D que puso a disposición ANCAP, obtenidos en sucesivas campañas de exploración de hidrocarburos dentro de las 200 M; las líneas sísmicas puestas a disposición por la COPLA y el LEPLAC; y los relevamientos sísmicos adquiridos por la COALEP para fortalecer la base argumental y, fundamentalmente, lograr la máxima ampliación posible del límite exterior.

Un aspecto técnico medular en la defensa de la mejor opción para la definición del límite exterior fueron los estudios orientados a la identificación y la caracterización de los depocentros profundos (estructuras geológicas —*hemi-grabens*— que albergan los máximos espesores sedimentarios) próximos a las 350 M. Esto se basó en que constituían la mejor situación posible para aplicar la regla del 1% de sedimentos teniendo en cuenta la naturaleza física del margen continental uruguayo. Las reglas estipuladas en las directrices técnicas señalan que si "dos puntos situados en *semigrabens* independientes cumplen las condiciones estipuladas en la Convención en cuanto al espesor de los sedimentos o la distancia hasta el pie de talud, así como la condición de la Comisión relativa a la continuidad de los depósitos sedimentarios", el Estado ribereño puede seleccionar el punto más conveniente (figura 9).

Con relación a lo anterior, uno de los aspectos más discutidos entre la COALEP y la subcomisión fue la interpretación geofísica-geológica del basamento ígneo de cada uno de los depocentros sedimentarios que serían usados para el cálculo del 1% del espesor de

sedimentos. La COALEP entendió que se estaría en mejores condiciones para demostrar ese carácter a partir de nuevos relevamientos sísmicos en áreas específicamente seleccionadas y con parámetros de adquisición que revelaran de mejor forma la configuración geofísica profunda de los depocentros sedimentarios. Cabe señalar que, a efectos de la definición de la ubicación de las trazas de los nuevos relevamientos sísmicos propuestos por la COALEP, sólo se contaba con un mapa de magnetometría del margen continental y una interpretación estructural de la disposición de los depocentros próximos a las 350 M. Si los relevamientos sísmicos eran exitosos (figura 10), se cumpliría con dos objetivos fundamentales perseguidos: por un lado, aportar a las condiciones de adquisición y calidad requeridas por la subcomisión y, por otro, individualizar la existencia de otros depocentros sedimentarios para mejorar la aplicación de la regla del 1%.

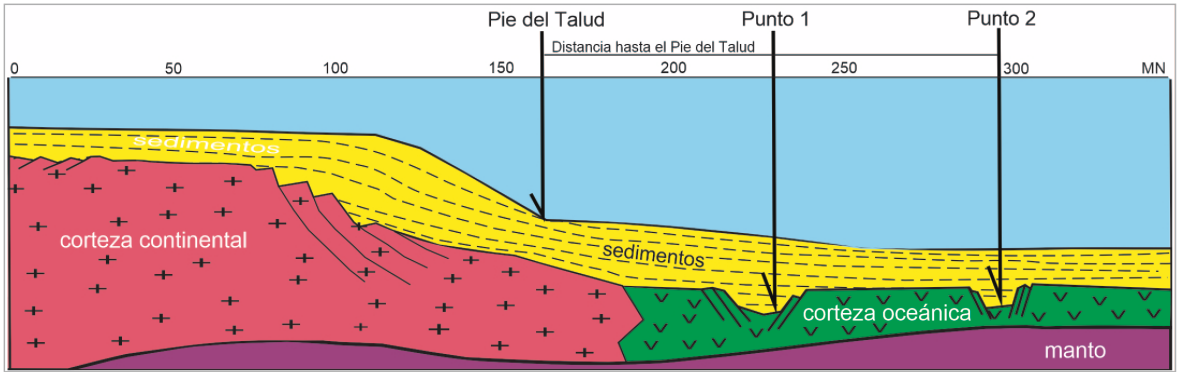


Figura 9: Esquema que ilustra la posibilidad de aplicación de la regla del 1% de sedimentos teniendo en cuenta la ubicación de diferentes depocentros sedimentarios a lo largo de un margen continental.

La subcomisión, luego de los últimos relevamientos sísmicos de alta resolución (COALEP, 2012, 2014), aceptó la interpretación de la delegación uruguaya sobre la naturaleza rocosa de los depocentros sedimentarios, los que se interpretaron como constituidos por un paquete de rocas clásticas más un paquete vulcano-sedimentario basal (que debía ser parte del espesor sedimentario del 1%) dispuesto en discordancia sobre el basamento ígneo (corteza oceánica). Como resultado final de todos los relevamientos sísmicos, la subcomisión expresó que la evidencia suministrada apoya la interpretación de los reflectores basales como sedimentos intercalados con rocas volcánicas, así como que el basamento acústico es identificado por un reflector coherente cerca de la parte inferior de una capa que presenta velocidades sísmicas máximas de alrededor de 4,5 km/s (figura 11).

Por último, se calculó el espesor de sedimentos para cada uno de los puntos fijos del margen continental basados en datos reales de velocidad sísmica, de conformidad con los apartados 8.5.1 y 9.3.8 de los lineamientos expresados en las Directrices (CLCS, 1999).

Los puntos fijos GP01, GP02, GP03, GP04, GP05 y GP06 resultaron de la aplicación de la fórmula Gardiner (figura 3) y fueron acordados entre la COALEP y la subcomisión en las reuniones del mes de agosto de 2015 (ver capítulo 1.2 de este libro). El cálculo del espesor de sedimentos en cada punto fijo es el resultado de identificar el basamento y convertir el espesor de los sedimentos de milisegundos de tiempo doble a metros, con base en las velocidades sísmicas de apilamiento, información que figura en el cuerpo del informe final de la presentación (COALEP, 2014).

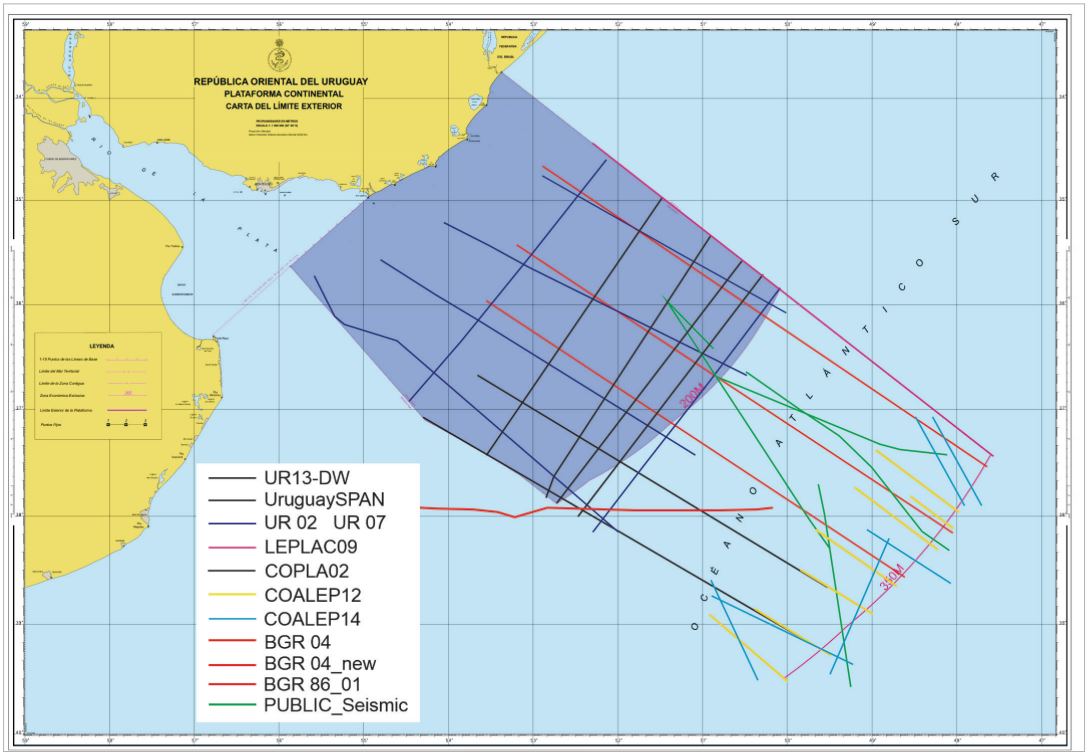


Figura 10: Mapa original de la ubicación de líneas sísmicas compiladas o adquiridas por la COALEP para la determinación del límite exterior del margen continental uruguayo.

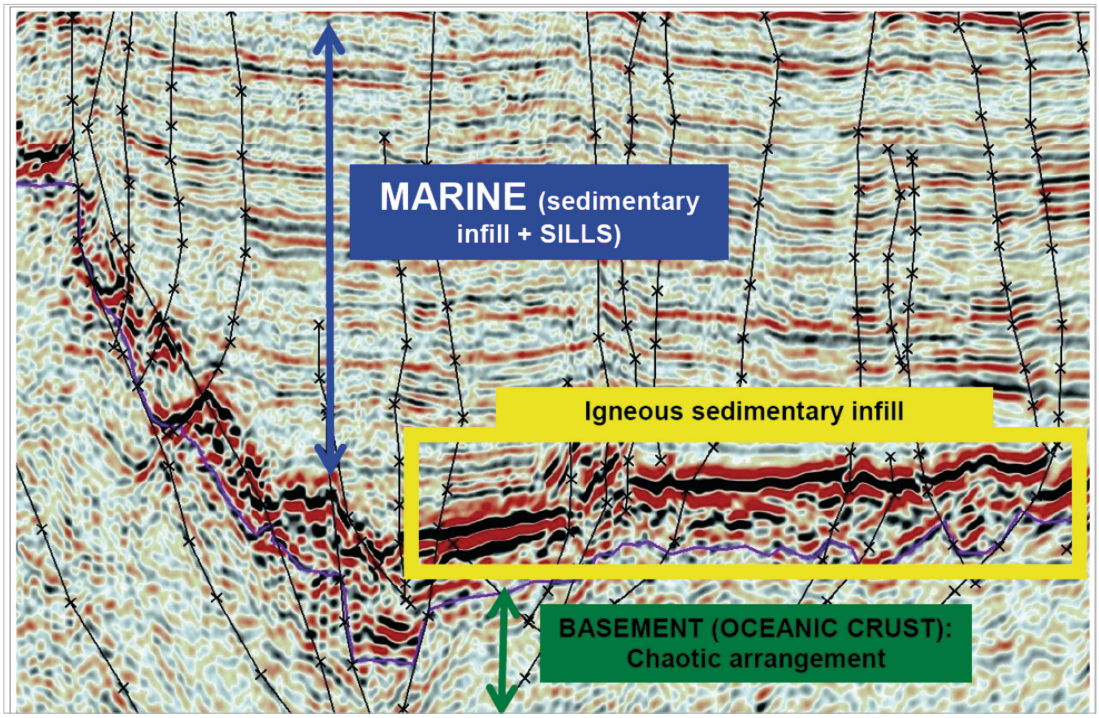


Figura 11: Ejemplo de los rasgos geofísicos de la secuencia vulcano-sedimentaria basal dispuesta sobre la corteza oceánica que permitían sumar espesor para establecer los puntos fijos del margen uruguayo con la fórmula del 1%. Para el cálculo del espesor sedimentario, se utilizaron líneas sísmicas donde el espesor sedimentario fue obtenido a partir de la utilización de técnicas habituales en la industria del petróleo. Los últimos relevamientos sísmicos llevados a cabo por Uruguay permitieron identificar con claridad el basamento (rocas de la corteza oceánica) del relleno vulcano-sedimentario. Este incluía en la base de algunos depocentros un relleno de naturaleza ígnea-sedimentaria, interpretado sobre la base de velocidades sísmicas y el carácter de los reflectores. Cabe señalar que la subcomisión concordó con cada uno de los puntos de "picado" del basamento en todos los perfiles sísmicos de la COALEP.

Tabla 4: Coordenadas de cada uno de los puntos Gardiner, el valor del espesor sedimentario y la distancia al pie del talud que constata el cumplimiento de la regla del 1%

Punto del margen continental	Longitud	Latitud	CM-Shot point / línea símica	Espesor de sedimento (m)	Distancia al CM anterior (M)	Criterio aplicado art. 76	FOS crítico / línea	Distancia al FOS (m)
GP01	50,5366880 W	39,0603333 S	SP 2.003 / COALEP 14-01	2.697,9	0,000	4 (a) (i)	FOS 16 / OCPLA_016	269.628,7
GP02	49,8205168 W	39,1534617 S	SP 526 / LEPLAC_S32A	3.129,3	33,9107	4 (a) (i)	FOS 08 / OCPLA_008	310.060,3
GP03	48,7632673 W	38,6526451 S	SP 62.477 / COALEP12-01	3.032,6	57,9081	4 (a) (i)	FOS 08 / OCPLA_008	303.084,8
GP04	48,6675759 W	38,5451745 S	SP 1.021 / LEPLAC_S30	3.004,5	7,8585	4 (a) (i)	FOS 08 / OCPLA_008	299.129,5
GP05	48,8518292 W	37,9787109 S	SP 58.316 / COALEP 12-02	2.429,2	35,0503	4 (a) (i)	FOS 08 / OCPLA_008	242.590,5
GP06	47,9443800 W	37,3679400 S	SP 1.880 / BGR04-01sa	2.766,2	56,6418	4 (a) (i)	FOS 08 / OCPLA_008	276.321,4

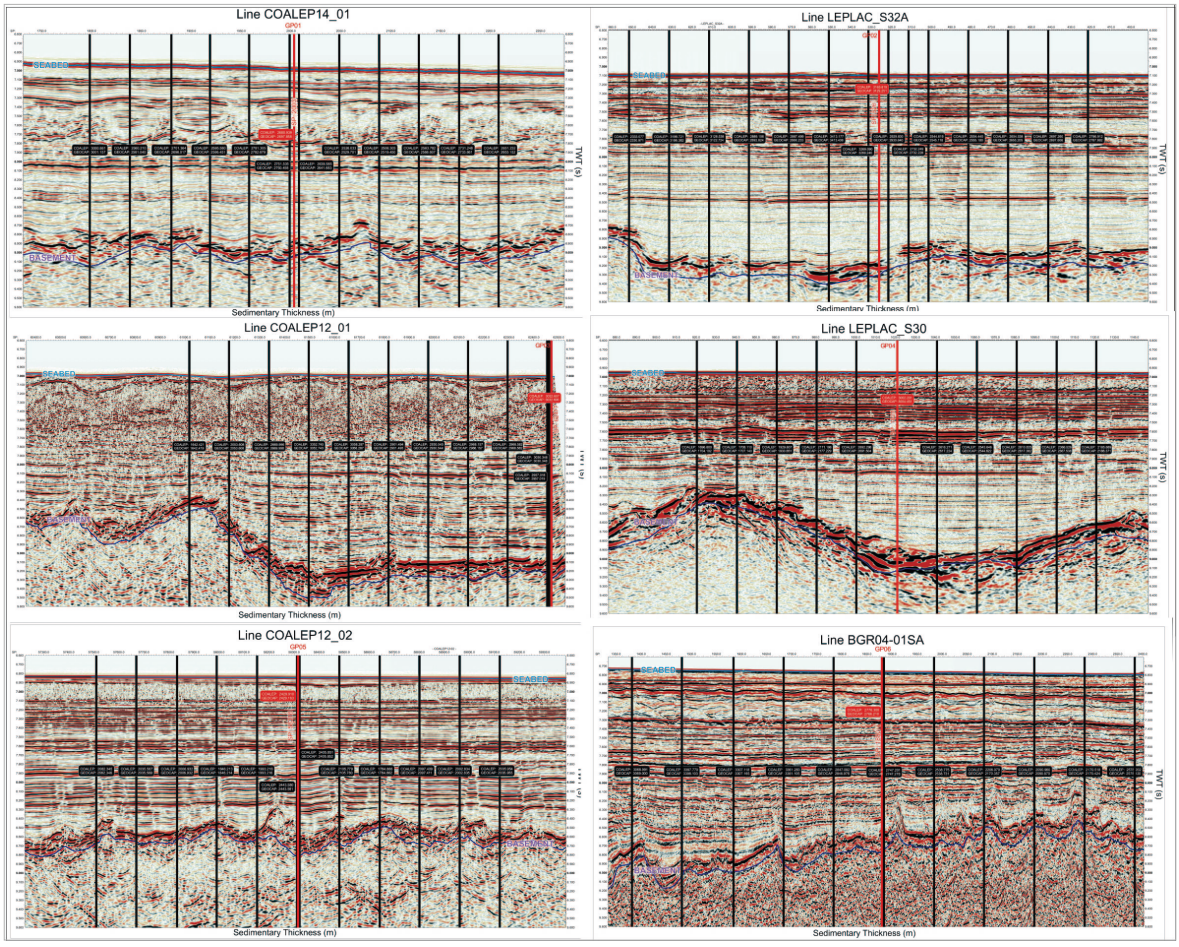


Figura 12: Representación del espesor sedimentario en las diferentes líneas sísmicas utilizadas para la definición de cada uno de los 6 puntos fijos (o Gardiner) que establecen el límite del borde exterior del margen continental uruguayo.

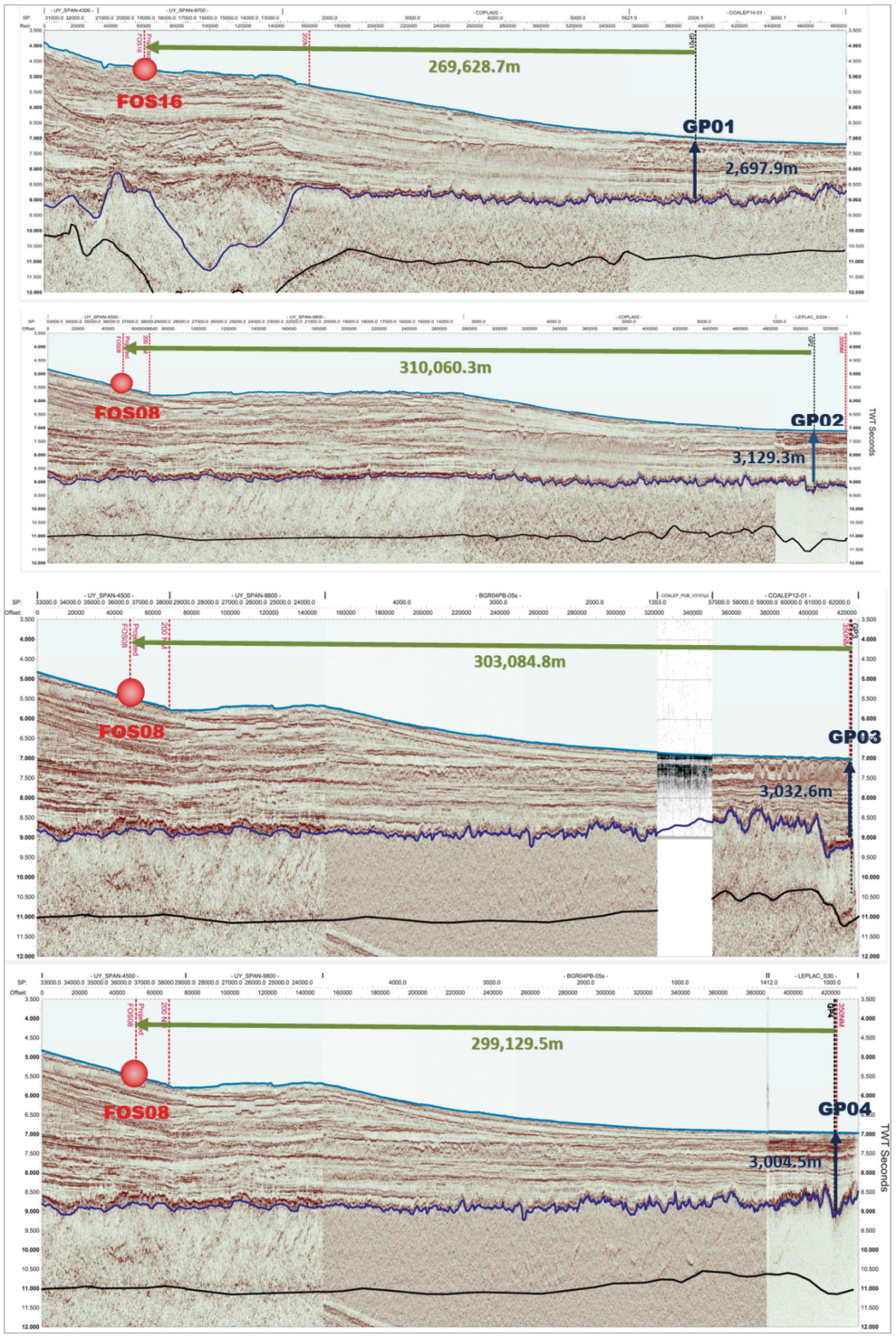


Figura 13: Demostración de la continuidad de sedimentos entre los puntos fijos GP01, GP02, GP03 y GP04 y sus pies.

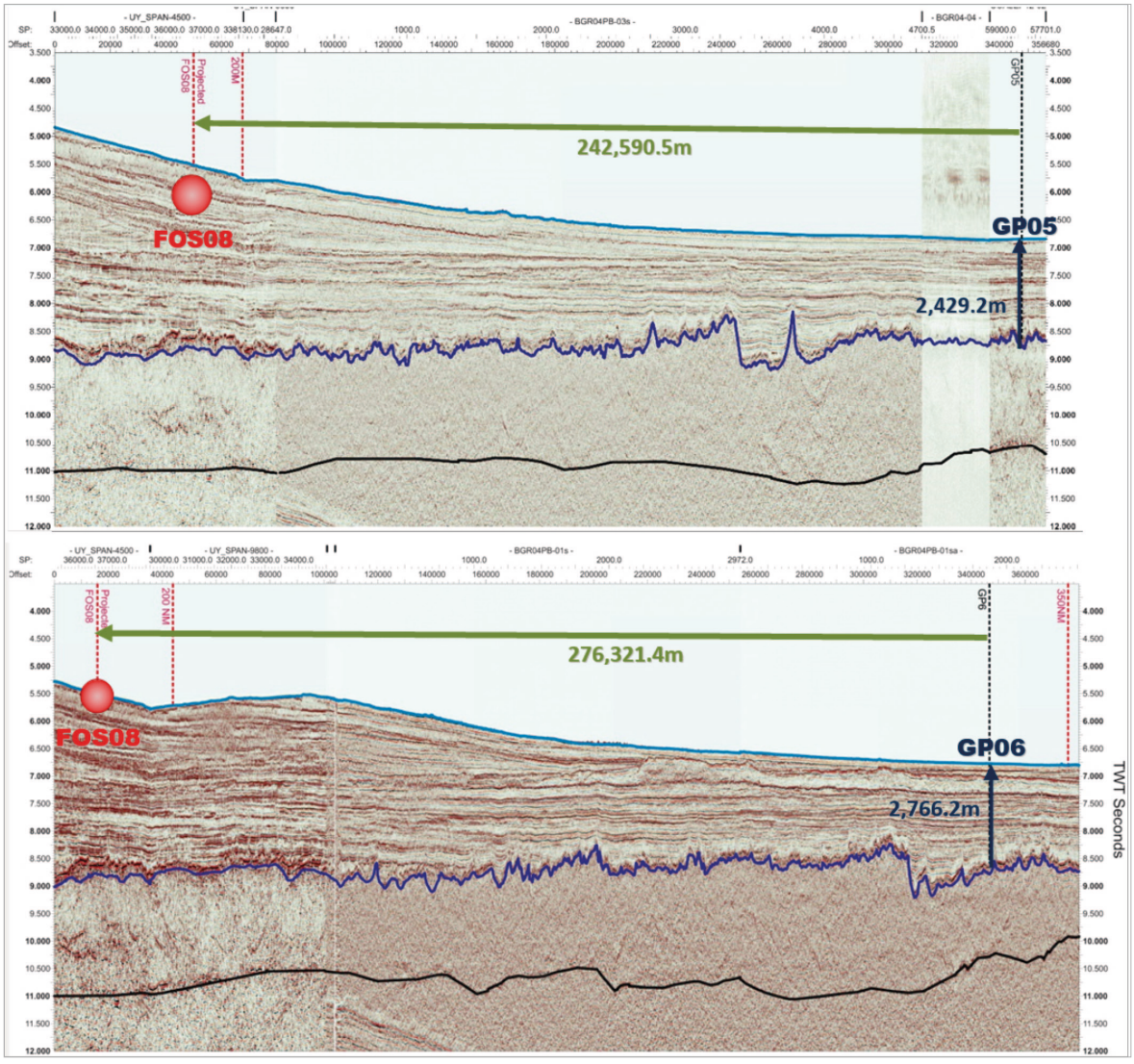


Figura 14: Demostración de la continuidad de sedimentos entre los puntos fijos GP05 y GP06 y sus pies del talud asociado.

Demostración de la continuidad sedimentaria

Para cada uno de los puntos fijos establecidos anteriormente, en cumplimiento a las Directrices de la CLCS se demostró la continuidad del paquete sedimentario al pie del talud asociado. A tales efectos, se construyeron perfiles sísmicos arbitrarios con la información sísmica disponible a la que se sumaron datos de sísmica monocanal de dominio público (ver figuras 13 y 14).

Definición del límite exterior de la plataforma continental

El límite exterior de la plataforma continental de Uruguay, luego de la aplicación de la

fórmula del 1% de sedimentos, la definición de los puntos fijos, la demostración de la continuidad sedimentaria y la aplicación de la fórmula de restricción de las 350 M, quedó constituido por 27 puntos fijos unidos por líneas rectas de no más de 60 millas de separación entre sí (figura 15a). La figura 15b exhibe cada uno de los 27 puntos fijos que delinean el límite exterior de la plataforma continental de la República Oriental del Uruguay.

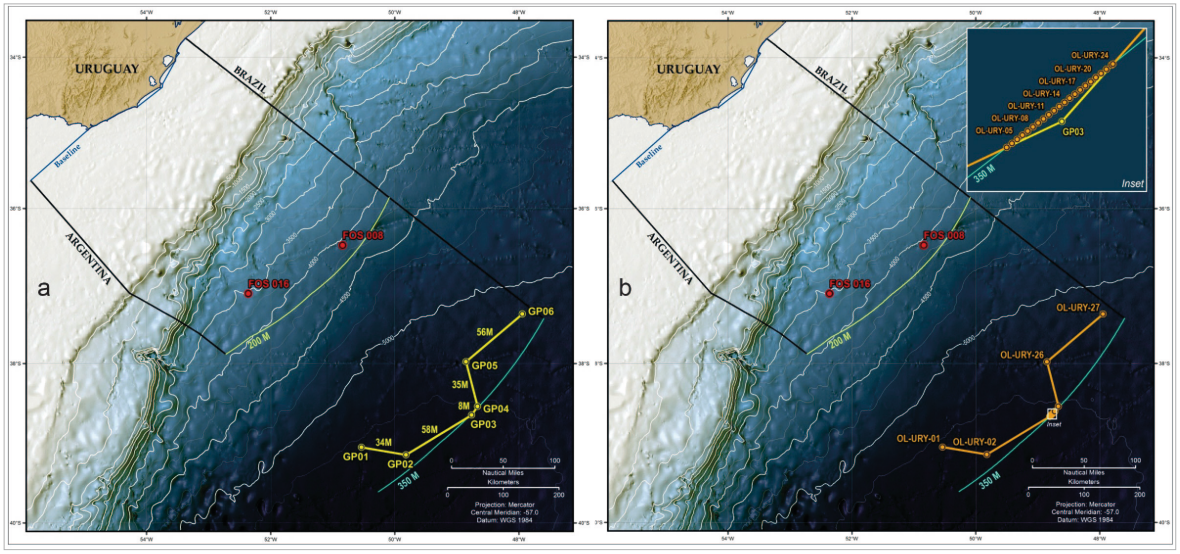


Figura 15: a) Ubicación de los 6 puntos fijos que resultan de la aplicación de la fórmula de Gardiner (GP) en el margen continental uruguayo y b) ubicación de los 27 puntos fijos que definen el límite exterior de la plataforma continental de la República Oriental del Uruguay luego de la aplicación de las fórmulas de Gardiner y de restricción de las 350 M.

Estado de situación al presente

Aún restan pequeñas acciones técnicas y legales para la demarcación del límite exterior de la plataforma continental uruguaya. Esto último requiere de la aprobación de una ley que debe tomar como base la recomendación de la CLCS aprobada el 19 agosto de 2016, en los términos del artículo 76.8 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, del 10 de diciembre de 1982. Una vez aprobada la ley por el Parlamento y promulgada por el Poder Ejecutivo, esta debe ser depositada en las Naciones Unidas.

Sin embargo, como fue señalado, tanto la República Federativa del Brasil como la República Argentina establecieron sus límites del borde exterior de sus plataformas continentales en las áreas vecinas a Uruguay con posterioridad. Esto propicia una modificación ventajosa para la ampliación territorial, dado que pueden ser utilizados algunos

de los puntos fijos más próximos aprobados por la CLCS para los países vecinos y trazar de forma más favorable aún el borde exterior del límite de la plataforma continental uruguaya. Una pequeña operación técnica debe realizarse sobre la base de lo establecido en las normas aprobadas por la CONVEMAR en la región limítrofe con Argentina (figura 16). Esa operación ya fue realizada con Brasil luego de la aprobación de su recomendación estableciéndose como límite exterior el punto con coordenadas: Long. -47.887653224, Lat. -37.24515442388.

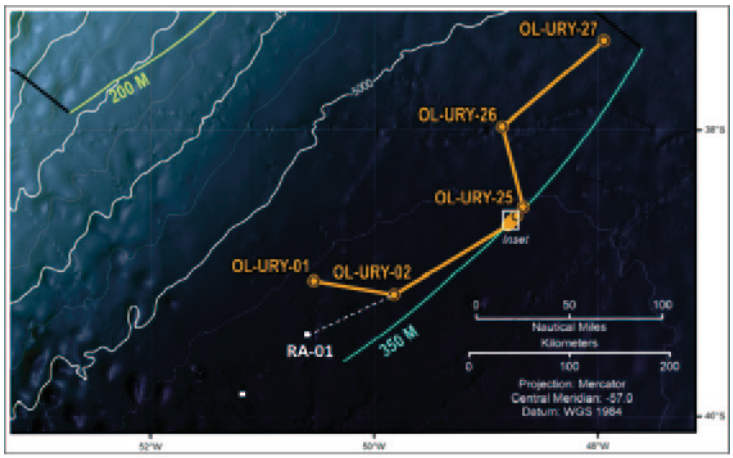
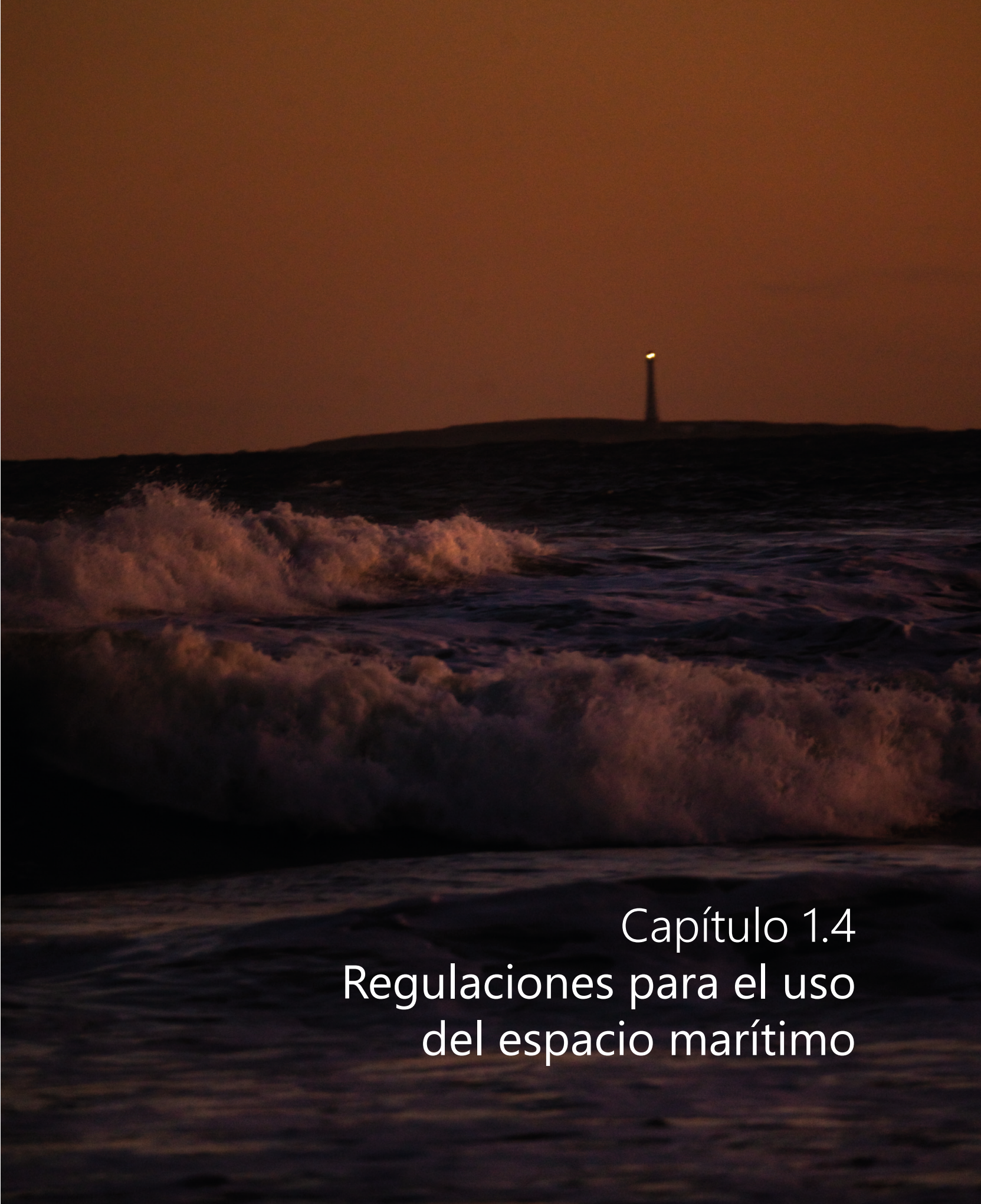


Figura 16: Esquema que ilustra la operación técnica necesaria para demarcar el límite del borde exterior de la plataforma continental uruguaya en la región contigua a Argentina. La posición más ventajosa para Uruguay es desistir del punto fijo OL-URY-01 aprobado oportunamente y unir el punto fijo OL-URY-02 (Lat. -39.1534617, Long. -49.8205168) al punto fijo RA-01 (Lat. -39.436672, Long. -50.596350) aprobado para Argentina.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Veroslavsky, G., P. Rodríguez, N. Ucha, H. de Santa Ana, J. Domínguez, F. Preciozzi y C. Mata Prates, 2024, Nuestra última frontera: la determinación del límite exterior de la plataforma continental uruguaya, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 39-66, doi: 10.70952/a8827tmuc1-3



Capítulo 1.4
Regulaciones para el uso del espacio marítimo

Faro de la Isla de Lobos. Fotografía de Margarita González Rodríguez-Villamil (margamegpics@gmail.com).

Capítulo 1.4
Regulaciones para el uso del espacio marítimo

María Victoria Zorrilla Ferrés[1,2]

[1] *Facultad de Derecho, Universidad de la República*

[2] *Asesoría Letrada, Prefectura Nacional Naval, Armada Nacional*

Introducción

Debido a que el presente trabajo es parte de una obra colectiva titulada *Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos,* es necesario aclarar el alcance dado aquí a la expresión "territorio marítimo uruguayo", ya que puede ser utilizada por otros autores con significados diversos. En este sentido, se entenderán por territorio marítimo uruguayo los distintos espacios marítimos en los cuales el Estado uruguayo tiene soberanía, derechos de soberanía o jurisdicción de algún tipo en calidad de Estado ribereño, esto es, aguas interiores, mar territorial, zona contigua, zona económica exclusiva (ZEE) y plataforma continental.

En esta línea, como se expresa en el título, se analizarán las potestades que posee nuestro Estado para regular las distintas zonas marítimas establecidas por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Naciones Unidas, 1982; Poder Legislativo, 1992b, 1998)[1] (en adelante, CONVEMAR), ya sea desde el punto de vista ambiental, de seguridad marítima (*maritime safety)* o de protección marítima (*maritime security*), así como también de la aplicación de normas nacionales e internacionales, teniendo en cuenta las distintas actividades que pueden ser desarrolladas en las distintas zonas.

El derecho del mar y los distintos espacios marítimos

El derecho del mar y sus funciones

Desde tiempos ancestrales, la humanidad necesitó de los océanos y sus recursos para sustentarse y, con el paso del tiempo, su utilización ha ido creciendo a medida que avanza también la tecnología, permitiendo un mayor aprovechamiento (Treves, 2015). Esto ha traído consigo la necesidad de regular, mediante normas internacionales, las diversas actividades humanas que se realizan en ellos. El conjunto de las normas que vinculan a los Estados y otros sujetos del derecho internacional en asuntos marítimos ha sido

1 La CONVEMAR fue aprobada en Montego Bay el 10 diciembre de 1982, ratificada por Uruguay por medio de la Ley n.o 16.287 e implementada mediante la Ley n.º 17.033.

denominado derecho internacional del mar (Tanaka, 2019, p. 3).

Con respecto a este derecho internacional del mar, se ha dicho que cumple dos funciones básicas, a saber: la distribución espacial de la jurisdicción nacional y garantizar la cooperación internacional entre los Estados (Tanaka, 2019). Este autor explica que la primera de ellas implica la división del océano en múltiples zonas jurisdiccionales, como ser las aguas interiores, el mar territorial, la zona contigua, la ZEE, las aguas archipelágicas, la plataforma continental, alta mar y la Zona.[2] Aquí, el derecho del mar establece los derechos y obligaciones del Estado ribereño y de terceros Estados de acuerdo con estas zonas jurisdiccionales, cada una de ellas con sus particularidades. Este enfoque ha sido denominado enfoque de gestión zonal.

Con relación a la segunda función señalada por Tanaka (2019), es una consecuencia del hecho de que el océano es una unidad en el sentido físico, por lo que la gestión adecuada de los océanos requiere de la cooperación internacional entre los Estados. En general, el alcance espacial de las zonas jurisdiccionales creadas por el ser humano rara vez se corresponde con los ecosistemas marinos. De hecho, varias especies, como las transzonales y las altamente migratorias, no respetan las líneas de delimitación artificiales.

Como sostiene este autor, la divergencia entre el derecho y la naturaleza es una deficiencia grave en el enfoque tradicional de gestión zonal. Por tanto, la cooperación internacional es un requisito previo para la conservación de los recursos marinos vivos, así como de la diversidad biológica.

De manera similar, sin cooperación internacional, la regulación de la contaminación marina sería menos efectiva porque la contaminación puede extenderse más allá de las fronteras marítimas. Además, la regulación de las actividades industriales por parte de un solo Estado para prevenir la contaminación marina pondría a la economía de ese Estado en desventaja competitiva. También se necesita cooperación internacional en la investigación científica marina debido a la naturaleza altamente compleja de los océanos. El derecho del mar proporciona un marco jurídico para garantizar la cooperación internacional en asuntos marítimos, salvaguardando así los intereses comunes de la comunidad internacional en su conjunto (Tanaka, 2019, p. 4).

Las fuentes del derecho del mar: el rol integrador de los convenios de la Organización Marítima Internacional

El derecho internacional del mar ha sido codificado a través de la CONVEMAR, que se encuentra en vigor internacional desde el 16 de noviembre de 1994 y cuenta con 168 Estados parte a diciembre de 2023 (ver capítulo 1.2 de este libro). Junto con dicha Convención, encontramos varios convenios multilaterales, regionales o bilaterales celebrados por los Estados para el desarrollo y la aplicación de la CONVEMAR, lo cual nos permite ver en funcionamiento la segunda función del derecho internacional del mar, esto es, la cooperación internacional. Dicha Convención es lo que se ha dado en llamar

2 Entendiendo por tal los fondos marinos y oceánicos y su subsuelo, más allá de los límites de la jurisdicción nacional, conforme es regulada en la Parte XI de la CONVEMAR.

convenio marco o *framework*, ya que establece deberes genéricos sobre la protección y preservación del medio marino, así como también el velar por la seguridad marítima. Ahora bien, ¿cómo lo lleva a cabo el Estado? ¿Cómo cumple con estos deberes? Es aquí que entran en juego los convenios de la Organización Marítima Internacional (OMI).

Estos convenios cumplen una función integradora y complementaria de las normas contenidas en la CONVEMAR, principalmente en las materias mencionadas: seguridad marítima y prevención de la contaminación ocasionada por buques (Gabaldón García, 2012, p. 78). De la lectura de algunas de sus disposiciones,[3] surge claramente que "la Convención no sólo no excluye la operatividad de los convenios de la OMI, sino que presupone su existencia y se apoya en ellos, configurándolos como Derecho internacional especial del mar" (Gabaldón García, 2012, p. 79).

A pesar de que no la nombra, pacíficamente se ha entendido que cuando la Convención expresa "la organización internacional competente" para la elaboración, definición y aprobación de normas, reglas y estándares se está refiriendo, justamente, a la OMI.[4] También se refiere a ella cuando establece que los Estados deberán ajustarse a las normas internacionales aplicables o a las reglas y estándares internacionales aplicables (ver artículos 216 a 220).

A lo anterior debe sumarse la invocación a materiales recomendatorios (como ser códigos OMI recomendatorios, manuales, directrices, etc.).

> Es el caso de las expresiones "las reglas y estándares, así como las prácticas y procedimientos recomendados de carácter mundial" (art. 210.4 y 6); "recomendaciones de la organización internacional competente" (art. 22.3.a, art. 60.5); "los reglamentos, procedimientos, y prácticas internacionales generalmente aceptados" (art. 94.5) o los "reglamentos, procedimientos y prácticas internacionales" (39.2.a) (Gabaldón García, 2012, p. 80)

Finalmente, dentro de las fuentes, cabe destacar el rol que desempeñan las normas nacionales reguladoras de los espacios marítimos a través de sus potestades de Estado ribereño y de Estado rector. Dichas normas deben ajustarse a las normas del derecho internacional, principalmente a la CONVEMAR y a los convenios de la OMI.

División de los espacios marítimos

Teniendo en cuenta la base de jurisdicción nacional del Estado ribereño sobre los espacios marítimos conforme a la CONVEMAR, estos se pueden dividir en dos categorías principales: espacios marítimos bajo jurisdicción nacional y espacios fuera de la jurisdicción nacional. La primera categoría contiene las aguas interiores, el mar territorial, los estrechos internacionales, las aguas archipelágicas, la zona contigua, la ZEE y la plataforma continental, mientras que la segunda contiene la alta mar y la Zona.

Tanaka (2019, p. 9) expresa que los espacios marítimos bajo jurisdicción nacional, a su vez, se pueden subdividir en dos

3 Tal es el caso de los artículos 237 y 311.2 de la CONVEMAR, relacionados con la protección del medio marino.

4 Ver artículos 22.3 literal a; 60.3 y 60.5; 211.1, 211.2, 211.3, 211.5 y 211.6; 217.1, 217.4 y 217.7; 218.1, entre otros.

subcategorías. La primera se refiere a los espacios marítimos regidos por la soberanía territorial. Esta subcategoría está integrada por las aguas interiores, los mares territoriales, los estrechos internacionales y las aguas archipelágicas. En ellos, la soberanía territorial se caracteriza por la integridad y la exclusividad. Denota jurisdicción completa, en el sentido de que comprende tres elementos, a menos que el derecho internacional disponga lo contrario:

i. La soberanía territorial comprende una jurisdicción integral, que incluye tanto la jurisdicción legislativa como la de ejecución, sobre el territorio del Estado.

ii. El Estado ejerce su jurisdicción sobre todos los asuntos dentro de su territorio. En otras palabras, la soberanía territorial no contiene límites *ratione materiae*.

iii. El Estado ejerce su jurisdicción sobre todas las personas independientemente de su nacionalidad. Por tanto, la soberanía territorial no contiene límites *ratione personae*.

Ese autor también afirma que, al mismo tiempo, la soberanía territorial es excluyente en el sentido de que sólo el Estado en cuestión puede ejercer jurisdicción sobre su territorio. En resumen, en su territorio, el Estado ejerce jurisdicción legislativa y de ejecución sobre todos los asuntos y todas las personas de manera exclusiva, salvo que el derecho internacional disponga lo contrario.

Al respecto, es importante señalar que la soberanía territorial se puede ejercer únicamente dentro del territorio en cuestión. En este sentido, la soberanía territorial es espacial por naturaleza, esto es, se relaciona con un determinado espacio y puede ejercerse únicamente dentro del espacio en cuestión. En nuestro caso, las aguas interiores y el mar territorial constituyen los únicos espacios marítimos bajo soberanía territorial nacional.

En cambio, la segunda subcategoría se relaciona con los espacios marítimos más allá de la soberanía territorial, pero bajo la jurisdicción nacional del Estado ribereño. Está claro que la ZEE y la plataforma continental están incluidas en esta categoría. Teniendo en cuenta que la zona contigua pasa a formar parte de la ZEE donde se establece (como es el caso de Uruguay), Tanaka (2019) coloca la zona contigua en la misma subcategoría que la ZEE.

La jurisdicción del Estado ribereño sobre la ZEE y la plataforma continental —llamadas derechos soberanos— se limita a las materias definidas por el derecho internacional (limitación *ratione materiae*). En este sentido, los derechos soberanos deben distinguirse de la soberanía territorial *per se*, que es integral a menos que el derecho internacional disponga lo contrario. Pero, a su vez, los derechos soberanos tienen puntos en común con la soberanía territorial:

i. Los derechos soberanos conciernen a un espacio determinado y pueden ejercerse únicamente dentro del espacio en cuestión, es decir, tanto en la ZEE como en la plataforma continental. En este sentido, dichos derechos son espaciales por naturaleza.

ii. En lo que respecta a cuestiones definidas por la norma, el Estado ribereño puede

ejercer jurisdicción legislativa y de ejecución en la ZEE, así como en la plataforma continental.

iii. El Estado ribereño ejerce su jurisdicción sobre todas las personas, independientemente de su nacionalidad, dentro del espacio determinado en cuestión. Así, los derechos soberanos no contienen límite *ratione personae*.

iv. Los derechos soberanos son exclusivos, en el sentido de que nadie puede emprender la exploración y la explotación de recursos naturales sin el consentimiento expreso del Estado ribereño.

El punto esencial es que, al igual que la soberanía territorial, los derechos soberanos sobre la ZEE y la plataforma continental están limitados, no sólo espacialmente, como sucede con la soberanía territorial, sino también en razón de materia, a diferencia de esta.

En síntesis, se puede decir que, conforme al derecho del mar, los espacios marítimos de la república pueden clasificarse de la siguiente manera:

i. Espacios marítimos bajo jurisdicción nacional:

   a. Espacios marítimos bajo soberanía territorial: aguas interiores y mar territorial.

   b. Espacios marítimos bajo derechos soberanos: la zona contigua (donde se establece la ZEE), la ZEE y la plataforma continental.

ii. Espacios marítimos fuera de la jurisdicción nacional: alta mar y la Zona.

Los espacios marítimos y su regulación

Precisión previa

Como ya se mencionó, la regulación de los espacios marítimos se encuentra en la CONVEMAR y la Ley n.º 17.033, o Ley de Espacios Marítimos, con la cual se implementan ciertos aspectos de la mencionada Convención. Esta establece las distintas zonas marítimas, otorgando a los Estados el derecho a fijar su anchura dentro de los límites máximos que ella misma determina, debiendo utilizar para esto ciertos criterios a efectos de establecer la línea de base a partir de la cual se medirán los referidos espacios. En la mencionada ley nuestro país opta por establecer el límite máximo permitido por la CONVEMAR para sus distintas zonas marítimas y determina las líneas de base a partir de las cuales medirlas.[5]

Los espacios marítimos bajo soberanía territorial

Como se señaló, dentro de esta categoría —en lo que respecta a Uruguay— encontramos a las aguas interiores y al mar territorial. Las aguas interiores son aquellas "aguas situadas en el interior de la línea de base del mar territorial" (CONVEMAR, art. 8.1), sobre las cuales el Estado ribereño tiene soberanía.[6]

En este sentido, reviste importancia el identificar la línea de base, ya que es la que separa estas dos aguas. Si bien ambas están bajo

5 Ver el artículo 14 de la Ley n.º 17.033

6 Artículo 2.1 de la CONVEMAR y artículo 1 de la Ley n.º 17.033.

soberanía del Estado ribereño, la gran diferencia entre ellas está dada en que en el mar territorial la soberanía no es plena, sino que se encuentra limitada a través del derecho de paso inocente (arts. 17 a 32).

Teniendo en cuenta el objeto de esta obra colectiva, se analizará —dentro de este apartado— únicamente la regulación en el mar territorial.

Nuestro Estado estableció una anchura de 12 millas marinas para el mar territorial (inc. 2 del art. 1 de la Ley n.º 17.033). La soberanía del Estado no sólo alcanza al espejo y el volumen de agua, sino también al espacio aéreo suprayacente y al lecho y el subsuelo del mar, y se debe ejercer conforme a las disposiciones de la CONVEMAR[7] y de otras normas de derecho internacional. Al tener soberanía sobre dicho espacio de agua, el Estado ribereño puede realizar y regular las actividades, explotaciones y exploraciones en él, siempre y cuando se respete el derecho de paso inocente y no se lo impida. Sin embargo, cabe destacar que el derecho de paso inocente no es un derecho irrestricto, ya que la Convención establece una serie de derechos del Estado ribereño con respecto a él en sus artículos 21, 22 y 25.

En primer lugar, el artículo 21.1 estipula que el Estado ribereño posee potestades legislativas (a través del dictado de leyes y reglamentos) relativas al paso inocente por el mar territorial, sobre todas o algunas de las materias allí mencionadas, de las cuales sólo destacaremos "la protección de cables y tuberías" (art. 21.1.c), por lo que en el caso de que se desarrollen actividades relacionadas con el hidrógeno verde o los hidrocarburos en las cuales se prevea el tendido de tuberías submarinas o cables, se podrá reglamentar el paso inocente previendo su protección.

Las potestades normativas contempladas se ven matizadas sobre determinados aspectos en el artículo 21, ya que este establece que dichas leyes y reglamentos "no se aplicarán al diseño, construcción, dotación o equipo de buques extranjeros, a menos que pongan en efecto reglas o normas internacionales generalmente aceptadas" (art. 21.2), refiriéndose aquí —sin nombrarlos— a los convenios de la OMI.

Cabe destacar, también, la potestad que tiene el Estado ribereño para suspender el paso inocente (art. 25.3), siempre y cuando estén presentes los siguientes requisitos en forma acumulativa: a) que la suspensión sea indispensable para la seguridad; b) que se haga sin discriminación por razón del pabellón; c) que se limite geográficamente a determinados lugares del mar territorial; d) que exista previa publicidad internacional; y e) que dicha suspensión sea temporal (Gabaldón García, 2012, p. 89). Por lo tanto, en caso de que se tiendan cables o tuberías se podría suspender el paso inocente por esa zona mientras duren los trabajos, siempre y cuando el tránsito por dicha área pueda afectar la seguridad y si se cumplen los demás requisitos.

Los espacios marítimos bajo derechos soberanos

La zona contigua

Dentro de esta categoría encontramos a la zona contigua, ZEE y a la plataforma continental. Dado que esta última es objeto de

7 Artículo 2.3 de la CONVEMAR.

estudio en el capítulo 1.2 de esta obra, el análisis se limitará a las primeras dos zonas mencionadas, principalmente a la ZEE.

La zona contigua es adyacente al mar territorial, en la cual el Estado ribereño puede ejercer el control necesario para prevenir y sancionar la infracción de sus leyes y reglamentos aduaneros, fiscales, migratorios o sanitarios dentro de su territorio o mar territorial (CONVEMAR, art. 33).

Se ha discutido mucho sobre la naturaleza jurídica de la jurisdicción del Estado ribereño sobre la zona contigua. Según una visión literal o restrictiva, el Estado ribereño sólo tiene jurisdicción de ejecución en su zona contigua y, en consecuencia, sólo puede tomar medidas respecto de infracciones cometidas dentro del territorio o mar territorial del Estado ribereño, no respecto de cualquier acto realizado dentro de la propia zona contigua. Esta posición, tal como señala Tanaka (2019, p. 148), es sustentada por sir Gerald Fitzmaurice, para quien el poder sobre la zona contigua es "esencialmente supervisor y preventivo".

Otra posición, más liberal, mantenida, por ejemplo, por Oda y O'Connell (citados por Tanaka, 2019, p. 148), sostiene que el Estado ribereño puede regular la violación de su derecho interno dentro de la zona contigua para algunos fines limitados, como ser el control aduanero o sanitario. Al parecer, sería más acertada la posición de estos últimos autores, ya que la propia Convención ha interpretado que el retirar sin autorización del Estado ribereño un objeto de carácter arqueológico o histórico de los fondos de su zona contigua constituye una de las infracciones referidas en el artículo 33 (art. 303.2).

Finalmente, cabe mencionar que Uruguay cuenta con una zona contigua de 24 millas marinas medidas desde la línea de base empleada para delimitar el mar territorial (art. 3 de la Ley n.º 17.033).

Un último aspecto a tener en cuenta es el hecho de que la ZEE también es un área adyacente al mar territorial, al igual que la zona contigua, por lo que se puede afirmar que la zona contigua es parte de esta (Tanaka, 2019, p. 147), sumándose a la ZEE las potestades reguladas en el artículo 33, pero únicamente dentro de las millas marinas en que ambas zonas se superponen.

La zona económica exclusiva

La ZEE es definida por la Convención como un área situada más allá del mar territorial y adyacente a este, con una extensión de hasta 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial.[8] Como se puede ver, la delimitación de la zona es potestativa para el Estado, sujeta al límite máximo mencionado, y así lo ha hecho Uruguay en virtud de la Ley n.º 17.033, fijando precisamente la anchura de la ZEE en el máximo permitido. El artículo 4 de la mencionada ley expresa:

> La zona económica exclusiva de la República se extiende desde el límite exterior del mar territorial hasta una distancia de doscientas millas marinas contadas desde las líneas de base establecidas en el artículo 14 de la presente ley para medir la anchura del mar territorial.

Como ya ha sido señalado en otra ocasión (Zorrilla Ferrés, 2016, p. 463), se ha debatido mucho acerca de la naturaleza de la ZEE

8 Artículos 55 y 57de la CONVEMAR.

teniendo en cuenta que esta es una zona híbrida que se balancea entre la libertad de navegación propia de alta mar y los derechos de soberanía y jurisdicción del Estado ribereño. Es por ello que se ha dicho que se trata de una zona *sui generis*. En dicha zona, el Estado ribereño no posee soberanía territorial, pero sí derechos de soberanía sobre sus recursos económicos.

¿Por qué es importante analizar estos aspectos? Porque, como se verá, algunas actividades que se realizan en la ZEE no se encuentran reguladas específicamente dentro de las potestades reconocidas al Estado ribereño, así como tampoco dentro de las libertades reconocidas a los terceros Estados.

Básicamente, las principales potestades del Estado ribereño se encuentran reguladas en el artículo 56 de la CONVEMAR, conforme al cual este posee derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, tanto vivos como no vivos, de las aguas suprayacentes al lecho y del lecho y el subsuelo del mar, y con respecto a otras actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la zona, y jurisdicción con respecto a la protección y preservación del medio marino, entre otras.

Por su parte, el artículo 58 regula las libertades de los terceros Estados en la ZEE, que consisten en la libertad de navegación, sobrevuelo, el tendido de cables y tuberías submarinas, y otros usos del mar internacionalmente legítimos relacionados con dichas libertades, compatibles con las demás disposiciones de la Convención.

A su vez, la Ley de Espacios Marítimos, que reglamenta la Convención, reitera los conceptos vertidos en esta, sin realizar ninguna aclaración o agregado que permita individualizar las actividades incluidas o excluidas de la soberanía del Estado ribereño al enunciar "otras actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la zona" (art. 5 de la Ley n.º 17.033). Por su parte, tampoco determina cuáles son las otras libertades de navegación que poseen los terceros Estados ni cuáles son los otros usos del mar internacionalmente legítimos relacionados con dichas libertades.[9]

Retomando el análisis de la Convención, esta parece pretender establecer una especie de equilibrio en la zona entre los derechos del Estado ribereño y las libertades de los terceros Estados. Pero también proporciona una norma residual a aplicarse en aquellos casos donde la propia Convención no confiere ni derechos a los primeros ni libertades a los segundos. Es así que encontramos el artículo 59, donde se establece que la jurisdicción debe ser determinada con base en la equidad y a la luz de todas las circunstancias relevantes, tomando en cuenta la importancia respectiva que revistan los intereses de que se trate para las partes, así como la comunidad internacional en su conjunto. Se sostiene que la función de esta norma sería balancear las posiciones entre ambos. Leanza y Caracciolo (2014, p. 186) sostienen que en los hechos es difícil enmarcar la situación de los terceros Estados en término de "libertades" en la ZEE, teniendo en cuenta las medidas de control y ejecución que el Estado ribereño tiene competencia para ejercer en el área. Entre ellas se encuentran medidas coercitivas como el

9 Artículo 6 *in fine* de la Ley n.º 17.033.

embargo, el arresto, el secuestro y el derecho de visita, así como el enjuiciamiento de buques extranjeros y sus tripulaciones, entre otras. Estas medidas inevitablemente inclinarán el balance a favor del Estado ribereño respecto de las actividades llevadas adelante por otros Estados dentro de la zona. Por ello, estos autores sostienen que la regulación de la ZEE está más orientada hacia el régimen de territorialidad que hacia el régimen de libertad, al menos en la implementación práctica de estos derechos por los Estados ribereños. En resumen, sostienen que actualmente estamos en presencia de una continua expansión de la jurisdicción del Estado ribereño, en detrimento de la libertad de alta mar y, en particular, de la libertad de la navegación en la ZEE.

Como se puede ver, si bien debería regir el principio de la libertad de navegación, este se encuentra condicionado principalmente "por las competencias del Estado ribereño en materia de seguridad de navegación y protección del medio ambiente marino". Con relación a este último,

> … existe un conjunto normativo de prevención y lucha contra la contaminación marítima, en el plano internacional y nacional, cuya observancia afecta a todos los buques sin distinción, estando el ribereño facultado para tomar las medidas necesarias para exigir su cumplimiento. (Arroyo Martínez, 2005, p. 142)

La protección del medio marino no está contenida en la Parte V de la Convención, sino que aparece regulada más detalladamente en la Parte XI. Es más, la aplicación de las disposiciones sobre protección del medio marino no depende del área marítima regulada, sino que tienen relación con los diferentes escenarios de contaminación proveniente de actividades realizadas tanto por los Estados ribereños como por los terceros Estados. Es así que la Convención le otorga un amplio rango de potestades al Estado ribereño, concernientes a la protección de la contaminación de sus aguas, incluidas las de la ZEE,[10] como ya se mencionara.

Cabe destacar un fenómeno que se ha dado en épocas recientes, al que algunos han dado en llamar "*creeping jurisdiction*" (Franckx, 2007), que implica un aumento en el control por parte de los Estados ribereños sobre esta zona en lo que respecta al transporte marítimo y otros usos, mayormente basados en la necesidad de proveer protección a los recursos e intereses ribereños. Dicha expresión ha sido utilizada desde la segunda mitad del siglo XX para describir el progresivo crecimiento de la jurisdicción estatal más allá de sus costas sobre extensas áreas del mar. La práctica actual de los Estados muestra un mayor avance de su jurisdicción consistente en un esfuerzo de los Estados para proveerse de mayor seguridad respecto de las amenazas que vienen del mar.

En este corrimiento de jurisdicción, se ha intentado también aplicar normas aduaneras en la ZEE. Ahora bien, en el caso M/V Saiga (n.º 2) (Admissibility and Merits), en el cual el Estado de Guinea pretendió aplicar leyes aduaneras a la zona, el Tribunal Internacional de Derecho del Mar determinó que los Estados ribereños no tienen competencia para aplicar sus leyes aduaneras respecto a otras partes de la ZEE que no sean las establecidas expresamente en ella 120 (ILR, pp.

10 Ver especialmente los artículos 210 y 211 de la Convención.

143, 190, citado por Shaw, 2014).[11] Malcom Shaw, citando dicho caso, expresa que, como consecuencia de ello, mediante la aplicación de sus leyes aduaneras a un área que incluía partes de la zona económica, Guinea había actuado en contra de la CONVEMAR (Shaw, 2014, p. 422).

Por otro lado, muchas de las preocupaciones respecto del corrimiento de jurisdicción se enfocan en la libertad de navegación de los buques extranjeros. Aunque el artículo 58 garantiza a todos los Estados la libertad de navegación y sobrevuelo, así como las otras libertades en alta mar, estos derechos están restringidos y dependen, en gran medida, de la conducta del Estado ribereño. De la redacción del artículo 56 se desprende que los límites de la soberanía del Estado ribereño y su jurisdicción en la ZEE no están claramente definidos (Leanza y Caracciolo, 2014, p. 194). Como consecuencia, este puede controlar las actividades de navegación de buques extranjeros comerciales y militares dentro de la ZEE, estableciendo instalaciones marítimas o zonas de seguridad y conservación. Tales medidas ya han sido establecidas por Estados ribereños respecto del control de la contaminación.

Teniendo en cuenta la diversidad de actividades que se desarrollan o pueden desarrollarse en la ZEE, cada una con sus particularidades en materia regulatoria, se analizarán en un acápite aparte y por separado.

11 Conforme al artículo 60 parágrafo 2 de la Convención, el Estado ribereño tiene jurisdicción exclusiva sobre las islas artificiales, instalaciones y estructuras que se instalen en su ZEE, incluida la jurisdicción en materia de leyes y reglamentos aduaneros, fiscales, sanitarios, de seguridad y de inmigración.

Regulación por actividad

Pesca

Según lo dispuesto en el artículo 56 de la CONVEMAR, el Estado uruguayo posee derechos de soberanía en lo referente, entre otros, a los recursos pesqueros. Dichos derechos de soberanía incluyen la exploración, la explotación, la conservación y la administración.

Como ya se señaló, Tanaka (2019) ha sostenido que los derechos soberanos en la ZEE son esencialmente exclusivos en el sentido de que nadie puede realizar estas actividades o hacer reclamos sobre la ZEE sin el consentimiento expreso del Estado ribereño.

Con respecto a las cuestiones previstas por la norma, el Estado ribereño ejerce jurisdicción tanto legislativa como de ejecución en la ZEE. A este respecto, la disposición clave es el artículo 73. En su numeral 1, establece que el

> … Estado ribereño, en el ejercicio de sus derechos de soberanía para la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos vivos de la zona económica exclusiva, podrá tomar las medidas que sean necesarias para garantizar el cumplimiento de las leyes y reglamentos dictados de conformidad con esta Convención, incluidas la visita, la inspección, el apresamiento y la iniciación de procedimientos judiciales.

Si bien esta disposición establece jurisdicción de ejecución para el Estado ribereño, la referencia a "las leyes y reglamentos dictados" sugiere que el Estado también tiene jurisdicción legislativa. De hecho, el artículo 62.4 prescribe contenidos específicos de las leyes y reglamentos de los Estados ribereños

con respecto a la pesca de nacionales de otros Estados en la ZEE. A saber:

> Los nacionales de otros Estados que pesquen en la zona económica exclusiva observarán las medidas de conservación y las demás modalidades y condiciones establecidas en las leyes y reglamentos del Estado ribereño. Estas leyes y reglamentos estarán en consonancia con esta Convención y podrán referirse, entre otras, a las siguientes cuestiones…

Como se puede ver, la enunciación de las cuestiones no es taxativa sino meramente enunciativa, al utilizar la expresión "entre otras". Entre las cuestiones que menciona se encuentran la concesión de licencias a pescadores, buques y equipos de pesca; la determinación de especies que pueden capturarse y la fijación de cuotas de captura; etcétera.

En nuestro país, dicha regulación y requerimientos se encuentran regulados en la Ley n.º 19.175, denominada "Declaración de interés general. Conservación, investigación y el desarrollo sostenible de los recursos hidrobiológicos y ecosistemas" (Poder Legislativo, 2014), reglamentada a través del Decreto n.º 115/018 (Poder Ejecutivo, 2018).

Retomando la CONVEMAR, si bien el artículo 73.1 no hace ninguna referencia a la confiscación de buques, el Tribunal Internacional de Derecho del Mar (o ITLOS, por sus siglas en inglés) consideró que esta disposición puede abarcar la confiscación de embarcaciones en la ZEE.[12]

Por su parte, la Ley n.º 17.033 transcribe en su artículo 5 lo dispuesto por el literal a del artículo 56.1 de la CONVEMAR.

12 Caso M/V Virginia G (Panamá v. Guinea-Bissau), sentencia, Reporte ITLOS, 2014, pp. 78-79, párr. 257.

A su vez, en su artículo 20 expresa que le compete al Comando General de la Armada "…el control y vigilancia de las áreas marítimas de la República establecidas en la presente ley". Y, artículo seguido, delega en el Poder Ejecutivo la reglamentación de la ley (art. 21). Es así que llegamos al Decreto n.º 389/2006, el cual aprueba el Reglamento de Acciones a Adoptar ante la Detección de Buques o Embarcaciones Extranjeros en Infracción (Poder Ejecutivo, 2006a).

Este resulta aplicable a cualquier infracción cometida en nuestras aguas jurisdiccionales y no sólo a infracciones a las normas de pesca. Al referirse a "aguas jurisdiccionales" quedan incluidas las aguas de la ZEE, según se analizó *ut supra*.

Operaciones de *bunker*

Bunker es el nombre genérico en inglés con el que se denomina a los combustibles marinos usados por los buques para su consumo y propulsión. El uso original de este término comenzó con el empleo del carbón como combustible para las calderas en los primeros buques propulsados por vapor. El carbón estaba entonces almacenado a bordo de alguno de los laterales de la sala de calderas y estos compartimientos eran llamados en inglés *coal bunkers* ('carboneras'). Este era el mismo término usado para el almacenaje de carbón en tierra. Los marinos comenzaron a llamar a este espacio de almacenaje simplemente *bunker* ('carbonera') y su contenido (carbón) fue denominado *bunkers* ('combustible') (Draffin, 2008).

Estas operaciones no deben confundirse con las operaciones de *ship to ship transfer* (conocido como STS, por sus siglas en inglés),

en el cual hay una transferencia de hidrocarburos entre buques, al igual que en las operaciones de *bunker*, pero, a diferencia de estas, en las operaciones de STS el hidrocarburo que se transfiere es como carga y no para autopropulsión.

Volviendo a las operaciones de *bunker*, este tipo de operaciones no se encuentra específicamente regulado o contemplado dentro de los derechos de soberanía que posee el Estado ribereño sobre la ZEE ni dentro de las libertades de los buques extranjeros en dicha zona. Teniendo en cuenta ello, ¿el Estado ribereño tiene potestades para regular esta actividad?

Esta cuestión se planteó por primera vez en la jurisprudencia del Tribunal Internacional de Derecho del Mar en el caso M/V Saiga (No. 2), de 1999, entre San Vicente y las Granadinas y Guinea. El M/V Saiga era un buque tanque que enarbola pabellón de San Vicente y las Granadinas. El 28 de octubre de 1997, el Saiga, que esperaba la llegada de los buques pesqueros a los que debía suministrar combustible, fue detenido por las autoridades guineanas en su ZEE con el argumento de que violaba su normativa aduanera al importar combustible dentro del radio aduanero de Guinea. Una cuestión central en este caso era si Guinea tenía derecho a aplicar su legislación aduanera en su ZEE. En este sentido, el Tribunal Internacional de Derecho del Mar sostuvo que, si bien el Estado ribereño tiene jurisdicción para aplicar leyes y reglamentos aduaneros con respecto a islas artificiales, instalaciones y estructuras en la ZEE, de conformidad con el artículo 60.2 de la CONVEMAR, la Convención no faculta a un Estado ribereño a aplicar sus leyes aduaneras con respecto a cualquier otra parte de la ZEE no mencionada en esa disposición[13] (Tanaka, 2019, p. 157).

Posteriormente se planteó una disputa similar en el caso M/V *Virginia G* de 2014 entre Panamá y Guinea-Bissau. El 20 de agosto de 2009, el M/V *Virginia G*, petrolero con pabellón de Panamá, suministró combustible marino a buques pesqueros con pabellón de Mauritania en la ZEE de Guinea-Bissau. El 21 de agosto de 2009, el mencionado buque tanque fue detenido y confiscado junto con su carga por las autoridades de Guinea-Bissau. A raíz de ello, Panamá inicia un procedimiento arbitral contra Guinea-Bissau de conformidad con el Anexo VII de la CONVEMAR en una disputa relativa al M/V *Virginia G*. Posteriormente, la disputa fue transferida al Tribunal Internacional de Derecho del Mar. La cuestión central que debía abordar dicho Tribunal era si Guinea-Bissau, en el ejercicio de sus derechos soberanos con respecto a la conservación y gestión de los recursos naturales en su ZEE, tenía competencia para regular el abastecimiento de combustible de los buques extranjeros que pescan en esta zona. En este sentido, el Tribunal consideró que la regulación por parte de un Estado ribereño del abastecimiento de combustible a buques extranjeros que pescan en su ZEE se encuentra entre las medidas que el Estado ribereño puede tomar en su ZEE para conservar y gestionar sus recursos vivos en virtud del Artículo 56 y 62.4 de la CONVEMAR.[14] Según el Tribunal, la jurisdicción del Estado ribereño sobre el abastecimiento de

13 Caso M/V Saiga (n.º 2) (San Vicente y las Granadinas contra Guinea), sentencia, ITLOS Reports 1999, p. 54, párr. 127.

14 El caso M/V Virginia G, Reporte TIDM 2014, pp. 66-69, párrs. 208-217.

combustible a buques extranjeros que pescan en su ZEE se deriva de los derechos soberanos de ese Estado para explorar, explotar, conservar y gestionar los recursos naturales. También agregó que el Estado ribereño no tiene tal competencia con respecto a otras actividades de abastecimiento de combustible, a menos que se determine lo contrario de conformidad con la CONVEMAR[15] (Tanaka, 2019).

Ahora bien, conforme al fallo del Tribunal, el Estado ribereño puede aplicar sus normas a este tipo de actividades cuando se desarrollen en forma conexa con una materia a la cual la CONVEMAR le otorga derechos soberanos al Estado ribereño. Ergo, en dichos casos resultarían aplicables, entre otras, las normas sobre cabotaje. ¿Ello qué implica? La actividad de comercio de cabotaje —comprensiva de la actividad de *bunker*— efectuada en aguas de jurisdicción nacional se encuentra reservada a buques de bandera nacional, incluidos los servicios de puerto y playa, las operaciones del salvataje y alijo, y las que efectúen los remolcadores, lanchas y demás embarcaciones menores[16] (Poder Legislativo, 1954; Poder Ejecutivo, 2006b).

Dicha reserva se ve flexibilizada a través de la facultad de la Prefectura Nacional Naval (PRENA), delegada por el Poder Ejecutivo por Resolución n.º 751/06 (Poder Ejecutivo, 2006b), para autorizar con carácter de excepción (*flag waiver)* la utilización de embarcaciones de bandera extranjera cuando no existan disponibles embarcaciones de bandera nacional (art. 309 de la Ley n.º 14.106, Poder Legislativo, 1973).

A su vez, el derecho uruguayo no sólo prohíbe al buque de bandera extranjera la realización de cabotaje con finalidad comercial sin la autorización mencionada en el párrafo anterior, sino que establece una severa sanción en caso de incumplimiento, a saber: "todo buque extranjero que fuera tomado en flagrante ejercicio del comercio de cabotaje, será tratado con arreglo a las disposiciones del contrabando y pasible de comiso, conjuntamente con el cargamento que conduzca" (art. 28 de la Ley n.º 12.091).

Tanto la doctrina como la jurisprudencia han entendido que para que se configure la infracción es necesario que el buque sea tomado en flagrante ejercicio del comercio de cabotaje, siendo la sanción a dicha infracción el decomiso del buque y del cargamento. Cabe destacar que, si bien la norma establece que "la navegación y el comercio de cabotaje" en aguas de jurisdicción nacional se encuentran reservados a buques de bandera nacional, la navegación de cabotaje, en cuanto no implique comercio de cabotaje, no constituye una infracción punible.

Como consecuencia, los buques que realicen comercio de cabotaje vinculados a actividades sobre las que el Estado uruguayo posee derechos soberanos estarían comprendidos dentro de la reserva de bandera nacional conforme a la Ley n.º 12.091 (Poder Legislativo, 1954), por lo que para operar con bandera extranjera deberían o bien registrarse en el Registro Nacional de Buques y obtener la

15 *Ibid*., p. 70, párr. 223. Ver también el caso M/V Norstar (Panamá vs. Italia), TIDM Caso n.o 25, párr. 219.

16 Artículo 1 de la Ley n.º 12.091 y sus modificativas, y artículo 2 de su decreto reglamentario, Decreto n.º 23.913.

bandera nacional[17] (Poder Legislativo, 2009a), o bien solicitar una autorización especial (*flag waiver*) para poder operar manteniendo su bandera de origen.

Ello no sólo aplica a la actividad de *bunker*, sino también a todas aquellas conectadas con los derechos soberanos mencionados, como las de los buques de aprovisionamiento de plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos *offshore* o los buques para la operación y mantenimiento de parques eólicos marinos, etcétera.

Más allá de ello, para las operaciones de *bunker* a buques no conectados a los mencionados derechos soberanos, en opinión de esta autora, el Estado ribereño tendría potestades para regular aspectos de prevención de la contaminación, pudiendo exigir el cumplimiento de normas nacionales a tales efectos, no ya normas comerciales, tributarias o aduaneras, pero sí normas de prevención de la contaminación.

Cabe recordar que, conforme al artículo 56.1.b.iii, el Estado ribereño tiene en la ZEE jurisdicción con respecto a la "protección y preservación del medio marino".

Operaciones de transbordo de hidrocarburos como carga (*ship to ship* o STS)

Este tipo de operaciones en las cuales se transfieren de uno a dos millones de barriles de petróleo crudo generan severos controles por parte de los Estados ribereños cuando son llevadas a cabo en aguas jurisdiccionales.

Más allá de que no se encuentran dentro de los derechos de los Estados ribereños mencionados en forma expresa, no cabe duda de que se trata de una de sus potestades debido al control que poseen respecto de la prevención de la contaminación del medio marino, no estando comprendido el trasvaso de hidrocarburos dentro de las libertades de la navegación de los buques de los terceros Estados.

En similar sentido, Ruiz (2006, p. 89) afirma que la innegable importancia que el principio de libertad de navegación tiene en la Convención debe ser conciliada con otras exigencias no menos importantes que esta también reconoce y tutela, estableciendo un tratamiento diferenciado de su interrelación en los diversos espacios marinos regulados. Prosigue afirmando que el punto de partida no debe ser la preeminencia de la navegación sobre los otros usos legítimos del mar ni la consiguiente asignación a esta de un valor superior con respecto a otros derechos e intereses tutelados igualmente por la Convención. Todos los usos del mar reconocidos por la Convención tienen, en principio, el mismo valor y deben ser ponderados de modo equitativo teniendo en cuenta las circunstancias de cada caso y los intereses públicos y privados subyacentes.

Continuando con su análisis, sostiene que

> … para restituir a la libertad de navegación su verdadero significado en el marco de la Convención, quizás podría comenzarse por reconsiderar el auténtico sentido de los términos empleados en su contexto y a la luz del objeto y fin de la misma. Así, por lo que respecta a la

17 Y con ello deberían cumplir con el mínimo de tripulación nacional (90%) que exige el artículo 2 de la Ley n.º 18.498, tanto para la oficialidad como para el resto de la tripulación.

> navegación comercial, el concepto de "navegación" se refiere a la libertad de movimiento de los buques de un puerto a otro con objeto de transportar y descargar mercancías o personas. (Ruiz, 2006, p. 89)

Johnson (2004, p. 101) afirma que la libertad de navegación afecta al ejercicio de la actividad de que se trate y no constituye un privilegio del buque como tal, que se aplique del mismo modo en cualesquiera zonas marinas (Ruiz, 2006).

Todo lo expuesto permite afirmar que el Estado ribereño tiene potestades para regular dicha actividad, ya que no queda comprendida dentro del concepto de libertad de navegación.

Más allá de las potestades del Estado ribereño, la OMI regula este tipo de operaciones en el capítulo 8[18] del Anexo I del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques 73/78 (en adelante, MARPOL) (OMI, 2009), el cual regula la prevención de la contaminación durante el transbordo de cargas de hidrocarburos entre petroleros en el mar (Poder Ejecutivo, 1979).

En su Regla 41 establece ciertas normas generales de seguridad y protección del medioambiente, donde lo más destacable es la necesidad de contar con un plan de operaciones de buque a buque en el que se estipule cómo realizarlas, el cual deberá tener en cuenta las directrices que figuran en el *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos*, de la OMI, y la publicación *Ship-to-ship transfer guide: petroleum*, de la International Chamber of Shipping (ICS) y el Oil Companies International Marine Forum (OCIMF).

En la Regla 42 se regula el procedimiento de notificación al Estado ribereño parte del Convenio MARPOL, estableciéndose la información que deberá contener dicha notificación y la antelación con la cual debe presentarse (a saber, no menos de 48 horas).

No se debe olvidar lo dispuesto en el artículo 235 de la CONVEMAR, según el cual los Estados son responsables del cumplimiento de sus obligaciones internacionales relativas a la protección y preservación del medio marino, en cumplimiento con lo cual nuestro Estado ha emitido normativa al respecto, dentro de la cual se encuentra la que regula las operaciones en estudio.

Conforme a la organización del Estado uruguayo, el órgano competente para establecer la regulación de esta operativa es la Armada Nacional, a través de la PRENA. Es así que, desde el punto de vista operativo, el STS se encuentra regulado, fundamentalmente, por normativa reglamentaria de la PRENA, que posee competencias asignadas, entre otras, por medio del Decreto n.º 256/992[19] (Poder Ejecutivo, 1992a) y la Ley n.º 16.688 actualizada[20] (Poder Legislativo, 1994c, 2012). Haciendo uso de dichas potestades es que emitió una serie de disposiciones marítimas que se encargan de reglamentar, tanto directa como indirectamente, las operaciones STS.

18 Capítulo incorporado por la Resolución MEPC.186(59) del Comité de Protección del Medio Marino de la OMI al Anexo I, que establece las "Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos".

19 Ver artículos 1.1, 2.4, 2.11 y 4.16.

20 Modificada por la Ley n.º 19.012.

Exploración y explotación de hidrocarburos a través de instalaciones costa afuera

Como se indicó anteriormente, los derechos soberanos del Estado ribereño están bien establecidos para la exploración y la explotación de los recursos de la ZEE, tanto vivos como no vivos, ya sea en las aguas o en el subsuelo marino (art. 56.1).

Según surge de la redacción del artículo 60.1 de la CONVEMAR,

> … el Estado ribereño tendrá el derecho exclusivo de construir, así como el de autorizar y reglamentar la construcción, operación y utilización de: a) Islas artificiales; b) Instalaciones y estructuras para los fines previstos en el artículo 56 y para otras finalidades económicas;…

En materia de construcción, en el ámbito internacional, encontramos el Código para la Construcción y el Equipo de Unidades Móviles de Perforación Mar Adentro, conocido como Código MODU/2009, aprobado por la Resolución A:1023(26). Se trata de un código recomendatorio, no obligatorio, por lo que los Estados no están obligados a aplicarlo, si bien resulta recomendable ya que es ampliamente conocido de manera internacional, máxime teniendo en cuenta que los trabajadores de dichas plataformas suelen ser de las más variadas nacionalidades y se encuentran familiarizados con él.

Entre otros aspectos, regula el color que deben tener las tuberías de agua, distinto al de las tuberías de hidrocarburo o gas. Piénsese en el peligro que revestiría para la seguridad, tanto de los trabajadores como de la instalación en sí, si el Estado ribereño estableciera colores diferentes a los allí estipulados (lo cual podría hacer, ya que tiene jurisdicción exclusiva para ello).

Retomando el análisis de la CONVEMAR, el artículo 60.2 dispone que el Estado ribereño disfruta de "jurisdicción exclusiva" sobre islas artificiales, instalaciones y estructuras en la ZEE, "incluida la jurisdicción en materia de leyes y reglamentos aduaneros, fiscales, sanitarios, de seguridad y de inmigración". Nótese que se utiliza el vocablo *incluida*, por lo que la atribución de competencia es general y no se encuentra limitada a las materias allí enunciadas.

A su vez, faculta al Estado ribereño a establecer una zona de seguridad alrededor de dichas islas artificiales, instalaciones y estructuras, la cual no podrá exceder de 500 metros y a la que se deberá dar debida publicidad (arts. 60.4 y 60.5).

Por otro lado, ha de tenerse en cuenta lo dispuesto en el artículo 208 de la CONVEMAR, donde se alienta a los Estados a adoptar legislación nacional para la protección del medio marino frente a actividades en los fondos marinos sujetas a jurisdicción nacional. Con respecto a esto, sería difícil argumentar que la jurisdicción del Estado ribereño no abarca la competencia judicial y el poder de aplicar su ley a estas instalaciones, incluidas sus normas de conflicto de leyes (Gahlen, 2015).

Cabe destacar que, al día de la fecha, no existe ningún régimen internacional de responsabilidad civil por daños por contaminación causados por actividades costa afuera, a pesar de que ha habido intentos considerables en el pasado de llegar a un acuerdo internacional.

Finalmente, aquí valen las mismas apreciaciones que se realizaron al analizar las operaciones de *bunker* con respecto a las actividades conexas a ellas. Esto es, las actividades de los buques que harían aprovisionamiento a las plataformas, recambio de tripulación, reparaciones, etcétera, quedarían sometidas a la jurisdicción nacional, resultando aplicable el mismo fundamento allí explicado y al cual remitimos.

Otras actividades de generación de energía costa afuera

Sobre estas actividades, interesa recordar que el artículo 56 de la CONVEMAR incluye, dentro de los derechos soberanos que posee el Estado ribereño sobre su ZEE, "otras actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la zona, tal como la producción de energía derivada del agua, de las corrientes y de los vientos".

Aquí cabe realizar las mismas apreciaciones que se realizaron en el apartado anterior. Es decir, resulta de aplicación el artículo 60, por lo que el Estado tiene jurisdicción exclusiva sobre las instalaciones o estructuras que se vayan a instalar para realizar las mencionadas actividades.

También corresponde realizar los mismos comentarios que se hicieron al analizar las operaciones de *bunker* con respecto a las actividades conexas a ellas. Esto es, resultaría de aplicación la regulación comercial a las embarcaciones que puedan operar en la exploración o producción posterior, por ejemplo, por posibles reparaciones que se puedan necesitar, además de las instalaciones. Esto implica que sería de aplicación a los buques involucrados en dichas actividades lo dispuesto en el artículo 1 de la Ley n.º 12.091, la cual reserva a los buques de bandera nacional la navegación y el comercio de cabotaje en aguas de jurisdicción nacional, pudiendo otorgarse autorizaciones excepcionales (a través del llamado *flag waiver*) a buques de bandera extranjera, según lo dispuesto en el mencionado artículo.[21]

Tendido de cables y tuberías submarinos

Los cables submarinos fueron usados inicialmente para las comunicaciones telegráficas y el primer cable transatlántico fue tendido en 1866. Los cables telefónicos transoceánicos irrumpieron a mediados de 1950 y fue a partir de 1980 que el uso de los cables submarinos de fibra óptica se incrementó dramáticamente. Al día de hoy, los cables submarinos de fibra óptica son la base de los sistemas de telecomunicaciones del mundo. Se colocan en el lecho marino, a menudo no son más grandes que una manguera de jardín y transmiten enormes cantidades de datos a través de los océanos. No se puede subestimar la dependencia mundial de los cables submarinos. Facebook, Twitter y otras redes sociales utilizan cables submarinos. Cada día, la Sociedad de Telecomunicaciones Financieras Interbancarias Mundiales (SWIFT) transmite 15 millones de mensajes a través de cables submarinos a más de 8.300 organizaciones bancarias, instituciones de valores y clientes corporativos en 208 países o entidades (Burnett *et al*., 2014). Siendo consciente de su importancia, la CONVEMAR promueve

21 En la redacción dada por el artículo 309 de la Ley n.º 14.106.

la protección de cables y tuberías submarinas por parte de los Estados ribereños, tanto es así que permite que los Estados reglamenten el paso inocente respecto a la protección de cables y tuberías submarinas que se encuentren en el mar territorial.

En lo que respecta a la ZEE, el tendido de cables y tuberías submarinas es uno de los derechos que tienen los terceros Estados sobre la ZEE conforme a los artículos 58 y 87 de la CONVEMAR. Si bien estos tienen el derecho a tenderlos, el Estado ribereño es el que determina el trazo, ya que se debe contar con su consentimiento antes del tendido (art. 79).

En tal sentido, a efectos de minimizar la amenaza que representan las actividades de pesca para los cables submarinos y tuberías, los Estados ribereños deberían imponer restricciones a dichas actividades en áreas donde haya cables y tuberías submarinos en riesgo. A pesar de que los buques normalmente no fondean en la ZEE, los Estados ribereños deben advertir a la comunidad marítima internacional de los peligros de dañar los cables submarinos o tuberías en las zonas poco profundas de la ZEE, donde podrían ser dañados por el anclaje.

Para subsanar estas omisiones es que con fecha 22 de febrero de 2011 se sancionó por parte de la PRENA la Disposición Marítima n.º 128 (2011), la cual establece la

> … prohibición del fondeo de cualquier clase de buque y la realización de actividades de pesca que mantengan total o parcialmente contacto con el fondo en una zona de veda de 1 milla náutica a cada lado de los cables submarinos de comunicaciones ubicados en la zona económica exclusiva y debidamente señalizados en las cartas náuticas publicadas por el SOHMA (Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada).

Como se puede ver, el ámbito de aplicación espacial de la mencionada disposición es la ZEE únicamente. Y el ámbito de aplicación material son únicamente los cables submarinos, no estando contempladas las tuberías, por lo que en el caso de que se llegaran a utilizar tanto en la exploración y la explotación de hidrocarburo como en la producción de hidrógeno verde, sería necesario modificar la disposición y ampliar la protección a las tuberías submarinas.

Cabe destacar que la prohibición se limita al fondeo de cualquier clase de buque y a las actividades de pesca.

Por otro lado, con fecha 1.º de septiembre de 2011 se aprobó el Decreto n.º 311/011 (Poder Ejecutivo, 2011), en el cual se incorporó una serie de artículos al Reglamento de Uso de Espacios Acuáticos, Costeros y Portuarios aprobado por el Decreto n.º 100/991 (Poder Ejecutivo, 1991).

Dicho reglamento establece en su artículo 148 la posibilidad de aplicar multas de entre 5.000 y 10.000 unidades reajustables en caso de fondear o realizar cualquier actividad, incluida la pesca, en una zona comprendida entre las paralelas que se extienden a 1 milla náutica a cada lado de los cables submarinos de comunicaciones ubicados en aguas de jurisdicción nacional y debidamente señalizados en las cartas náuticas publicadas por el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada Nacional.

Como se puede ver, en el decreto se amplió el ámbito de aplicación y ya no sólo comprende

las aguas de la ZEE, sino también las aguas del mar territorial y las aguas interiores. También se amplió la restricción a cualquier tipo de actividad que mantenga total o parcialmente contacto con el fondo, no únicamente a las actividades de pesca y fondeo, por lo que quedarían incluidas las actividades de dragado, entre otras. Se mantiene la condición, para poder ser pasibles de la multa en caso de contravenir la normativa transcripta, el hecho de que los cables estén debidamente señalizados en las cartas náuticas.

Conclusiones

La CONVEMAR es un instrumento vivo que debe ser capaz de adaptarse a las nuevas situaciones y responder a las nuevas demandas, permaneciendo al mismo tiempo fiel a las razones esenciales que sustentaron el consenso original en el que está basada (Mensah, 2000). Su función primordial es establecer un marco legal que defina y encuadre el desarrollo de las actividades marítimas. La Convención aparece así como un acuerdo marco que debe ser progresivamente desarrollado a través de la práctica de los Estados y de la evolución de las actividades marítimas.

Es así que, en concordancia con la normativa internacional y dentro de las potestades que esta le otorga, el Estado uruguayo ha regulado algunas de estas actividades, como las operaciones STS, adaptándose a dicha evolución, y la protección de cables submarinos. A pesar de ello, aún queda camino por recorrer, sobre todo en lo referente a actividades tan complejas como la exploración y la explotación de hidrocarburos o la generación de energías renovables en nuestra ZEE.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Zorrilla Ferrés, M. V., 2024, Regulaciones para el uso del espacio marítimo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 67-87, doi: 10.70952/a8827tmuc1-4

Parte 2
Naturaleza

Capítulo 2.1
Rasgos morfosedimentarios del margen continental uruguayo

Ilustración del mapa global del fondo oceánico realizada alrededor de 1977 por B. C. Heezen y M. Tharp a partir del original elaborado por Berann, H. C. Cortesía: Library of Congress (https://www.loc.gov/item/2010586277).

Capítulo 2.1
Rasgos morfosedimentarios del margen continental uruguayo

Adam Kirby,[1] Sara Rodrigues,[2] Ethel Morales,[3] Matías Soto,[3] Leticia Burone,[4] Pablo Rodríguez,[5] Bruno Conti,[5] Héctor de Santa Ana,[6] Phil Thompson,[7] Gianluca Badalini,[8] Pablo Gristo Savornin[5] y Javier Hernández-Molina[2]

[1] *Ocean Infinity*

[2] *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

[3] *Instituto de Ciencias Geológicas (ICG), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[4] *Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[5] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

[6] *Subgerencia General de Asuntos Estratégicos, ANCAP*

[7] *Shell*

[8] *Shell Brasil Petroleo Ltda*

Introducción[1]

El margen continental uruguayo se extiende entre las latitudes 33° y 38° S del suroeste del Atlántico (Soto *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2017a). Está ubicado en una región transicional clave de la circulación oceánica mundial, con una hidrodinámica compleja de circulación de corrientes de fondo, que ha moldeado su morfología (Creaser *et al.*, 2017; Kirby *et al.*, 2021).

La secuencia *post-rift* (inicios del Cretácico-presente) en aguas profundas de Uruguay contiene un registro sedimentario ejemplar, compuesto por rasgos morfosedimentarios de pequeña a gran escala, distribuidos en cuatro sistemas depositacionales distintos (figuras 1-4): 1) un sistema turbidítico del Cretácico temprano, desarrollado por procesos gravitacionales; 2) un sistema mixto (turbidítico-contornítico) del Cretácico tardío, construido por interacciones sincrónicas entre flujos gravitacionales y corrientes de fondo paralelas al talud; 3) un sistema depositacional contornítico (CDS, por sus siglas en inglés) del Paleoceno al Mioceno medio, desarrollado a través del talud continental y

1 Este proyecto fue financiado por el Joint Industry Project, apoyado por TOTAL, BP, ENI, ExxonMobil, Wintershall Dea y TGS, en el marco de The Drifters Research Group, en Royal Holloway, University of London (RHUL).

emersión bajo la influencia de corrientes de fondo persistentes; y 4) CDS del Mioceno medio a la actualidad, que creció y sepultó los sistemas anteriores debido al efecto de regímenes de corrientes de fondo aún más intensos, intercalado con estructuras generadas talud abajo. El objetivo de este capítulo es caracterizar los principales rasgos morfosedimentarios desarrollados a lo largo del margen continental uruguayo durante este período, así como esclarecer los factores que han influido en su formación.

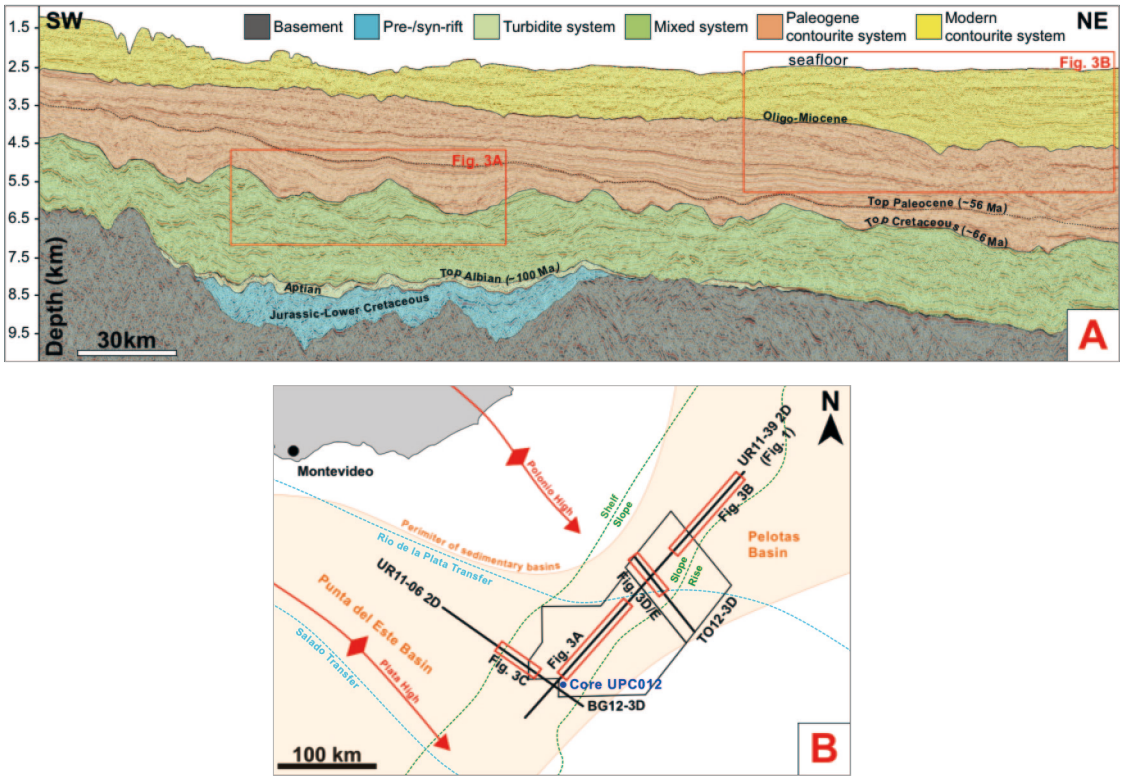


Figura 1: a) Línea 2D (UR11-39) que indica los registros sísmicos en el territorio marítimo uruguayo; b) mapa indicando la ubicación del conjunto de datos sísmicos 2D y 3D, la ubicación del núcleo del testigo, los dominios fisiográficos, las cuencas sedimentarias, las elevaciones estructurales y las zonas de transferencia. Los límites siguen a los definidos en la literatura relevante (Franke et al.*, 2007; Morales* et al.*, 2017a; Creaser* et al.*, 2017; Kirby* et al.*, 2021).*

Rasgos morfosedimentarios del Cretácico

Rasgos turbidíticos

El Cretácico fue un período clave en el desarrollo de los rasgos morfosedimentarios del margen. En el Aptiano-Albiano se desarrollaron sistemas depositacionales turbidíticos a lo largo del talud continental medio a inferior, debido a frecuentes procesos gravitacionales (figuras 1 y 2c). Varios altos estructurales (como los altos de Polonio y Martín García/Plata; figura 1) heredados de la configuración tectónica *pre-rift* o generados durante el

rifting Mesozoico limitaron la distribución de los sistemas turbidíticos iniciales (Morales *et al*., 2017a). Originalmente, los altos estructurales condicionaron la redistribución de sedimentos hacia el depocentro sur (por ejemplo, la Cuenca Punta del Este) y, posteriormente, hacia el depocentro norte (por ejemplo, la Cuenca Pelotas), separando de manera efectiva los sistemas turbidíticos en los sectores norte y sur, los cuales se orientaron SW-NE y NW-SE, respectivamente; figuras 1, 2 y 3). Dichos sistemas turbidíticos fueron acompañados por extensas clinoformas a lo largo de la plataforma y el talud superior, lo que contribuyó a la progradación del margen hacia la cuenca (Creaser *et al*., 2017; Morales *et al*., 2017b). Los sistemas turbidíticos formaron canales submarinos orientados al sureste, cañones y diques turbidíticos a lo largo del talud medio a inferior (que ocasionalmente alcanzaban la emersión continental). Los diques turbidíticos presentan rasgos depositacionales levemente monticulares, de aproximadamente <500 m de espesor y <5-10 km de ancho, que disminuyen su espesor alejándose del *thalweg* del canal (Rodrigues *et al*., 2021). Los diques se caracterizan por reflexiones sísmicas que ondulan suavemente, con amplitud alta a baja, que disminuyen en amplitud y longitud de onda distalmente (figura 2a). Los canales submarinos tienen aproximadamente 300-500 m de profundidad y 10 km de ancho, y ocasionalmente contienen turbiditas de amplitud alta a baja o depósitos de transporte en masa (MTD, por sus siglas en inglés) (figura 2a). A lo largo del talud inferior, las reflexiones sísmicas forman una capa agradacional de baja amplitud, que se extiende a lo largo del margen y disminuye distalmente (figura 2a).

Rasgos mixtos paralelos y perpendiculares al talud

Al inicio del Cenomaniano, sistemas depositacionales mixtos (turbidíticos-contorníticos) comenzaron a cubrir los sistemas turbidíticos previamente construidos (figuras 1 y 2a). Los sistemas mixtos desarrollaron cuatro grandes *drifts* monticulares asimétricos, separados por cinco canales submarinos (Creaser *et al*., 2017). Los *drifts* monticulares se caracterizan por claros patrones de apilamiento (figuras 1, 2a y 3b), ya que evolucionaron de *drifts* laminares entre el Cenomaniano y el Turoniano (~100,5-89,8 Ma) a *drifts* monticulares asimétricos que migraron hacia el NE entre el Coniciano y el Santoniano (~89,8-83,6 Ma), a *drifts* monticulares asimétricos que migraron hacia el SW entre el Campaniano y el Maastrichtiano (~83,6-66 Ma). Los *drifts* monticulares normalmente son más espesos y anchos que los diques turbidíticos previamente construidos, usualmente hasta ~1 km de espesor y ~40 km de ancho (Creaser *et al*., 2017). Además, están orientados talud abajo y de manera perpendicular al margen, ya que se forman por la separación de flujos turbidíticos de grano fino debido a la acción de la corriente de fondo a lo largo del talud (Rodrigues *et al*., 2022). Su asimetría refleja flancos más pronunciados hacia el NE, donde los *drifts* monticulares se vuelven más empinados y colapsan hacia los canales adyacentes (figuras 1, 2a y 3b). En términos de configuración interna, los *drifts* monticulares muestran reflexiones sísmicas de amplitud baja, continuas a lo largo de los flancos más suaves, mientras que los flancos más pronunciados ocasionalmente muestran reflexiones caóticas y truncadas que se agradan alejándose

de los canales ascendentes (figura 2a). Los canales submarinos aparecen como rasgos erosivos con forma de U, construidos entre los *drifts* monticulares, orientados NW-SE o SW-NE. Los canales tienen un ancho promedio de ~20-30 km y pueden alcanzar profundidades puntuales de ~1 km (Creaser *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2021). Su base normalmente está marcada por reflexiones continuas de alta amplitud; depósitos turbidíticos locales o MTD pueden aparecen entre los canales como paquetes sísmicos caóticos (figura 2a). A lo largo del talud superior, pequeñas redes dendríticas de canales transportan sedimentos hacia esas estructuras, que se amalgaman más abajo, formando los cinco principales canales submarinos (figura 3b). Se interpreta que estos canales han facilitado la transferencia de sedimentos desde la plataforma al talud inferior y emersión (Creaser *et al.*, 2017).

Rasgos de pequeña escala

Varios campos de ondas sedimentarias han sido identificados a lo largo del talud inferior y la emersión, usualmente al norte de los sistemas mixtos del Cretácico (Creaser *et al.*, 2017). Estos normalmente siguen los cambios en el gradiente del talud o la configuración morfológica heredada. Las ondas sedimentarias de manera general se bifurcan cerca de canales submarinos y muestran orientaciones de crestas esporádicas que se desvían de la trayectoria del canal en aproximadamente 20-40°.

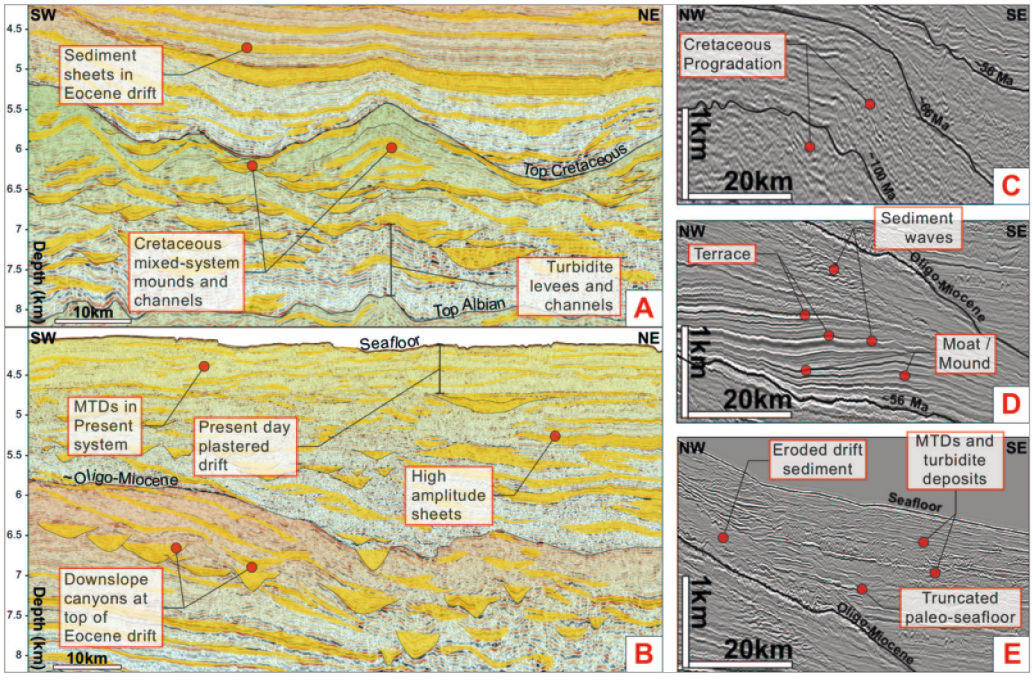


Figura 2. Rasgos morfosedimentarios a lo largo del margen uruguayo: a y b) sistemas sedimentarios del Cretácico y Paleógeno; c-e) otras observaciones sísmicas. Las áreas en amarillo muestran reflexiones de alta amplitud (HAR, por sus siglas en inglés) o canales, y las líneas negras marcan morfologías. Los límites son los definidos en la literatura relevante (Morales et al.*, 2017b; Creaser* et al.*, 2017; Kirby* et al.*, 2021).*

Distalmente, las crestas se vuelven más consistentes. Sin embargo, su amplitud y longitud de onda disminuyen distalmente. Internamente, las ondas sedimentarias presentan una progradación hacia el oeste, marcada por reflexiones de amplitud baja a moderada. Pequeños surcos y escarpas subparalelos y erosivos cortan los flancos empinados de los *drifts* monticulares (Rodrigues *et al*., 2022). Tienden a ocurrir a lo largo de discontinuidades erosivas entre los *drifts* monticulares o asociados con pequeños *slumps*/MTD a lo largo de los flancos meridionales (figura 2a). Los surcos por lo general son de aproximadamente <1 km de largo, <500 m de ancho y <200 m de profundidad, mientras que las escarpas parecen ser de >10 km de largo y >1 km de ancho (Creaser *et al*., 2017).

Rasgos morfosedimentarios del Paleógeno al Mioceno medio

Rasgos de gran escala a lo largo del talud

Entre el Paleoceno y mediados del Mioceno, los patrones de apilamiento sedimentario del margen y su morfología cambiaron de manera significativa, denotando el desarrollo de un gran CDS de talud que incluye varios rasgos contorníticos de gran escala: i) un *drift* adosado al talud; ii) una fosa contornítica; y iii) una terraza contornítica (Kirby *et al*., 2021). En el Paleoceno (~66-56 Ma) se formaron depósitos laminares agradacionales en el talud continental, mientras que durante el Eoceno (~56-38 Ma) varios *drifts* monticulares agradacionales y progradacionales se desarrollaron en esta área. Estos *drifts* transicionaron a láminas agradacionales hacia fines del Eoceno e inicios del Mioceno (~38-20 Ma), luego de lo cual la sedimentación perpendicular al talud, marcada por la aparición de cañones y turbiditas en la emersión continental, eventualmente desactivó y sepultó el sistema a partir del Mioceno inferior a medio (figura 3e). A pesar de no reconocerse en el margen uruguayo, un CDS se desarrolló a lo largo de la emersión continental del vecino margen argentino y más distalmente en las llanuras abisales. Este sistema muestra extensos *drifts* separados, así como otros rasgos contorníticos erosivos y mixtos (Hernández-Molina *et al*., 2010).

El *drift* adosado (figuras 1, 2b y 3c-3e) es un elemento morfosedimentario clave, que muestra variaciones significativas en la morfología a lo largo del talud y se puede separar, a grandes rasgos, entre un sector sur y un sector norte. El *drift* alcanza un espesor de 3,4 km y un ancho de ~160 km en el sector sur. Dentro del sector sur, se desarrolló a lo largo de un talud relativamente liso. Su geometría sísmica es, por lo general, elongada, con una forma levemente monticular, y sus discontinuidades límites son erosivas y se caracterizan por HAR a lo largo del talud inferior (figuras 2b, 2d y 2e). En el sector norte, el *drift* tiene un espesor de hasta 2,9 km y un ancho de 150 km, y creció contra un talud pronunciado. Aquí, sus depósitos normalmente se espesan hacia el centro del *drift*, lo que resulta en una forma más convexa (Kirby *et al*., 2021). Las discontinuidades límite normalmente se caracterizan por su HAR, pero muestran menos evidencias de erosión. Internamente, el *drift* muestra reflexiones

paralelas y subparalelas de amplitud baja a alta, que se vuelven más divergentes y en ocasiones onduladas en los flancos distales del *drift* (figuras 1 y 2d-2e). Hace ~56 Ma, un *drift* monticular se formó en el talud medio, junto con una fosa. Posteriormente, la fosa se rellenó y se desplazó hacia una amplia terraza contornítica (figuras 3c y 3d). El depocentro del *drift* cambió constantemente a lo largo de su formación. Entre ~66-56 Ma se concentró en el sector sur, donde rellenó los canales de los sistemas mixtos y formó una cuña que se afina hacia el noreste. Entre ~56-38 Ma se desplazó al norte y se volvió más localizado. Sus depósitos formaron cuñas que se afinan hacia el suroeste y se apilan hacia el continente. Entre ~38-20 Ma el depocentro se desplazó hacia la cuenca y se volvió más extendido en el sur y más localizado en el norte. En ese momento, grandes clinoformas se desarrollaron a través de la plataforma y el talud superior, que progradaron hacia la cuenca y se incorporaron al lado continental del CDS (Kirby *et al*., 2021).

La fosa mencionada tiene forma de U y se desarrolló en el lado continental del *drift* (figura 3c). Al sur la fosa era pequeña y erosiva, y truncaba las reflexiones subyacentes. Aquí la fosa tiene ~30 m de profundidad y ~10 km de ancho, y sólo aparece por encima de los bajos batimétricos asociados con los canales de sistemas mixtos y se convierte lateralmente en una terraza llana o levemente inclinada hacia el mar sobre los *drifts* monticulares. Hacia el norte la fosa es más grande y separa el depocentro del *drift* principal del talud, donde se caracteriza por presentar ~120 m de agradación, ~80 m de profundidad y 32 km de ancho. Se observan HAR dentro de la fosa y de manera más prominente hacia el sur.

Entre ~56 y 20 Ma una gran terraza contornítica (que se asocia con las principales discontinuidades en el registro del Paleógeno y usualmente se delimita por HAR) se desarrolló en el lado continental del *drift* (figuras 2d y 3c-3e), en dirección al noreste (Hernández-Molina *et al*., 2018; Kirby *et al*., 2021). Inicialmente, la terraza era plana y erosiva sobre los altos batimétricos al sur y menos erosiva con una inclinación somera de 0,36° hacia la fosa en el norte. Sobre la fosa, la terraza se ampliaba tanto hacia el mar como en dirección noreste. Posteriormente, todo el conjunto se inclinó hacia la cuenca con un gradiente de ~0,98° (Kirby *et al*., 2021). Entre ~38 y 20 Ma una clara cresta se formó en el borde de la terraza hacia la cuenca, separando el *drift* en un dominio hacia el continente y otro hacia la cuenca.

Rasgos de pequeña escala paralelos al talud

A lo largo de las principales discontinuidades del CDS del Paleógeno, una terraza parece estar asociada con rasgos morfosedimentarios erosivos y depositacionales de pequeña escala (Hernández-Molina *et al*., 2018). Los rasgos erosivos incluyen superficies desgastadas, surcos, canales contorníticos, canaletas y surcos marginales, todos en dirección noreste. Los rasgos depositacionales incluyen dunas barcanoides migrando hacia el noreste, cintas de arena lineares en dirección NE-SW y ondas sedimentarias migrando hacia el este y talud arriba. Las dunas barcanas tienen forma creciente a simple vista, con anchos de 1 km y largos de 2,5-6 km, y se formaron sobre espesos cuerpos de arena de 60 m de espesor (Hernández-Molina *et al*., 2018). Se asocian con HAR y migran en

un ángulo de 10-30° desde la dirección de la terraza. Las ondas sedimentarias se presentan en campos, con anchos de hasta decenas de kilómetros (figura 2d). Generalmente se observan más al norte dentro del CDS, en la cara distal de los *drifts* adosados, donde alcanzan una longitud de onda promedio de ~4,5 km, alturas de 120 m y reflexiones de amplitud baja a intermedia (Kirby *et al*., 2021).

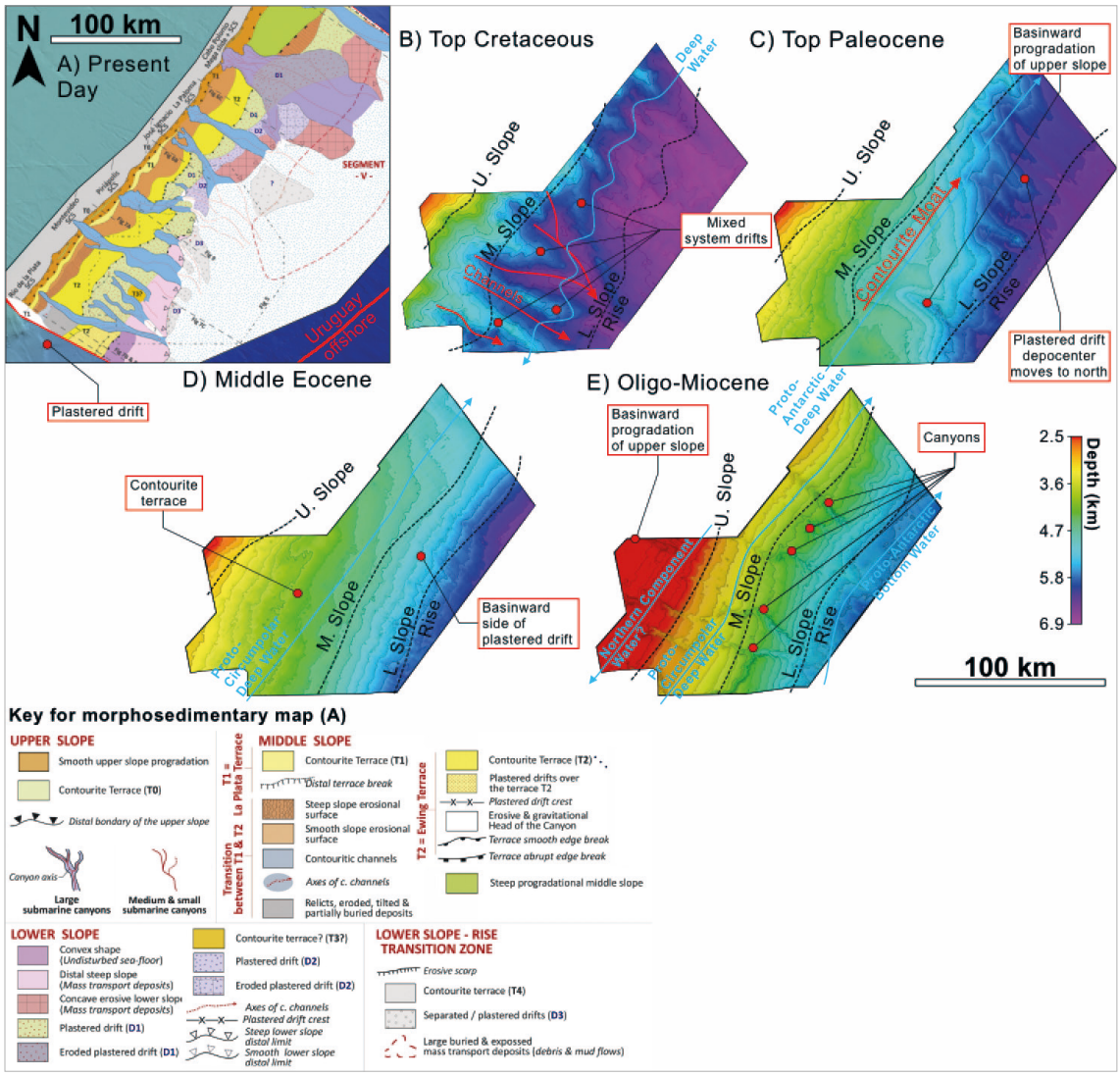


Figura 3. Mapa morfosedimentario de la actualidad (a) y superficies de profundidad del Cretácico (b); Paleoceno (c); mediados del Eoceno (d); y Oligo-Mioceno (e). Mapa de suelo marítimo adaptado de Hernández-Molina et al*. (2016) y superficies de profundidad generadas de relevos sísmicos en 3D (exhibidos en la figura 1). Superficies y corrientes de fondo (flechas azules) según Kirby* et al*. (2021) y Rodrigues* et al*. (2021).*

Rasgos talud abajo

Rasgos perpendiculares al talud fueron identificados en las terrazas (Hernández-Molina *et al*., 2018). Estos incluyen canales SE-NW y lóbulos depositacionales. También se identificaron escarpas y surcos en el talud superior y en la transición entre el talud inferior y la emersión (figuras 2b y 3e). Se observaron reflexiones caóticas en la base del talud, correspondientes a un gran MTD (Kirby *et al*., 2021) y cañones con orientación SE-NW en la discontinuidad superior del CDS (figuras 2b y 3e). Estos transportaron sedimentos a la emersión continental, donde turbiditas de inicios y mediados del Mioceno sepultaron el CDS y marcan la desactivación del sistema.

Rasgos morfosedimentarios del Mioceno medio al actual

Rasgos de gran escala paralelos al talud

Entre mediados y fin del Mioceno, la sedimentación talud abajo persiste y se observa una importante depositación en la base del talud continental (Kirby *et al*., 2021). Se empezó a desarrollar un nuevo y extenso CDS a lo largo del talud medio hasta la emersión inferior, coincidiendo con la sedimentación talud abajo entre fines del Mioceno y la actualidad. Este sistema se caracteriza por varios rasgos morfológicos (figuras 1, 2b y 2e): i) dos *drifts* adosados en el talud inferior; ii) un *drift* monticular separado y alargado, en la transición entre el talud inferior y la emersión; iii) cinco terrazas contornítica, ubicadas encima o adyacentes a *drifts* contorníticos; iv) una gran fosa contornítica asociada con el *drift* monticular; y v) varios canales contorníticos y superficies erosivas a distintas profundidades, típicamente hacia el continente o el mar de las terrazas contorníticas (Hernández-Molina *et al*., 2016; Preu *et al*., 2013).

Los *drifts* adosados se formaron a profundidades de agua de ~1,5-2,5 km y ~2,5-3 km, con >500 m de espesor y >2 km de ancho (Hernández-Molina *et al*., 2016). Sus morfologías se elevan desde el talud, como montículos relativamente amplios y suaves, con reflexiones de amplitud baja a alta, agradacionales a ligeramente progradacionales (figuras 1, 2b y 2e). Un *drift* monticular, separado y elongado, se desarrolló a >3,5 km de profundidad de agua, el cual tiene ~500-800 m de espesor y <20-80 km de ancho (Hernández-Molina *et al*., 2009, 2016). Este elemento morfosedimentario presenta una geometría suave, monticular y elongada, que se caracteriza por reflexiones internas de baja a alta amplitud y progradación talud arriba.

Se reconocieron cinco terrazas contornítica en diferentes profundidades a lo largo del margen, a ~0,25 km, ~0,5-0,6 km, ~1,2-1,5 km, ~2,5 km y ~3,5 km (ver figuras 3a y 4) (Hernández-Molina *et al*., 2016). Estas terrazas aparecen como rasgos ligeramente inclinados hacia el mar de forma subhorizontal, con anchos de <20-55 km. La mayoría de las terrazas muestran reflexiones continuas de alta amplitud, que indican depósitos de arena. Su extensión y alcance se ven limitados por rasgos morfosedimentarios locales, como el Megadeslizamiento Cabo Polonio en el norte y los sistemas de cañones submarinos en el sur (figura 3a). Una gran fosa

contornítica de >1,5 km de ancho y >100 m de profundidad se identificó talud arriba del *drift* monticular separado y alargado (figura 3a). Su configuración interna se caracteriza por reflexiones de alta amplitud convexas, divergentes a subparalelas. La fosa contornítica normalmente se asocia con el *drift* adyacente, ya que sigue la misma dirección a lo largo del talud y prograda talud arriba. Varios canales contorníticos y superficies erosivas se desarrollaron hacia el continente o el mar en las terrazas (figura 3a). Los canales contorníticos normalmente muestran una profundidad de ~15-90 m y oscilan entre ~1-2 km y 5-15 km de ancho, mientras que las superficies erosivas se extienden a lo largo de todo el margen (excepto cuando hay obstrucciones de importantes rasgos morfosedimentarios) (Hernández-Molina *et al.*, 2016).

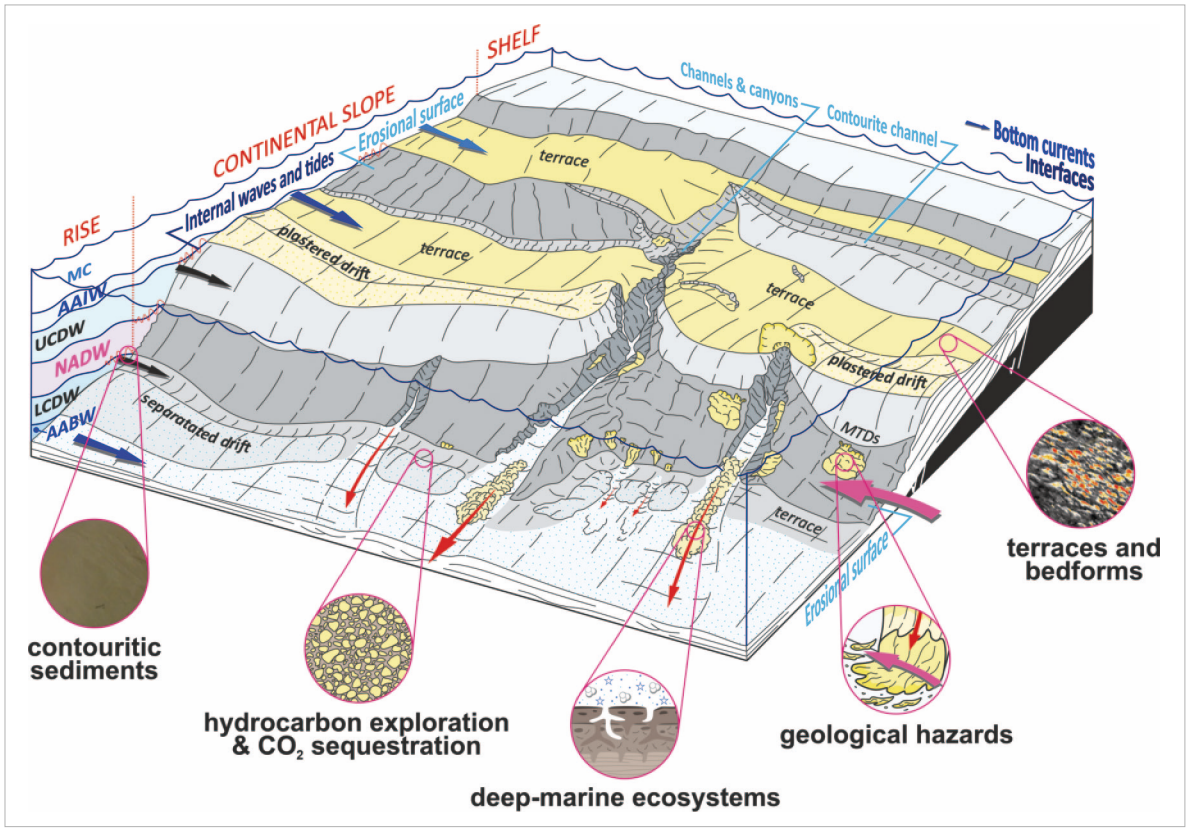


Figura 4: Modelo conceptual del margen uruguayo actual adaptado de Preu et al. *(2013). Se muestran los rasgos morfosedimentarios clave, las principales masas de agua y los principales procesos que afectan la morfología del margen. También se muestran imágenes UPC012, cortesía de ANCAP, y las formas de lecho en terrazas contorníticas de Hernández-Molina* et al.*, (2018). CM = Corriente de Malvinas; AAIW = Agua Intermedia Antártica; UCDW = Agua Circumpolar Profunda Superior; NADW = Agua Profunda del Atlántico Norte; LCDW = Agua Circumpolar Profunda Inferior; AABW = Agua de Fondo Antártico.*

Rasgos de pequeña escala paralelos al talud

Se reconocieron dunas con forma de herradura (entremezcladas con surcos locales) en una terraza contornítica a lo largo del talud medio (ver Thompson *et al*., 2015). Estos rasgos muestran formas precisas y crecientes de hasta ~10 m de alto, ~450 m de ancho y ~1 km de largo. Se identificó un campo de erosión coalescente y grandes surcos individuales en el talud inferior norte, con una extensión de 30 km y en dirección paralela al margen. Estos rasgos pueden tener ~250 m de ancho y ~400 m de largo, con profundidades de ~90-250 m (Thompson *et al*., 2015).

Rasgos talud abajo

Se identificaron seis sistemas de cañones submarinos a lo largo del margen uruguayo (Hernández-Molina *et al*., 2016). Normalmente tienen <800 m de profundidad y <6 km de ancho (figuras 2b, 2e, 3a y 4). Se depositaron turbiditas a lo largo la emersión continental superior a inferior, y en la parte distal de los cañones (Hernández-Molina *et al*., 2009). Los cañones muestran reflexiones de alta amplitud en la base, mientras que las turbiditas muestran reflexiones subparalelas a onduladas de amplitud baja a alta (figuras 2b y 2e). Estos sistemas de cañones no se conectan con sistemas de drenaje antiguos, paleocanales o incisiones a lo largo de la plataforma (Preu *et al*., 2013; Hernández-Molina *et al*., 2016), lo que sugiere que su desarrollo está vinculado a frecuentes flujos gravitacionales. MTD de gran escala (como deslizamientos, *slumps* y flujos de detritos) y sus escarpas también se identificaron a lo largo del sector norte del margen continental (Hernández-Molina *et al*., 2016). Uno de los principales es el Megadeslizamiento Cabo Polonio, que se extiende por 4.000 km^2. Los deslizamientos y *slumps* suelen predominar en el talud inferior, mientras que los flujos de detritos predominan en la transición del talud inferior a la emersión (figura 2c).

Discusión

Factores de control

Tectónica

La separación de Pangea y, particularmente, la de Gondwana (caracterizada por la separación de África y América del Sur entre ~138-125 Ma), en el Jurásico y el Cretácico inferior, provocaron la formación del océano Atlántico Sur y la formación del margen uruguayo (Soto *et al*., 2011; Pérez-Díaz y Eagles, 2017). La ruptura de Gondwana comenzó a fines del Jurásico, con separación NW-SE a lo largo de zonas tectónicas intracontinentales. Un elemento estructural importante que condicionó la evolución del margen uruguayo es la Zona de Transferencia Río de la Plata en dirección NW-SE (figura 1; Soto *et al*., 2011), que interrumpió o dislocó cuñas de flujo basáltico, marcadas por reflexiones que se inclinan hacia el mar (SDR, por sus siglas en inglés) y sus anomalías magnéticas asociadas (ver capítulo 2.2 en este libro). La Zona de Transferencia Río de la Plata dividió el margen en tres sectores, con el manto casi expuesto en la porción central (ver capítulo 2.2 en este libro). Distalmente, la Zona de Transferencia Río de la Plata continúa hacia la Zona de Fractura Meteor E-W en el dominio de la corteza oceánica, así como sucede en otras zonas de transferencia

en la región (Franke *et al*., 2007) (figura 1). Posteriormente, la separación NE-SW sucedió a inicios del Cretácico (~138-125 Ma), lo que formó el margen uruguayo durante la apertura gradual del Atlántico Sur (Soto *et al*., 2011; Pérez-Díaz y Eagles, 2014). El *syn-rift* de fines del Jurásico e inicios del Cretácico colmató las fosas tectónicas y los bloques elevados del Mesozoico a lo largo del margen continental, mientras que los sedimentos transicionales Barremiano-Aptiano y los sedimentos *post-rift* del Cretácico tardío-Cenozoico pudieron desplazarse hacia el talud inferior (Soto *et al*., 2011; Creaser *et al*., 2017; Morales *et al*., 2017b). La sucesión *post-rift* forma un prisma sedimentario de hasta 7 km, influenciado por la subsidencia térmica y flexural, el suministro de sedimentos y los cambios del nivel del mar. Los altos de basamento precámbricos aislaron estos sedimentos hasta fines del Maastrichtiano, cuando se estableció una única provincia marítima (Soto *et al*., 2011; Morales *et al*., 2017b). El principal depocentro del Cretácico se desarrolló en la Cuenca Punta del Este distal, donde se formaron sistemas turbidíticos y mixtos (figuras 2a y 2c), aún aislados de los altos precámbricos. La mayoría del aporte sedimentario fue proporcionada por los precursores fluviales del Río de la Plata, que siguieron las direcciones NW-SE y SW-NE heredadas del basamento estructural (Creaser *et al*., 2017; Morales *et al*., 2017b). El depocentro principal se desplazó hacia la Cuenca Pelotas al norte en el Cenozoico, cuando se formaron los CDS del Paleógeno a la actualidad (figura 1). Este desplazamiento resultó de un espacio de acomodación reducido y de la subsidencia flexural, vinculada con la orogenia andina (Cobbold *et al*., 2007; Morales *et al*., 2017b). Inicialmente, los depocentros del CDS del Paleógeno también fueron influenciados por el sistema mixto subyacente, lo que indica la herencia estructural del basamento (Kirby *et al*., 2021).

Procesos gravitacionales

Los procesos gravitacionales han afectado el margen continental desde el inicio del Cretácico (Creaser *et al*., 2017; Rodrigues *et al*., 2021). Inicialmente, las corrientes gravitacionales contribuyeron a la formación de sistemas turbidíticos entre el Aptiano-Albiano, compuestos por canales submarinos, depósitos turbidíticos y flujos de inundación (figuras 1, 2a, 2c, 2e, 3b, 3e y 4). Estos sistemas evolucionaron hacia sistemas mixtos entre el Cenomaniano y el Maastrichtiano debido a nuevas interacciones frecuentes entre los sistemas preestablecidos generados por gravedad y la recientemente formada paleocirculación del Cretácico (Creaser *et al*., 2017). Los procesos gravitacionales disminuyeron significativamente durante el Paleoceno y el Eoceno. Sin embargo, algunas escarpas y barrancos se observan en el talud superior y a lo largo de la transición del talud inferior a la emersión, así como durante el Oligoceno, cuando se preservó un gran MTD en la emersión (Kirby *et al*., 2021). Entre el Mioceno y la actualidad se formaron canales y cañones a lo largo del margen continental, junto con depósitos turbidíticos, que recortan el CDS moderno (figuras 1, 2b, 3e y 4). Esto sugiere que hubo una reactivación significativa de los procesos gravitacionales durante este período (Hernández-Molina *et al*., 2016). Los canales y cañones se asocian con el aumento en la productividad de los ecosistemas marinos (Burone *et al*., 2021), mientras que la interacción contemporánea de los procesos

paralelos y perpendiculares al talud pueden estar asociados con un aumento de los riesgos geológicos (Krastel *et al*., 2011) (figura 4).

Masas de agua

Las corrientes de fondo han moldeado del talud superior a la emersión inferior desde el Mesozoico. Una paleocirculación inicial comenzó a fines del Cretácico, luego del establecimiento de un pasaje ecuatorial incipiente hace ~100-80 Ma entre el Atlántico Central y Sur, caracterizado por la apertura del pasaje Falkland/Malvinas-Agulhas, la subsidencia de la Dorsal de Walvis-Ridge/Alto de Rio Grande y la apertura del Canal Vema (Pérez-Díaz y Eagles, 2017; Rodrigues *et al*., 2021). En consecuencia, las aguas superficiales, intermedias y profundas recientemente formadas comenzaron a influir fuertemente en la sedimentación marina profunda (Creaser *et al*., 2017). Las aguas intermedias y profundas interactuaron con los sistemas turbidíticos previamente depositados para construir los grandes sistemas mixtos de fines del Cretácico (figura 3b). Hace ~83,6 Ma estos sistemas mixtos cambiaron su migración de NE a SW, lo que sugiere que la paleocirculación cambió el flujo de norte a sur durante la apertura final del Atlántico Sur (Rodrigues *et al*., 2021). Hace ~66-20 Ma el CDS del Paleógeno y Mioceno se formó en un escenario oceanográfico diferente (figuras 3c-3e). Entre ~66-56 Ma, el margen albergaba una corriente superficial de Agua del Pacífico Superior (UPW, por sus siglas en inglés) que fluía hacia el sur y una corriente intermedia que fluía hacia el norte a profundidades menores a 2.200 m, y alrededor de ~59 Ma se inició una corriente profunda que fluía hacia el norte por debajo de los 2.200 m de profundidad (Uenzelmann-Neben *et al*., 2016; Via y Thomas, 2006; Batenburg *et al*., 2018). La masa de Agua Intermedia Antártica (AAIW) y la proto Agua Circumpolar Profunda (CDW), derivadas de la Antártida, comenzaron a circular cerca de ~38-20 Ma, luego de que el Pasaje de Drake se profundizara entre ~37-35,5 Ma (Sarkar *et al*., 2019), y la proto Agua de Fondo Antártica (AABW) comenzó posteriormente, cerca de ~35 Ma, con caminos similares a los actuales (Pérez-Díaz y Eagles, 2017). Un núcleo de corriente de fondo dentro de la proto-CDW fue el responsable de la fosa con forma de U del CDS, mientras que una interfaz cambiante en las masas de agua superiores resultó en su terraza contornítica (Kirby *et al*., 2021). Para ~32 Ma, estas masas de agua se profundizaron debido a una incursión del Componente de Agua Norte (NCW), un precursor del Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW) actual (Katz *et al*., 2011). Este cambio eventualmente resultó en el sepultamiento del CDS del Paleógeno-Mioceno (Kirby *et al*., 2021). Para mediados del Mioceno, las aguas superficiales, intermedias, profundas y de fondo del régimen oceanográfico moderno ya estaban totalmente establecidas, y en ellas se implantó el CDS actual (figura 4; Piola y Matano, 2001). Las aguas superficiales incluyen la Corriente de Brasil, que fluye hacia el sur y transporta Agua Tropical y Agua Central del Atlántico Sur (TW y SACW, por sus siglas en inglés, respectivamente), y la Corriente de Malvinas, con flujo al norte (compuesta de Agua Subantártica y AAIW), que se encuentran en la latitud ~38° S y forman la Confluencia Brasil-Malvinas (Stramma y England, 1999). Las aguas intermedias (<1 km de profundidad) incluyen AAIW con flujo hacia el norte (una masa de agua fresca y oxigenada) y AAIW recirculada, que fluye hacia el sur, debajo de la Corriente de Brasil (figura

4; Preu *et al*., 2013). Las aguas profundas (~1-3,5 km de profundidad) incluyen UCDW y LCDW con flujo hacia el norte, entre las cuales se encuentra NADW con flujo hacia el sur (figura 4). En las aguas de fondo (>3,5 km de profundidad) predomina AABW con flujo hacia el norte, que forma un giro en la Cuenca Oriental del Plata (Piola y Matano, 2001).

Evolución del margen

La apertura gradual del océano Atlántico Sur, junto con los procesos gravitacionales iniciales y una paleocirculación, llevó al inicio de la depositación marina a lo largo del margen uruguayo (Soto *et al*., 2011; Pérez-Díaz y Eagles, 2017). Entre el Aptiano y el Albiano (~125-100,5 Ma) se desarrolló un sistema turbidítico a lo largo del talud continental, limitado por la paleoconfiguración previa (figuras 1, 2a y 2c; Creaser *et al*., 2017). El sistema se convirtió en un sistema mixto (turbidítico-contornítico) a partir del Cretácico superior (~100,5-66 Ma), debido al inicio de la actuación de corrientes de fondo en el Cenomaniano (figuras 1, 2a, 2c y 3b). La formación de este sistema mixto está intrínsecamente vinculada a la apertura del océano Atlántico Sur y sus pasajes oceánicos (por ejemplo, el Pasaje Ecuatorial Atlántico y Falkland/Malvinas-Agulhas) (Rodrigues *et al*., 2021).

Al inicio del Paleoceno el patrón de apilamiento sedimentario del margen cambió significativamente (Morales *et al*., 2017b), lo que denotó una transición del sistema mixto a un nuevo CDS, que se desarrolló en las cuencas Punta del Este y Pelotas (figuras 1, 2b, 2d, 2e y 3c). La transición sucedió luego del cese de la progradación regional, interrumpiendo el aporte de sedimentos a la plataforma y el talud superior, y causando que el depocentro del margen se desplazara al talud medio e inferior, donde el sedimento era transportado por las corrientes de fondo. Los sedimentos agradacionales sepultaron el sistema mixto, rellenando preferentemente sus canales de baja altitud y cubriendo sus *drifts* monticulares (figuras 2a, 3b y 3c). En consecuencia, la morfología subyacente de los sistemas mixtos inicialmente influyó en el desarrollo del nuevo CDS, aunque eventualmente fue sobrescrita por el desarrollo de los *drifts* adosados y terrazas (Kirby *et al*., 2021).

Entre inicios y mediados del Mioceno hubo otro cambio en los patrones de apilamiento de sedimentos marcado por la aparición de turbiditas en la emersión continental, que emanan de cañones que inicialmente cortan el CDS del talud (Kirby *et al*., 2021) (figuras 2e y 3e). Aunque no aparecen en el margen uruguayo, estos depósitos representan el registro sedimentario en el que se desarrolló otro extenso CDS en áreas más orientadas a la cuenca (Hernández-Molina *et al*., 2010).

Desde fines del Mioceno a la actualidad, un extenso CDS comenzó a expandirse del talud medio a la emersión inferior (figuras 1, 2b y 4). Sus componentes contorníticos son ubicuos y están genéticamente asociados a la evolución de las masas de agua regionales y su rango de profundidad (Hernández-Molina *et al*., 2016). Las masas de agua antárticas y subantárticas de fuentes al sur (tales como AAIW, UCDW, LCDW y AABW) y las masas de agua atlánticas con orígenes al norte (tales como SACW y NADW) contribuyeron a la formación de grandes *drifts* contorníticos y complejas terrazas a lo largo del CDS

(Hernández-Molina *et al*., 2009, 2016). Los patrones de apilamiento sedimentario reflejan una influencia a largo plazo de las masas de agua altamente variables, las oscilaciones entre el Mioceno y el Cuaternario, y los procesos dinámicos gravitacionales (Preu *et al*., 2013; Hernández-Molina *et al*., 2016).

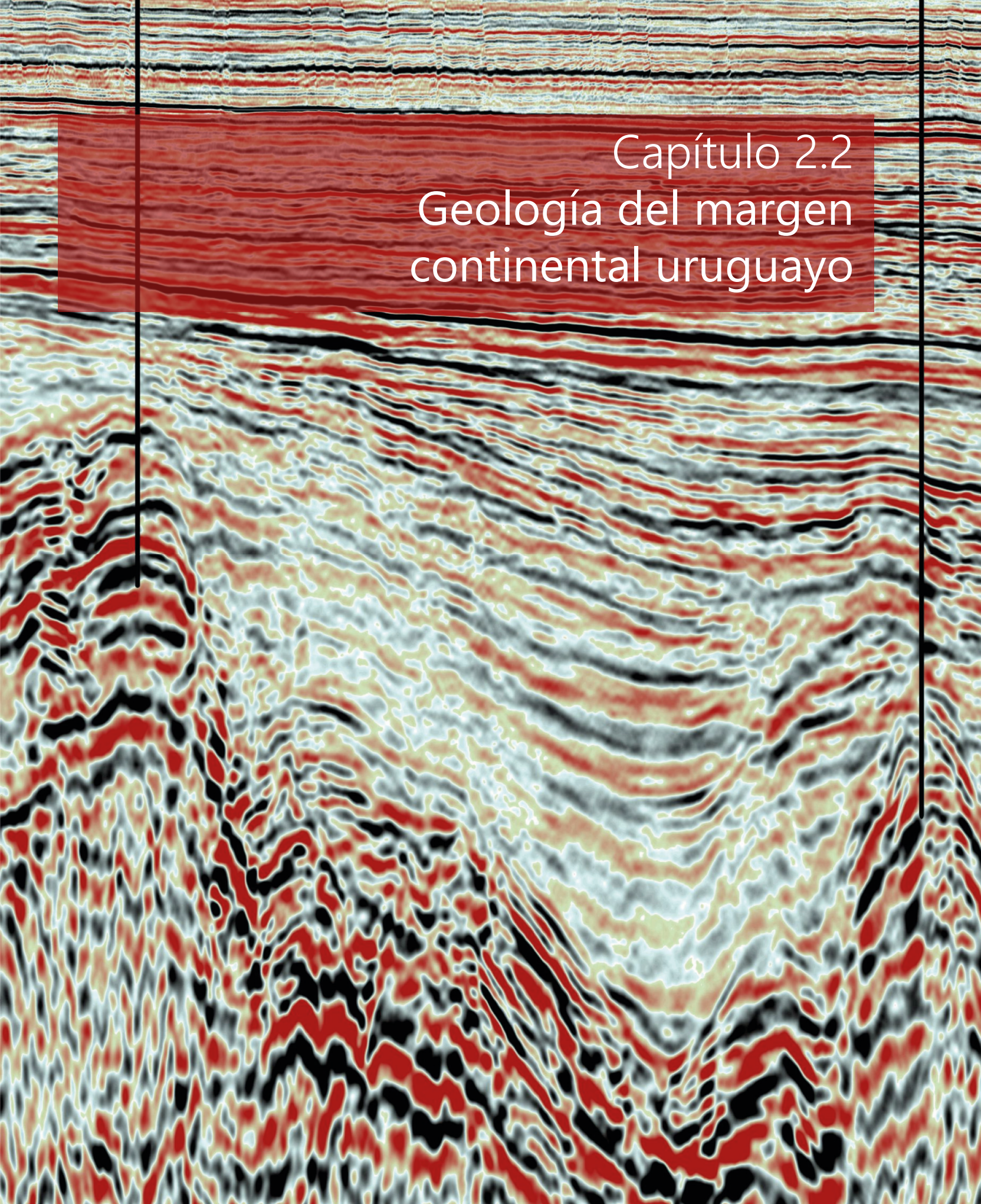
Potenciales implicancias

Los sistemas depositacionales que se han desarrollado a lo largo del talud y la emersión presentan un importante potencial para la exploración de hidrocarburos y el secuestro de CO_2 (figura 4). Estos sistemas se caracterizan por HAR, que usualmente se asocian con depósitos ricos en arena (Rodrigues *et al*., 2021, 2022). En el Cretácico, se desarrollaron HAR a lo largo de los sistemas mixtos, desde los canales submarinos hacia los *drifts* monticulares (figura 2), mientras que en el CDS del Paleógeno y la actualidad se identificaron varios HAR a lo largo de las terrazas contorníticas y depósitos turbidíticos, particularmente hacia el sur del margen, así como dentro de las fosas y cañones y asociados con formas de lecho de gran escala (figura 4) (Hernández-Molina *et al*., 2018; Kirby *et al*., 2021). Los depósitos ricos en arena normalmente se caracterizan por su alta porosidad, alta permeabilidad y buena transmisibilidad lateral y vertical de fluidos, lo que es esencial para formar reservas de hidrocarburos y para el secuestro de CO_2 (Rodrigues *et al*., 2022). De hecho, los depósitos turbidíticos ricos en arena del Oligoceno fueron perforados por el pozo de exploración Raya X-1 en 2016, momento en el que mostraron una porosidad promedio de 24%. Los *drifts* monticulares y adosados construidos de manera adyacente o superpuesta a estos depósitos de arena se caracterizan por reflexiones de amplitud baja a moderada, lo que sugiere que pueden estar compuestos por sedimentos arcillosos y actuar como potenciales sellos (figuras 2). Como tales, los sistemas depositacionales de aguas profundas construidos a lo largo del margen uruguayo ofrecen varios *plays* desde el Cretácico tardío hasta el presente, lo que puede ser de interés para la industria de los hidrocarburos y las geociencias de la energía. Sin embargo, es necesario realizar más estudios para evaluar todo su potencial como reservorios y sellos, además de su efectividad para la captura y el almacenamiento de carbono.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Kirby, A., S. Rodrigues, E. Morales, M. Soto, L. Burone, P. Rodríguez, B. Conti, H. de Santa Ana, P. Thompson, G. Badalini, P. Gristo y J. Hernández-Molina, 2024, Rasgos morfosedimentarios del margen continental uruguayo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 91-106, doi: 10.70952/a8827tmuc2-1

Traducción técnica realizada por Matías Soto del original en inglés, corregida por Bruno Conti y Ethel Morales.



Capítulo 2.2
Geología del margen continental uruguayo

Sección sísmica 2DUR12-4000, en el segmento de cuenca Punta del Este entre los pozos Lobo X-1 y Gaviotín X-1. Fuente: ANCAP.

Capítulo 2.2
Geología del margen continental uruguayo

Ethel Morales,[1] Bruno Conti,[2] Matías Soto,[1]
Gerardo Veroslavsky,[1] Josefina Marmisolle,[2]
Rodrigo Novo[2] y Héctor de Santa Ana[2]

[1] *Instituto de Ciencias Geológicas (ICG), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[2] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

Introducción[1]

El margen continental uruguayo (MCU), con batimetrías que oscilan entre 20 y más de 5.000 m, está ubicado entre las latitudes 34° y 40° S y las longitudes 46° y 56° W, y ocupa un área de aproximadamente 207.500 km^2, muy cerca de las 350 M (Veroslavsky *et al.* 2017; ver capítulo 1.3 de este libro).

El MCU tiene su génesis asociada a los procesos de fragmentación de Gondwana Occidental y posterior apertura del océano Atlántico (ver, por ejemplo, Rabinowitz y LaBrecque, 1979; Gladczenko *et al*., 1997; Heine *et al*., 2013; Will y Frimmel, 2018), y se ubica al sur de la dorsal de Walvis/Rio Grande, en el denominado segmento Sur del océano Atlántico (Moulin *et al.*, 2010).

En este segmento, la separación continental se inicia desde el sur, hacia los 138 Ma (Heine *et al*., 2013) y progresa, hacia el norte. Una de sus características más distintivas es la presencia de espesas cuñas de *seaward dipping reflectors* (SDR) en el límite de la corteza continental - corteza oceánica (Geoffroy, 2005; Stica *et al*., 2014; Chauvet *et al*., 2021). Los SDR son interpretados como flujos basálticos, extruidos en ambiente subaéreo a subactuático en unos pocos millones de años (durante la última etapa de ruptura e inmediatamente antes de la formación de la corteza oceánica), que se intercalan con sedimentos volcano-clásticos y clásticos (ver, por ejemplo, Hinz, 1981; Mutter *et al*., 1982).

1 Los autores agradecen a ANCAP por permitir el acceso a la base de datos hasta las 200 M, a la Comisión Asesora para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental de la República (COALEP) por el acceso a la base de datos sísmicos más allá de las 200 MN y a la empresa S&P Global por la cesión de licencias del *software* Kingdom a la Universidad de la República. Resultados parciales de este capítulo fueron alcanzados en el marco de los proyectos: a) ANCAP-Universidad de la República "Depósitos sedimentarios en ambientes marinos profundos del margen continental del Uruguay: implicancias en la exploración de hidrocarburos", financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) y b) FCE_1_2021_1_166362 "Estratigrafía y tectónica de los sectores suroeste y central del margen continental uruguayo, con énfasis en las fases *rift* y *post-rift* inicial", financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

El MCU exhibe una significativa heterogeneidad tanto en dirección longitudinal como perpendicular, lo que refleja su compleja historia evolutiva. Se corresponde con un margen pasivo de tipo volcánico, con depocentros volcano-sedimentarios que, en algunos sectores, superan los 7 km de relleno sedimentario (Franke *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2017b), y se presenta segmentado, en su sector central, por el Sistema de Transferencia del Río de la Plata (STRP) (Soto *et al.*, 2011). En este se ubican la Cuenca Punta del Este, la porción más austral de la Cuenca Pelotas y la Cuenca Oriental del Plata (figura 1).

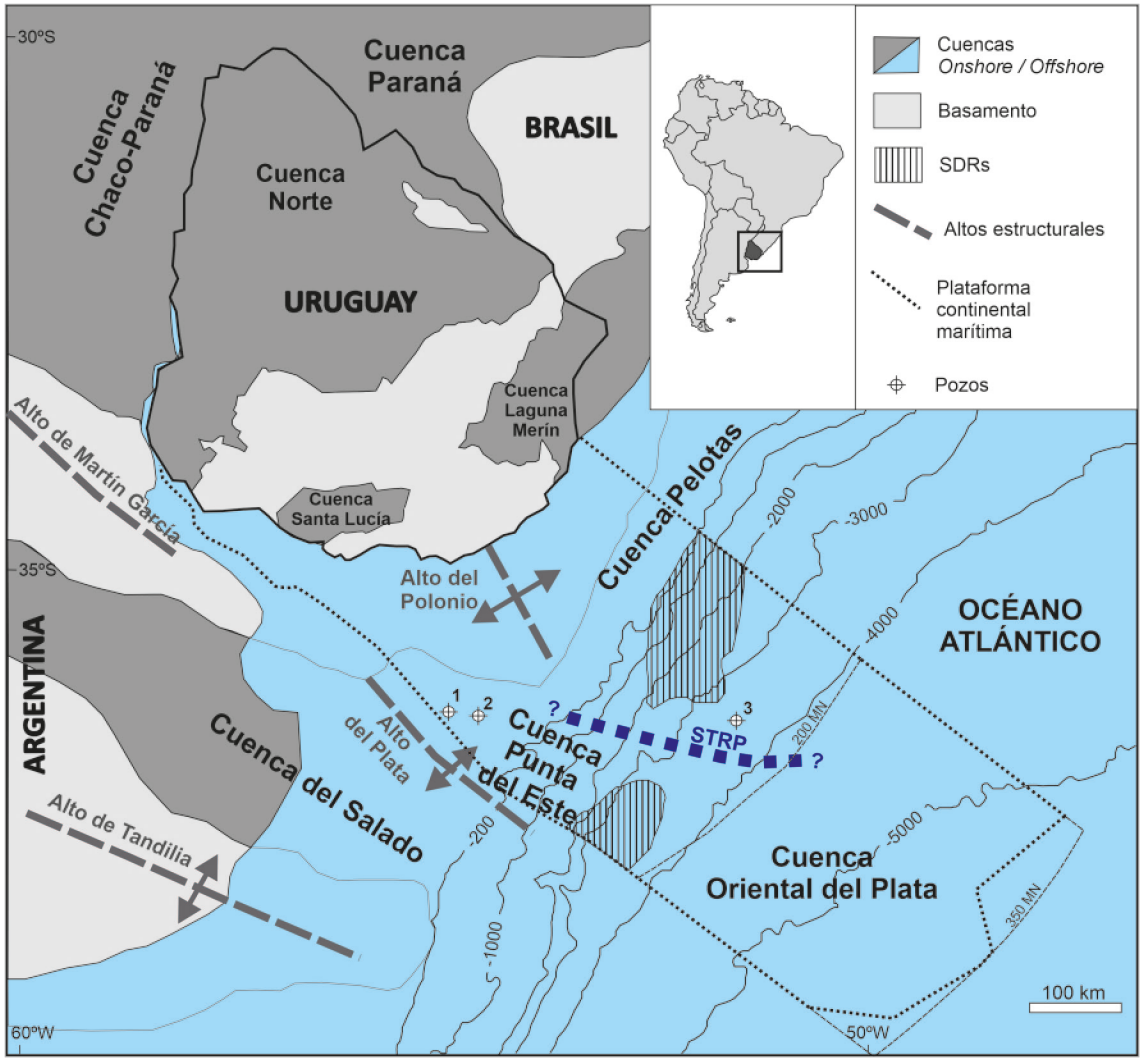


Figura 1: Ubicación de las cuencas del margen continental uruguayo. Se indican los principales rasgos estructurales, la ubicación de los SDR, el SRTP y los pozos exploratorios (1: Lobo x-1; 2: Gaviotín x-1; y 3: Raya x-1).

La Cuenca Punta del Este, ubicada en el sector meridional del MCU, presenta en planta una morfología de embudo, con una orientación general NW, perpendicular al margen continental (Stoakes *et al*., 1991; Ucha *et al*. 2004; Morales *et al*., 2017a). Está separada de la Cuenca del Salado hacia el WSW por el Alto del Plata y hacia el ENE por el Alto del Polonio, de la Cuenca Pelotas. Varias hipótesis han sido propuestas para explicar su génesis, entre las que se encuentran: aulacógeno (Yrigoyen, 1975; Introcaso y Ramos, 1984; Stoakes *et al*., 1991), tectónica transtensional asociada a un sistema de cizalla transcurrente dextral, de orientación NW-SE (Keeley y Light, 1993; Tankard *et al*., 1995; Franke *et al*., 2006) y superposición de dos o más fases *rift*s (Macdonald *et al*., 2003; Gerster *et al*., 2011; Pángaro y Ramos, 2012; Koopmann *et al*., 2014; Lovecchio *et al*., 2020).

La Cuenca Pelotas, ubicada en el sector septentrional del MCU, presenta una orientación NE, paralela al margen continental, y constituye una típica cuenca de margen pasivo, con fallas orientadas paralelas al margen continental y buzantes hacia el continente (antitéticas). Se desarrolla desde el margen uruguayo hasta el Alto de Florianópolis, en el margen continental brasileño (Fontana, 1996; Abreu, 1998; Stica *et al*., 2014; Conti *et al*., 2017).

Por su parte, se denomina Cuenca Oriental del Plata a la cuenca oceánica, ubicada aguas afuera de las cuencas Punta del Este y Pelotas, en batimetrías superiores a los 4.000 m, sobre corteza transicional y oceánica (Soto *et al*., 2011; Velázquez y Morales, 2020).

El STRP, con una orientación NWW, separa las cuencas Punta del Este y Pelotas, ubicadas al sur y al norte, respectivamente y, por sí mismo, define el sector central del MCU con características particulares. Entre estas características se destacan: la interrupción de las cuñas de SDR y las anomalías magnéticas asociadas; la atenuación muy significativa del espesor de la corteza; y la presencia de una corteza "magmática" transicional no representada por SDR.

Base de datos

En la figura 2 se presenta la base de datos utilizada para la elaboración de este capítulo, la cual incluye: a) geofísica potencial (gravimetría y magnetometría hasta las 200 M), b) sísmica de reflexión 2D y 3D y c) diagrafías y muestras de rocas de pozos exploratorios de hidrocarburos.

Cabe señalar que, actualmente, el mayor aporte al conocimiento del MCU se basa en un mejor entendimiento y comprensión de su arquitectura estratigráfica, a partir de la interpretación de datos sísmicos, en virtud de que los datos de pozos son muy escasos y aportan información exigua para caracterizar y datar eventos geológicos.

Al respecto, el MCU cuenta con sólo tres pozos exploratorios, dos perforados en el año 1976, en el área de la plataforma interna de la Cuenca Punta del Este (Lobo x-1 y Gaviotín x-1) y uno, perforado en el año 2016, en el talud inferior de la Cuenca Pelotas (Raya x-1) (figura 2). Estos pozos sólo pueden utilizarse para correlaciones de unidades estratigráficas del Cretácico superior y más recientes, debido a que las unidades más antiguas perforadas por los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 corresponden a depósitos continentales cretácicos sin contenido fosilífero. Una excepción

la constituye el tramo final del pozo Gaviotín x-1, el cual contiene fósiles de edad Paleozoico, pertenecientes al estadio *pre-rift* de evolución de la cuenca. Por su parte, el pozo Raya x-1 finalizó en depósitos de edad Neógeno (Morales *et al*., 2020). Adicionalmente, fueron utilizados datos publicados de pozos perforados en las cuencas *offshore* de Argentina y Brasil con el objeto de establecer correlaciones estratigráficas.

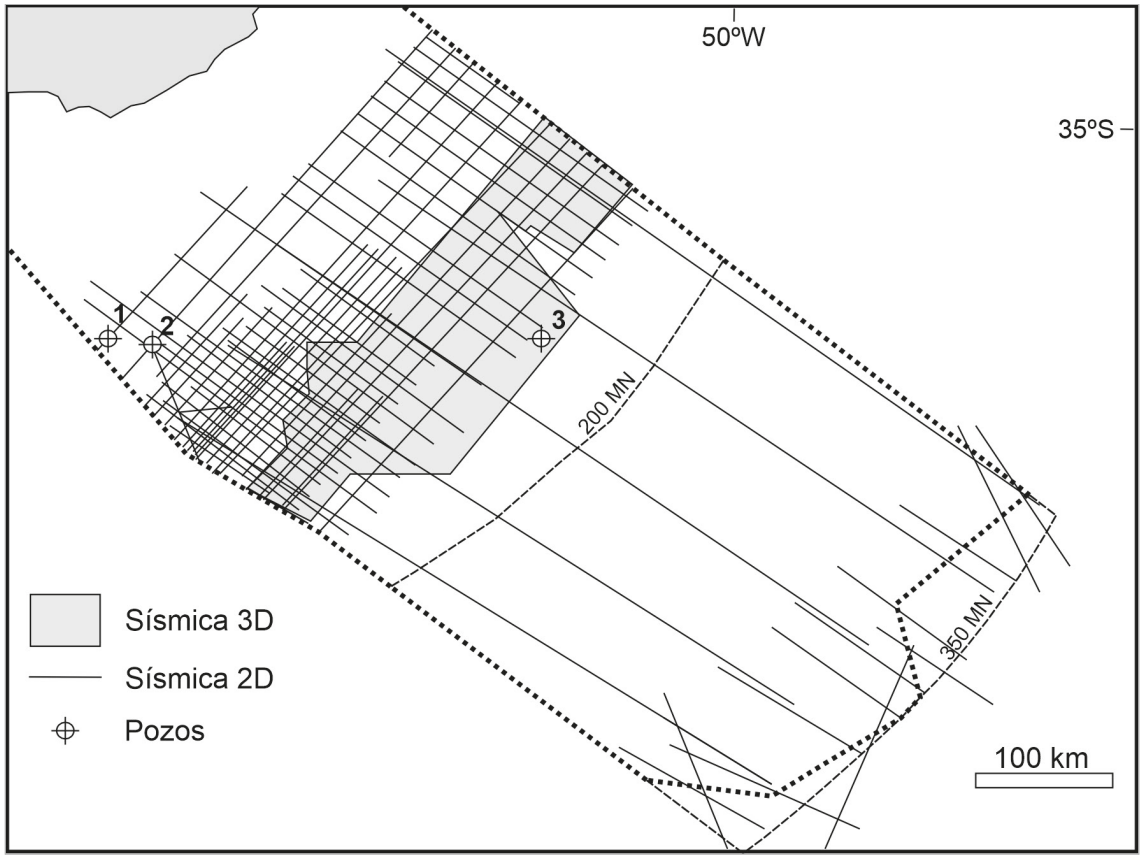


Figura 2: Base de datos. Pozos exploratorios 1: Lobo x-1; 2: Gaviotín x-1 y 3: Raya x-1.

Contexto geológico regional

Los márgenes pasivos volcánicos constituyen la mayoría de los márgenes pasivos del mundo y están caracterizados por: a) grandes volúmenes de rocas volcánicas y volcano-clásticas, los cuales incluyen espesas cuñas de flujos volcánicos de entre 5-15 km de espesor (SDR); b) el adelgazamiento abrupto de la corteza continental, por lo que la transición de corteza continental a oceánica (*continental ocean transition*, COT) ocurre en una distancia corta y en las proximidades de los SDR; c) la ocurrencia de una corteza inferior de alta velocidad (*high velocity lower crust*, HVLC) (V p> 7,3 km/s) en dirección al mar y debajo de la corteza continental fracturada (Menzies *et al*., 2002; Geoffroy, 2005; Tugend *et al*., 2018; Franke, 2013; Reuber *et al*., 2019).

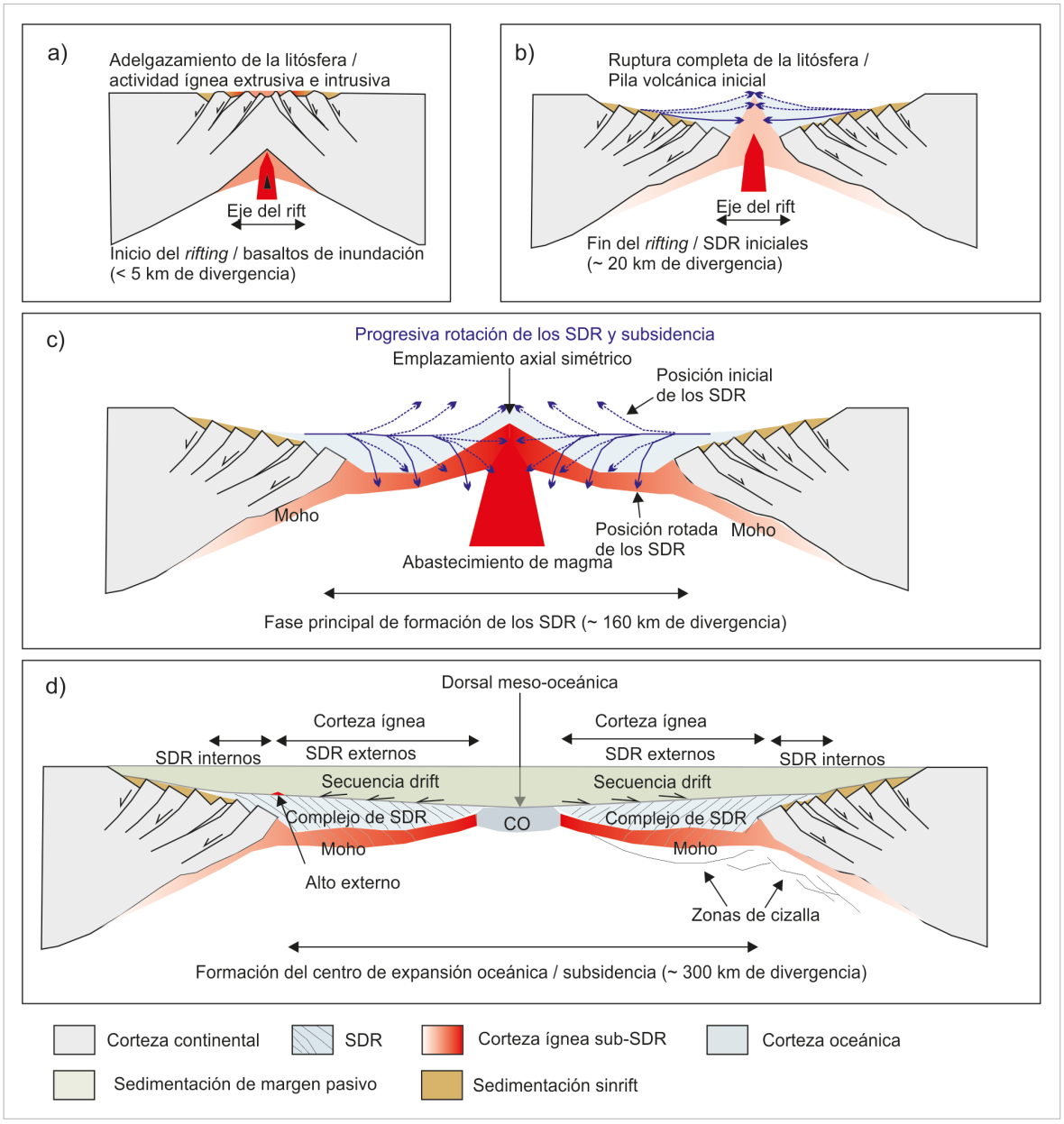


Figura 3: Modelo conceptual de cuatro etapas para la evolución de un margen pasivo volcánico. Adaptado de Reuber et al. *(2019).*

La figura 3 resume el modelo conceptual para la formación y evolución de los márgenes pasivos volcánicos según Reuber *et al.* (2019), el cual incluye cuatro etapas principales. La primera etapa está representada por una intensa actividad ígnea extrusiva e intrusiva, incluyendo basaltos de inundación sobre una corteza continental estirada y adelgazada. La divergencia de las placas es mínima y se manifiesta por un área localizada de *rifting* y

magmatismo (figura 3a). Durante la segunda etapa, flujos basálticos (SDR) cubren la corteza continental completamente fracturada. Los *hemi-grabens* son rellenos con sedimentos relacionados con el *rifting* y rocas volcánicas. Una distancia de aproximadamente 20 km separa los márgenes continentales opuestos y la divergencia sostenida provoca la subsidencia del margen y la rotación de los SDR hacia el continente (figura 3b). La tercera etapa está representada por un período de vulcanismo prolongado y divergencia sostenida de las placas con la acumulación simétrica de los SDR a lo largo de ambos márgenes conjugados y de una corteza ígnea subyacente. La zona de SDR/corteza ígnea puede variar en ancho de decenas a cientos de kilómetros (figura 3c). Las flechas en la figura 3c indican las direcciones de rotación progresiva hacia el continente de los flujos volcánicos, previamente planos y elevados y ahora fuertemente inclinados en la proximidad al centro de expansión. En esta etapa, la corteza continental (típicamente de 32 km de espesor) está adelgazada y se presenta separada por un área de aproximadamente 160 km de ancho, constituida por SDR/corteza ígnea, de aproximadamente 20 km de espesor. La cuarta y última etapa está caracterizada por el cese del vulcanismo voluminoso, la expansión oceánica activa y sostenida a lo largo de la dorsal, la subsidencia del margen y una sedimentación de tipo margen pasivo (*drift*) (figura 3d).

Estructura cortical

La estructura cortical del MCU se presenta fuertemente condicionada por la presencia del STRP y las características de su basamento (Tankard *et al*., 1995; Soto *et al*., 2011; Rowlands *et al*., 2016; Morales *et al*., 2017a; McDermott *et al*., 2018; Reuber *et al*., 2019).

Los sectores meridional y septentrional, aun con diferencias, presentan una arquitectura cortical comparable (figura 4a), mientras que el sector central, correspondiente al área de desarrollo del STRP y de transición entre las cuencas Punta del Este y Pelotas, presenta características particulares (figura 4b). De un modo general, la corteza del MCU está constituida por tres tipos diferentes en dirección al mar: continental, transicional y oceánica (Hinz *et al*., 1999; Franke *et al*., 2007; Soto *et al*., 2011).

La corteza continental se corresponde en los datos sísmicos con reflectores discontinuos de variable amplitud. Su espesor es variable, excediendo los 32 km en el área del Alto del Polonio y presentando considerable adelgazamiento hacia el área distal del MCU (figura 4 a, b). Adicionalmente, la corteza continental es más ancha en el sector meridional (300 km) que en el sector septentrional (100 km), y está afectada por fallas sintéticas y antitéticas en el sector meridional y casi exclusivamente antitéticas en el sector septentrional (figura 4a).

La corteza transicional se caracteriza por una intensa actividad magmática cretácica, tanto extrusiva como intrusiva. Al contrario de lo que ocurre con la corteza continental, se presenta más ancha en el sector septentrional (150 km) que en el sector meridional (120 km). En los sectores septentrional y meridional está constituida, en dirección al mar, por cuñas de SDR y basaltos planos, con un espesor comprendido entre 25 y 7 km

(figura 4a). En tanto, en el sector central se presenta constituida por acumulaciones volcánicas que esencialmente cubren el margen continental, donde exhibe un importante adelgazamiento (zona de hiperextensión), con espesores de sólo 3 km, tal como lo revela la "somerización" del Moho (figura 4b).

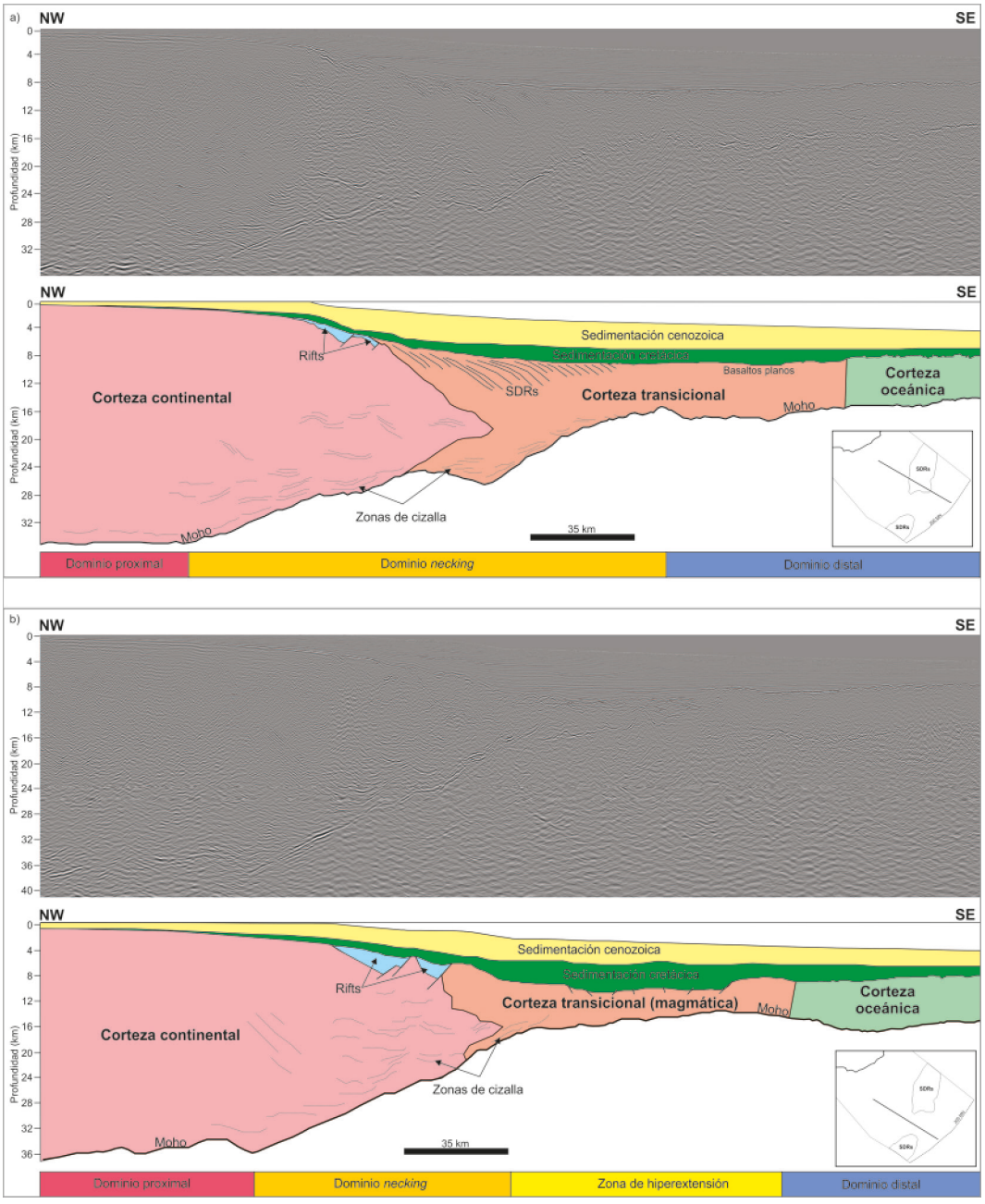


Figura 4: Estructura cortical de los sectores: a) septentrional - Cuenca Pelotas (adaptado de Chauvet et al.*, 2021) y b) central (adaptado de Novo* et al.*, 2023) del MCU.*

En los sectores meridional y septentrional se reconocen diferentes cuñas de SDR, siendo la cuña más joven menos pronunciada y más ancha que las ubicadas más hacia el continente (Soto *et al*., 2011; Chauvet *et al*., 2021). La terminación de las cuñas hacia el mar se corresponde generalmente con fallas antitéticas, lo que es coincidente con los modelos de emplazamiento de SDR propuesto por diversos autores (por ejemplo, Geoffroy, 2005). En secciones sísmicas *dip*, los SDR del sector meridional lucen más arqueados y con mayor convexidad que los del sector septentrional. Asimismo, la primera cuña de SDR del sector meridional fue basculada antes de la formación de la segunda cuña (Soto *et al*., 2011; Morales *et al*., 2020). En secciones *strike* se puede observar que las cuñas de SDR del sector septentrional buzan y se espesan hacia el norte, en concordancia con la propagación hacia el norte del *rifting* atlántico (Talwani y Abreu, 2000). En el sector meridional los SDR buzan hacia el sureste, aunque ese no es un rasgo uniforme debido a que están intensamente falladas, sobre todo en las proximidades del STRP. Las cuñas de SDR tienen un ancho total de 80-85 km y un espesor de más de 3 km, excediendo considerablemente el máximo espesor perforado (1 km) de los basaltos de la Formación Arapey en el *onshore* del Uruguay (De Santa Ana y Veroslavsky, 2003). Existe controversia respecto a la naturaleza de la corteza transicional ubicada debajo de los SDR, siendo interpretada alternativamente como corteza continental extendida (Austin y Uchupi, 1982; Gladczenko *et al*., 1997) o como corteza protooceánica esencialmente ígnea (Bauer *et al*., 2000; Reuber *et al*., 2019).

Luego de las cuñas de SDR, en dirección al mar, se reconocen reflectores horizontales y subparalelos con alto contraste de impedancia acústica, los cuales se corresponden con los denominados flujos de basaltos planos (*flat-lying basalts flow*) (ver, por ejemplo, Planke *et al*., 2000; Franke *et al*., 2007, 2010). Presentan un ancho variable entre 40 y 80 km en los sectores meridional y septentrional, respectivamente. Por debajo de ellos se observa un conjunto de reflectores de tipo *hummocky*, denominados por Franke *et al.* (2010) como reflectores de la corteza superior (*upper crustal reflections,* UCR) y considerados como límite entre las erupciones subaéreas y submarinas (Planke *et al*., 2000).

Entre los SDR y los basaltos planos ocurre una depresión que puede ser interpretada como la escarpa de una pila de basaltos (Franke *et al*., 2007). Esta depresión puede estar exagerada por la actuación de las fallas que limitan la parte distal de los SDR, de modo similar a lo que ocurre en el margen brasileño (Bassetto *et al*., 2000). Su relleno estaría constituido por rocas volcánicas o rocas sedimentarias compactas, dadas las altas velocidades sísmicas.

Modelos preliminares de densidad (Schnabel *et al*., 2008; Neben *et al*., 2005) sugieren la presencia de una corteza inferior de alta velocidad sísmica (HVLC) ubicada por debajo de los SDR. Cabe aclarar que el modelo de Neben *et al*. (2005) consideró un ancho de los SDR de 25 km, cuando el ancho real medido en secciones sísmicas es tres veces mayor.

La transición entre los basaltos planos y la corteza oceánica no está claramente definida, abarcando varios kilómetros de basaltos fracturados. La corteza oceánica es fácilmente reconocible por su morfología *hummocky* asociada a las *pillow lavas*,

presentándose intensamente fracturada y con un espesor poco variable, entre 8 y 10 km.

Evolución tectónica y estratigráfica

El MCU constituye un extenso ámbito de sedimentación, en cuya región proximal, sobresale el Alto del Polonio como un rasgo estructural mayor que separa las cuencas Punta del Este y Pelotas, y sobre el cual la sedimentación *post-rift* cubre directamente las rocas del basamento cristalino (Figura 4). A partir del Cretácico superior, la sedimentación *post-rift* supera completamente el Alto del Polonio y el MCU se constituye en un único ambiente de sedimentación, ocurriendo lo mismo hacia el sector distal del MCU donde el alto pierde expresión morfológica (Figura 5).

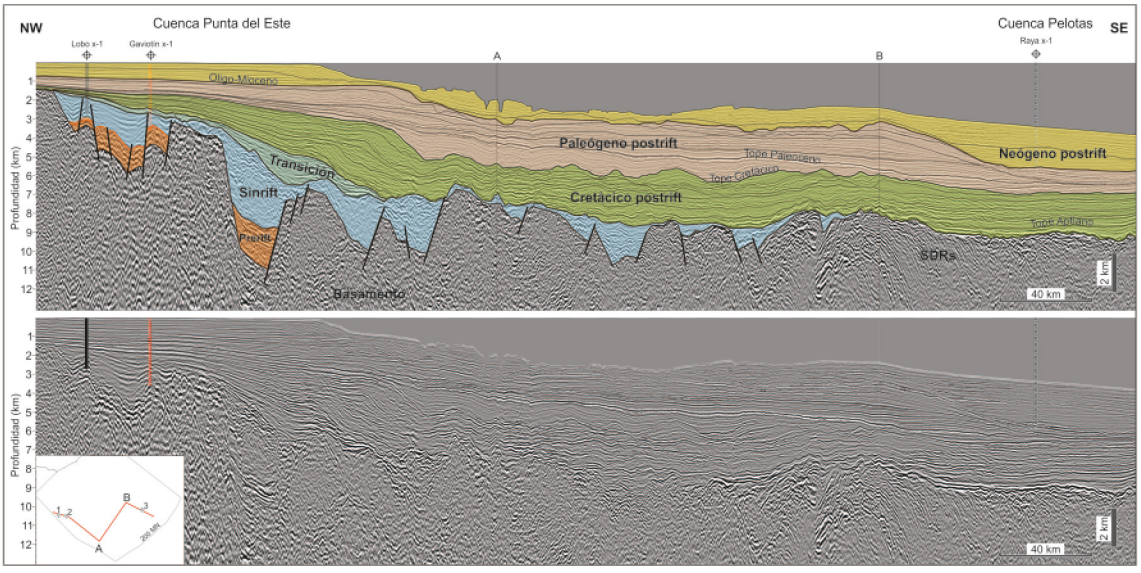


Figura 5: Sección sísmica arbitraria, con indicación de las cuatro fases de evolución de las cuencas del margen continental uruguayo: pre-rift *(Paleozoico),* syn-rift *(Jurásico-Cretácico inferior), transición (Barremiano-Aptiano) y* post-rift *(Aptiano-Reciente). Pozos exploratorios en mapa de ubicación: 1: Lobo x-1; 2: Gaviotín x-1; y 3: Raya x-1.*

Las cuencas del MCU comparten los mismos estadios de evolución que el resto de las cuencas marginales atlánticas: fase *pre-rift* (Paleozoico), *syn-rift* (Jurásico-Cretácico inferior), transición (Barremiano-Aptiano) y *post-rift* (Aptiano-Reciente) (Morales *et al.*, 2017b; Conti *et al.*, 2017) (figura 5).

Los depósitos del *pre-rift* y *syn-rift* ocurren sobre corteza continental fracturada, constituida por rocas granito-gnésicas del basamento cristalino precámbrico, pertenecientes al Escudo Uruguayo - Sur-riograndense (ver, por ejemplo, Basei *et al.*, 2018). Estas rocas afloran en los altos estructurales que

constituyen los límites de las cuencas Punta del Este y Pelotas en la región continental y fueron perforadas por pozos ubicados en las cuencas del Salado y Colorado, en el margen argentino (Tavella y Wright, 1996; Lovecchio *et al.*, 2020; DeVito y Kearns, 2022). La sedimentación *post-rift* del MCU presenta una geometría de cuña y su sustrato en dirección hacia el mar está constituido por rocas cristalinas del basamento precámbrico, depósitos sedimentarios paleozoicos del *pre-rift*, depósitos volcano-sedimentarios del *syn-rift*, cuñas de SDR/rocas ígneas y corteza oceánica.

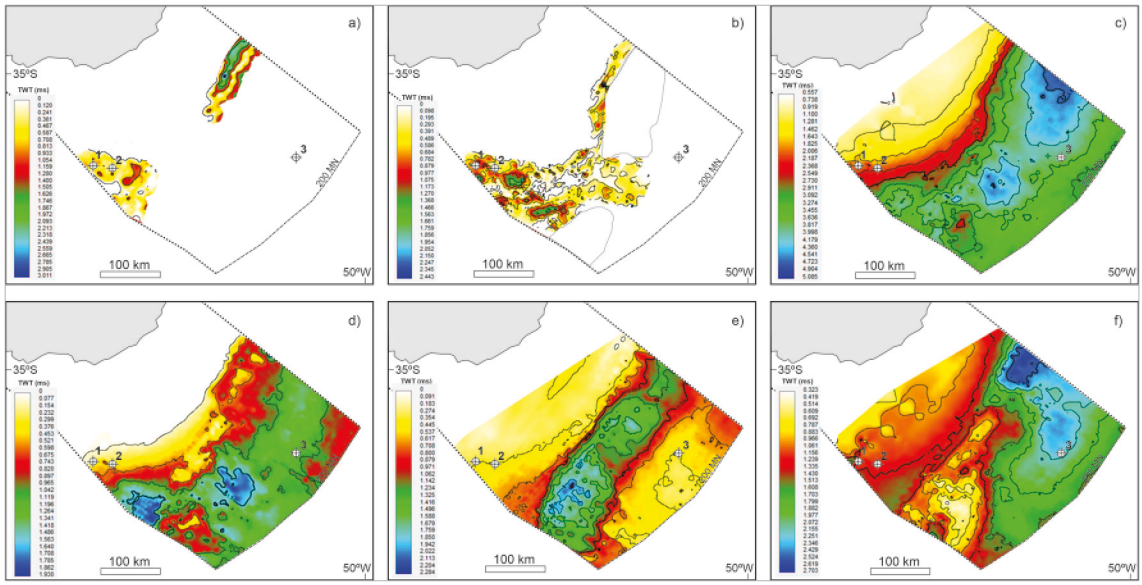


Figura 6: Mapas isócoros (ms - TWT) de los depósitos correspondientes a las fases: a) pre-rift*; b)* syn-rift*; c)* post-rift *Cretácico-Cenozoico; d)* post-rift *Cretácico; e)* post-rift *Paleógeno; f)* post-rift *Neógeno del MCU. Pozos exploratorios: 1: Lobo x-1; 2: Gaviotín x-1; y 3: Raya x-1.*

Fase *pre-rift* (Paleozoico)

Los depósitos del *pre-rift* comprenden rocas sedimentarias paleozoicas de Gondwana Occidental, preservadas como relictos luego del levantamiento y la erosión generalizada ocurridos durante la orogénesis herciniana (Milani y Filho, 2000; Pángaro *et al.*, 2016). Esta preservación, al menos en la Cuenca Punta del Este, fue asistida por la generación de depocentros mesozoicos, los cuales presentan registros del *pre-rift* en la base de los *grabens* proximales.

En secciones sísmicas, la sedimentación *pre-rift* se corresponde con reflectores continuos, subparalelos, suavemente plegados y de alta amplitud (figura 5). Comprenden un relleno sedimentario de entre 150 y 1.500 m, estimados de acuerdo a la información sísmica (figura 6a).

Las rocas sedimentarias del *pre-rift* fueron perforadas: en los últimos 139 m del pozo Gaviotín x-1 (Daners *et al.*, 2003; Veroslavsky *et al.*, 2003); en el área *onshore* de la porción brasileña de la Cuenca Pelotas (Beglinger *et*

al., 2012); y en las cuencas Salado y Colorado en el margen argentino (DeVito y Kearns, 2022). En el pozo Gaviotín x-1 estos depósitos están compuestos por intercalaciones de areniscas cuarzosas y pelitas y por areniscas finas correlacionables con las formaciones Tres Islas y Yaguarí de la Cuenca Norte (Veroslavsky *et al.*, 2003). Pángaro *et al*. (2016) describen estos depósitos como pertenecientes a la evolución de la denominada Cuenca Hespérides en el SW de Gondwana. La edad atribuida a los depósitos pertenecientes a esta fase en el pozo Gaviotín x-1, con base en la asamblea de palinofósiles, es Pérmico tardío (Daners *et al*., 2003).

Fase *syn-rift* (Jurásico-Cretácico Inferior)

En la Cuenca Punta del Este se reconocen dos fases *rift* y se pueden distinguir *rift*s internos, de orientación general NW y cuyo tope se presenta como una superficie plana, indicando mínima compactación de los sedimentos del *rift* o erosión significativa, y *rift*s externos, de orientación general NE, cuyo tope se presenta como una superficie cóncava que indica compactación de su relleno (Morales *et al*., 2017b). El relleno volcano-sedimentario de estas estructuras *rift*s excede los 3.000 m de acuerdo a los datos sísmicos (figura 6b).

En la Cuenca Pelotas, la fase *rift* está representada por *hemi-grabens* de pequeñas dimensiones, aislados o conectados lateralmente, controlados por fallas antitéticas de orientación NE. El espesor del relleno volcano-sedimentario oscila entre 200 y 1.000 m de acuerdo a los datos sísmicos (figura 6b).

En secciones sísmicas, las rocas volcánicas de la fase *syn-rift* se corresponden con reflectores continuos, paralelos, de alta amplitud, particularmente bien desarrollados en los *rift*s internos de la Cuenca Punta del Este. Las rocas sedimentarias se corresponden con reflectores de continuidad y amplitud variable. Los *rift*s externos están caracterizados fundamentalmente por reflectores divergentes, continuos y de amplitud variable. Las cuñas de SDR, consideradas por algunos autores como sincrónicas a la fase *syn-rift* (Clerc *et al*., 2015; Geoffroy *et al*., 2015), están caracterizadas por reflectores convexos, sin una clara terminación final, conformando diversas cuñas de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Los registros del *syn-rift* fueron perforados por los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 y en la porción brasileña de la Cuenca Pelotas, en el bajo de Mostardas (Beglinger *et al*., 2012) y en la Cuenca del Colorado (Fryklund y Stevens, 1996; DeVito y Kearns, 2022). En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1, están integrados por rocas volcánicas básicas en la base; los últimos 490 m del pozo Lobo x-1 corresponden a basaltos, cubiertos por intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas continentales (conglomerados, areniscas y limolitas), rocas volcánicas y volcanoclásticas.

Los principales depocentros del *syn-rift* del MCU se mantienen sin perforar, por lo que la edad exacta de la fase se mantiene incierta. Sin embargo, su edad máxima podría asumirse como equivalente a la de los basaltos del *onshore* del Uruguay más antiguos, correspondientes a las formaciones Puerto Gómez y Gaspar en las cuencas Santa Lucía y Norte, respectivamente, con una edad de 165

Ma (De Santa Ana *et al*., 2006; Veroslavsky, 1999). La edad mínima podría ser Aptiano, por correlación con las estructuras *rift*s de Namibia, en el margen africano (Light *et al*., 1993; Jungslager, 1999; Lovecchio *et al*., 2020).

En el sector central del MCU, en el área de corteza fuertemente adelgazada, se observa el desarrollo de un conjunto complejo de estructuras resultado de la superposición de los procesos de extensión asociados a la apertura atlántica y la actuación del STRP (figuras 4b y 6b). En ese sector, las fallas son predominantemente extensionales, alcanzando en algunos casos la discontinuidad de Moho, mientras que el carácter transcurrente se evidencia en estructuras en flor y el desarrollo de geometrías sigmoidales en sísmica que llevaron a Rowlands *et al*. (2016) a definir una cuenca de tipo *pull-apart* de edad Aptiana.

Fase de transición (Barremiano-Aptiano)

La fase de transición se restringe a la Cuenca Punta del Este, en áreas de corteza continental. Tiene una geometría de tipo *sag*, caracterizada por la ausencia de un quiebre plataforma/talud, adelgazándose hacia los altos estructurales que conforman los límites de la cuenca en la región proximal (Altos del Plata y del Polonio) y siendo erosionada hacia el sector distal de la cuenca. Los hombros de los *grabens* son cubiertos por primera vez en la evolución de la cuenca por los depósitos de esta secuencia y la discordancia basal marca el fin de la actividad de las principales fallas del *syn-rift* (figura 5).

Esta secuencia se corresponde con el inicio de la fase de subsidencia termal de la cuenca, habiendo sido depositada inmediatamente después de la fase *syn-rift*. En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 está compuesta por areniscas intercaladas con conglomerados y rocas volcano-sedimentarias en la base. Por correlación con las cuencas del margen africano, particularmente la Cuenca de Orange, donde la fase de transición presenta las mismas características sísmicas (ver, por ejemplo, Light *et al*., 1993; Paton *et al*., 2007), se propone para ella una edad Barremiana-Aptiana.

Fase *post-rift* (Aptiano-Reciente)

La sedimentación *post-rift* del MCU comprende el mayor espesor sedimentario del margen argentino-uruguayo, con más de 7 km de potencia (figura 6c, f y figura 8). Está representada por una cuña sedimentaria resultante de la interacción entre la subsidencia termal y flexural, el aporte sedimentario y los cambios del nivel de base (Morales *et al*., 2017b; Conti *et al*., 2017). La fase *post-rift* en el MCU puede dividirse en dos megasecuencias, cretácica y cenozoica, en función de sus características distintivas.

Fase post-rift *cretácica*

El inicio de la fase de deriva ocurre sobre un sustrato dominantemente volcánico (SDR y corteza oceánica). Se corresponde con un cortejo de sistemas transgresivo caracterizado por *onlaps* marinos en la base y un patrón de apilamiento estratigráfico retrogradante. Se correlaciona con la secuencia sísmica mapeada por Grassmann *et al*. (2011) y Kress *et al*. (2021), cuyo tope se corresponde en casi toda su extensión con el horizonte AR2

definido por Hinz *et al*. (1999) en el *offshore* de Argentina y para el cual se propone una edad Aptiana. Esta sedimentación presenta en el MCU su mayor área de desarrollo en el sector central, bajo la influencia del STRP, donde alcanza espesores de más de 1.000 m, de acuerdo al dato sísmico (Marmisolle y Morales, 2022; Novo *et al*., 2023).

El resto de la sedimentación cretácica *post-rift* en la Cuenca Punta del Este está constituido por una megasecuencia de carácter general regresivo, con desarrollo de un quiebre plataforma/talud y caracterizado por un conjunto de clinoformas que indican aporte sedimentario desde el NW (figura 5). Esta megasecuencia presenta dos tipos principales de secuencias. En la base, dominan los cortejos de sistemas de regresión forzada con presencia de clinoformas oblicuas, en las que la trayectoria del quiebre plataforma/talud es predominantemente horizontal a descendente. Hacia el tope, la sedimentación está constituida por secuencias con un desarrollo importante de depósitos plataformales agradacionales y distalmente clinoformas sigmoidales con trayectoria del quiebre plataforma/talud ascendente (Morales *et al*., 2011; Sequeira *et al.*, 2024). En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1, esta megasecuencia cretácica consiste en areniscas medias a gruesas y muy gruesas y conglomerados.

Por su parte, en la Cuenca Pelotas el patrón de apilamiento sedimentario para el cretácico *post-rift* es predominantemente agradacional a retrogradacional (figura 5). Esta arquitectura estratigráfica del *post-rift* en el MCU probablemente haya tenido como control principal el aporte sedimentario, el cual fue muy importante para la Cuenca Punta del Este, mientras que la Cuenca Pelotas representaba un área "hambrienta". Esto posiblemente se deba a la proximidad de la Cuenca Punta del Este con el área de desembocadura de los sistemas fluviales precursores del Río de la Plata. Este sistema habría fluido hacia el *rift* de Punta del Este, desde el Cretácico superior, drenando el área oeste del sur de Brasil y el Uruguay, de manera similar a como lo hace en la actualidad el sistema Paraná-Río de la Plata (Potter, 1997; Morales *et al*., 2017b). Adicionalmente, es probable que la subsidencia termal haya sido mayor en la Cuenca Pelotas, debido a su sustrato preponderantemente volcánico en comparación con la Cuenca Punta del Este, habiendo generado mayor espacio de acomodación.

A partir del Cretácico superior, es evidente la acción de corrientes de contorno, interactuando con corrientes de turbidez para generar complejos sistemas mixtos contorníticos-turbidíticos (Creaser *et al*., 2017; ver capítulo 2.1 de este libro).

Fase post-rift *cenozoica*

El pasaje del Cretácico al Paleógeno en el MCU está representado por una importante discordancia, un cambio en los patrones de apilamiento sedimentario y la migración de las áreas de depocentro hacia la Cuenca Pelotas (figura 5), probablemente como resultado de la disminución del espacio de acomodación en la Cuenca Punta del Este o de la restructuración continental ocurrida como respuesta a la orogénesis andina (Cobbold *et al*., 2007; Morales *et al*., 2017b). En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 este límite está definido con base en los datos publicados por Daners *et al*. (2022) y Daners y Guerstein

(2004), correspondiéndose con un cambio suave en el perfil sónico.

La sedimentación cenozoica en el MCU, con edades comprendidas entre el Paleoceno y el Reciente, se corresponde a una megasecuencia transgresiva con migración de la línea de costa hacia el continente, aunque varias secuencias que la integran presentan dominancia de cortejos sedimentarios regresivos.

La secuencia paleocénica está integrada por un cortejo de sistemas de mar bajo en la base y un cortejo de sistemas transgresivo en el tope. Este último recubre toda la plataforma cretácica, alcanzando incluso la posición de los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 (de hecho, es el primer evento transgresivo que es registrado en los pozos *offshore* del Uruguay), aunque no en las áreas *onshore*. En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 estos depósitos tienen una tendencia granodecreciente y están representados por limolitas y arcillitas grises intercalados con estratos delgados de areniscas finas. Rasgos monticulares identificados localmente en líneas sísmicas, en la base de esta secuencia, han sido interpretados como dunas contorníticas (Soto *et al*., 2019). Esta secuencia constituye un sello regional de importante espesor (Ucha *et al*., 2004; Soto *et al*., 2019; Morales *et al*., 2020), cuya eficiencia es evidente en los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1, en los que se observa una importante disminución de las inclusiones fluidas en las unidades cenozoicas con relación a las mesozoicas (Tavella y Wright, 1996; Soto *et al*., 2015; ver capítulo 3.1 de este libro).

Durante el Eoceno-Oligoceno inferior la sedimentación en el MCU exhibe una arquitectura estratigráfica predominantemente agradante a retrogradante, con el desarrollo expresivo de cortejos de sistemas transgresivos. En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 esta sedimentación comprende arcillitas, limolitas e intercalaciones de areniscas finas, incluyendo varios ciclos de tendencia granodecreciente. Asimismo, esta secuencia comprende extensos campos de dunas barjanoides producto de la actuación de corrientes de contorno, visualizadas en sísmica 3D y 2D por Hernández-Molina *et al*. (2018) y Viera-Honegger *et al*. (2018), respectivamente (ver capítulo 2.1 de este libro).

Los depósitos oligocénicos más representativos y mejor preservados se corresponden con clinoformas en las áreas de plataforma (figura 5) y depósitos gravitacionales en aguas profundas, que incluyen principalmente sistemas turbidíticos (figura 7) y bloques flotantes (Morales *et al*., 2017b; Steventon *et al*., 2019; Velázquez y Morales, 2020). Esta sedimentación es correlacionable con los depósitos de gran escala de tipo abanico (Miller *et al*., 2015), localizados en el talud continental de la Cuenca Pelotas, en su porción brasilera, denominados como Cono de Rio Grande (Martins *et al*., 1972). En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 esta secuencia está integrada por limolitas, limolitas arcillosas y arcillitas con finos estratos de areniscas finas a muy finas. Por su parte, en el pozo Raya x-1 están representados por areniscas, con 24% de porosidad, correspondientes a depósitos turbidíticos (Morales *et al*., 2020) (figura 7). Kirby *et al*. (2021) describen el desarrollo de un extenso complejo contornítico durante el Paleógeno, identificado a lo largo de todo el MCU, paralelo al talud medio e inferior (ver capítulo 2.1 de este libro), donde también la sedimentación paleógena presenta su mayor espesor (figura 6e).

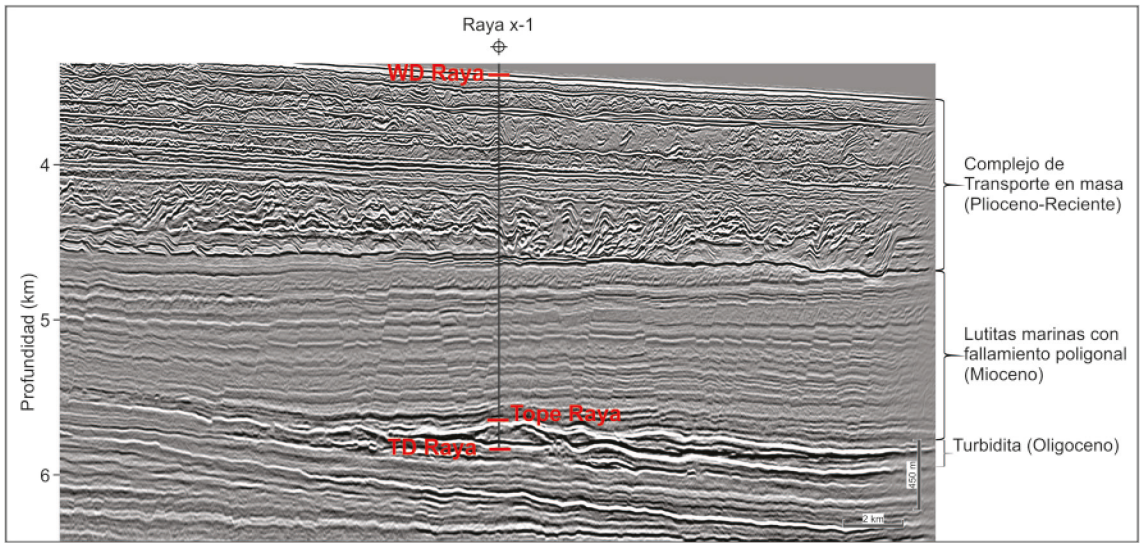


Figura 7: Sección sísmica que muestra la locación y el objetivo exploratorio del pozo Raya x-1 (turbidita oligocénica de 135 m de espesor). Profundidad de agua (WD): 3.404 m. Profundidad total del pozo Raya x-1 (TD): 5.856 m. Ver ubicación del pozo en figuras 1 y 5 (adaptado de ANCAP, 2022b).

La sedimentación miocénica está caracterizada por depósitos transgresivos y la del Mio-Plioceno-Cuaternario esencialmente por progradaciones deltaicas (figura 5). En los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 la sedimentación miocénica presenta una tendencia granodecreciente y está compuesta por limolitas, limolitas arcillosas y finos estratos de areniscas finas. En cambio, la sedimentación del Mio-Plioceno-Cuaternario muestra una tendencia granocreciente y consiste de limolitas y arcillitas en la base, recubiertas por arenas cuaternarias con componentes orgánicos hacia el tope.

Extensos y recurrentes procesos de transporte en masa se sucedieron a lo largo de la evolución neógena del MCU (figuras 5 y 7). Los complejos de transporte en masa (*mass transport complex*, MTC), fácilmente identificables en líneas sísmicas por su relleno transparente y caótico, han sido registrados incluso en la región de la planicie abisal. Estos depósitos podrían responder a varios procesos combinados, promotores de eventos de inestabilidad en depósitos no consolidados susceptibles de generar deslizamientos (Rebesco y Camarlenghi, 2008; Hernández-Molina *et al*., 2016), tales como la ocurrencia de hidratos de gas y la migración de fluidos (Tomasini *et al*., 2011; Gray, 2014), terremotos (Krastel *et al*., 2011) o la actuación de las recientes fases tectónicas Quechua e Inca de la orogénesis andina (Contreras *et al*., 2010). Steventon *et al*. (2019) proponen para el MCU dos modelos potenciales de emplazamiento de MTC: i) un modelo de acoplamiento de cizallamiento, donde uno o varios *debris flows* producen una mayor carga y localización de un esfuerzo cortante en una zona mecánicamente débil que subsecuentemente sufre rotura por fallamiento; y ii) un proceso de carga que desencadena la falla inicial del sedimento, con relleno de

la topografía remanente por *debris flows* no relacionados. Los procesos de transporte en masa continúan ocurriendo en tiempos recientes y en algunos casos pueden estar estrechamente vinculados a la sismicidad que registra el MCU (Henkel *et al*., 2011). Pero no solamente procesos gravitacionales han modelado la evolución Neógena del MCU, sino que los procesos contorníticos, operantes desde el Cretácico superior, se intensificaron en el Cenozoico a raíz de cambios tectónicos-oceanográficos globales (ver capítulo 2.1 de este libro).

El espesor sedimentario del Neógeno en la Cuenca Pelotas es significativo, tanto en los sectores uruguayos como en los brasileros. En el sector uruguayo de la Cuenca Pelotas el espesor estimado, basado en los datos sísmicos, es de 3.000 m (figura 6f). Esta pila sedimentaria podría ser el resultado del espacio de acomodación generado por la subsidencia flexural (Fontana, 1996; Contreras *et al*., 2010), en adición al incremento de la carga sedimentaria de los sistemas de drenaje correspondientes a los ríos de la Plata y Paraná como resultado del levantamiento de las áreas fuentes durante la orogénesis andina (Cobbold *et al.*, 2007; Contreras *et al*., 2010).

Geología del MCU más allá de las 200 millas

Más allá de las 200 M el conocimiento del MCU es muy incipiente. Debido a que las profundidades de lámina de agua que registra ese sector exceden los 4.000 m (figura 1), se ha mantenido vedado para la industria petrolera, restringiéndose los esfuerzos de exploración sísmica a programas oceanográficos a nivel mundial y, más recientemente, a los vinculados a la extensión de la plataforma continental marítima (ver capítulo 1.3 de este libro).

En ese sector del MCU, la sedimentación marina ocurre sobre una corteza oceánica relativamente monótona, de un espesor constante (~8 km), que se presenta únicamente perturbada por la ocurrencia de *grabens* profundos y aparatos volcánicos aislados. La corteza oceánica, aunque monótona, se presenta intensamente fracturada, con fallas que culminan su expresión en el límite Cretácico/Paleógeno, aunque algunas muestran reactivaciones que alcanzan el paquete sedimentario cenozoico (Veroslavsky *et al*. 2017; Dalmas, 2021; Velázquez, 2021).

El trazado del STRP en ese sector del margen es motivo de controversias. Mientras que Veroslavsky *et al.* (2017), Creaser *et al*. (2017) y Hernández-Molina *et al*. (2018) lo representan gráficamente curvándose y adquiriendo una orientación W-E, Dalmas (2021) propone que mantiene la orientación NW de su porción proximal.

Muy cerca de las 350 M se reconocen *grabens*, con una orientación NE, los cuales presentan un relleno ígneo-sedimentario que en algunos casos superan los 3.000 m de espesor. El relleno está constituido en la base por reflectores horizontales, continuos, de alta amplitud y baja frecuencia, interpretados como correspondientes a un relleno esencialmente ígneo, y por encima reflectores continuos a discontinuos, de amplitud y frecuencia variables, interpretados como correspondientes a la sedimentación marina del margen, localmente afectados por filones y diques.

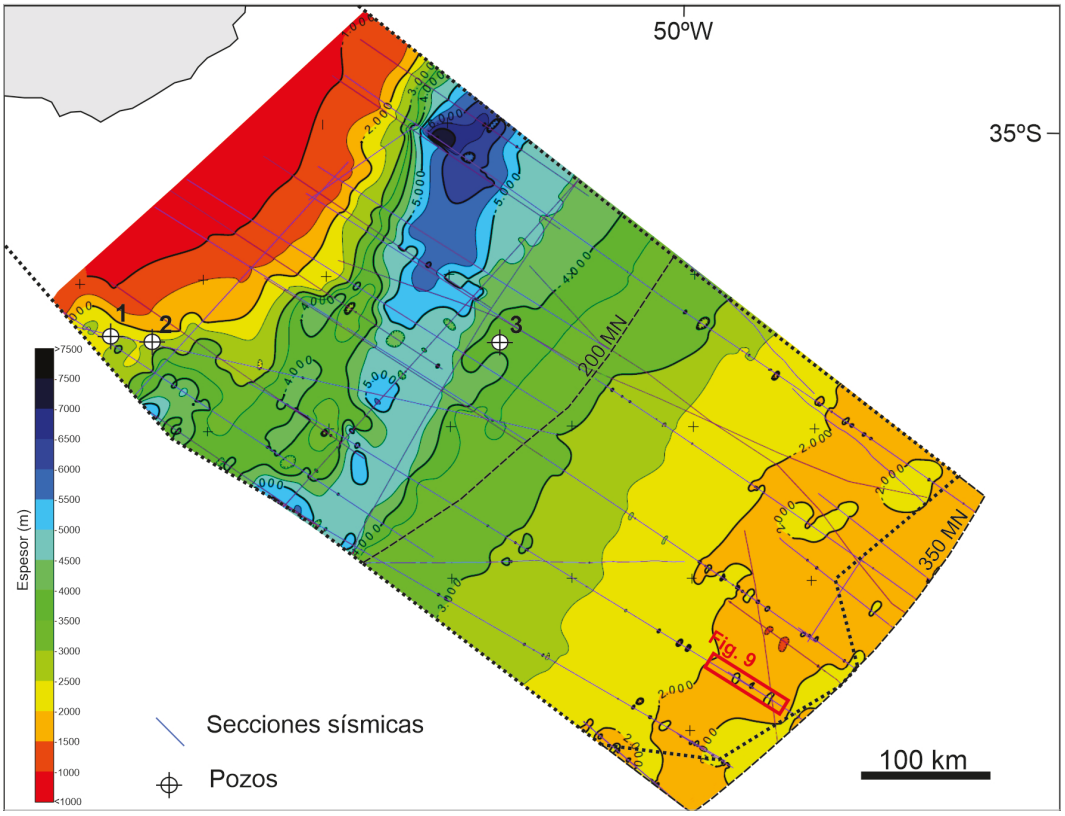


Figura 8: Mapa de isópacas (m) de los depósitos correspondientes a la fase post-rift *en toda la extensión del MCU (adaptado de CLCS, 2016). Pozos exploratorios: 1: Lobo x-1; 2: Gaviotín x-1; y 3: Raya x-1.*

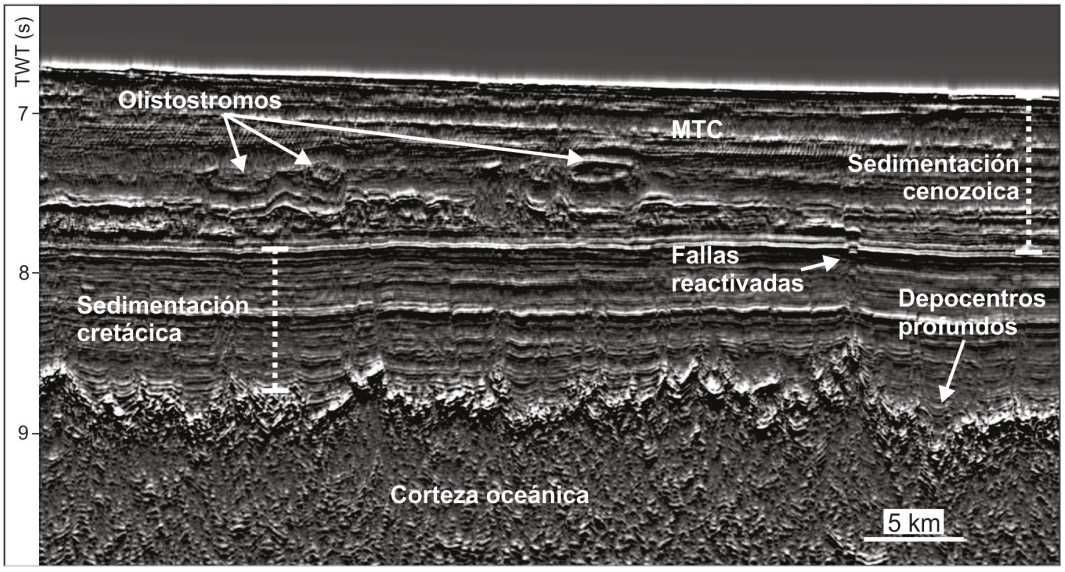


Figura 9: Sección sísmica con atributo de pseudorrelieve, que muestra los principales rasgos geológicos próximos a las 350 M. Ver ubicación en figura 8.

El paquete sedimentario en este sector del MCU presenta un espesor decreciente hacia el mar, desde poco más de 3.500 m (próximo a las 200 M) hasta 2.000 m (figura 8), cerca de las 350 M, exceptuando las áreas de ubicación de los *grabens* profundos, que localmente incrementan ese valor. La sedimentación está representada esencialmente por reflectores continuos, paralelos, horizontales a subhorizontales, entre los que destacan algunos intervalos con rasgos novedosos, tales como bloques flotantes, olistostromos, *slumps* (figura 9; Velázquez y Morales, 2020; Velázquez, 2021) y campos de dunas (Dalmas, 2021), todos restringidos a la sedimentación cenozoica.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Morales, E., B. Conti, M. Soto, G. Veroslavsky, J. Marmisolle, R. Novo y H. de Santa Ana, 2024, Geología del margen continental uruguayo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 107-126, doi: 10.70952/a8827tmuc2-2

Capítulo 2.3
La circulación oceánica en la zona económica exclusiva uruguaya

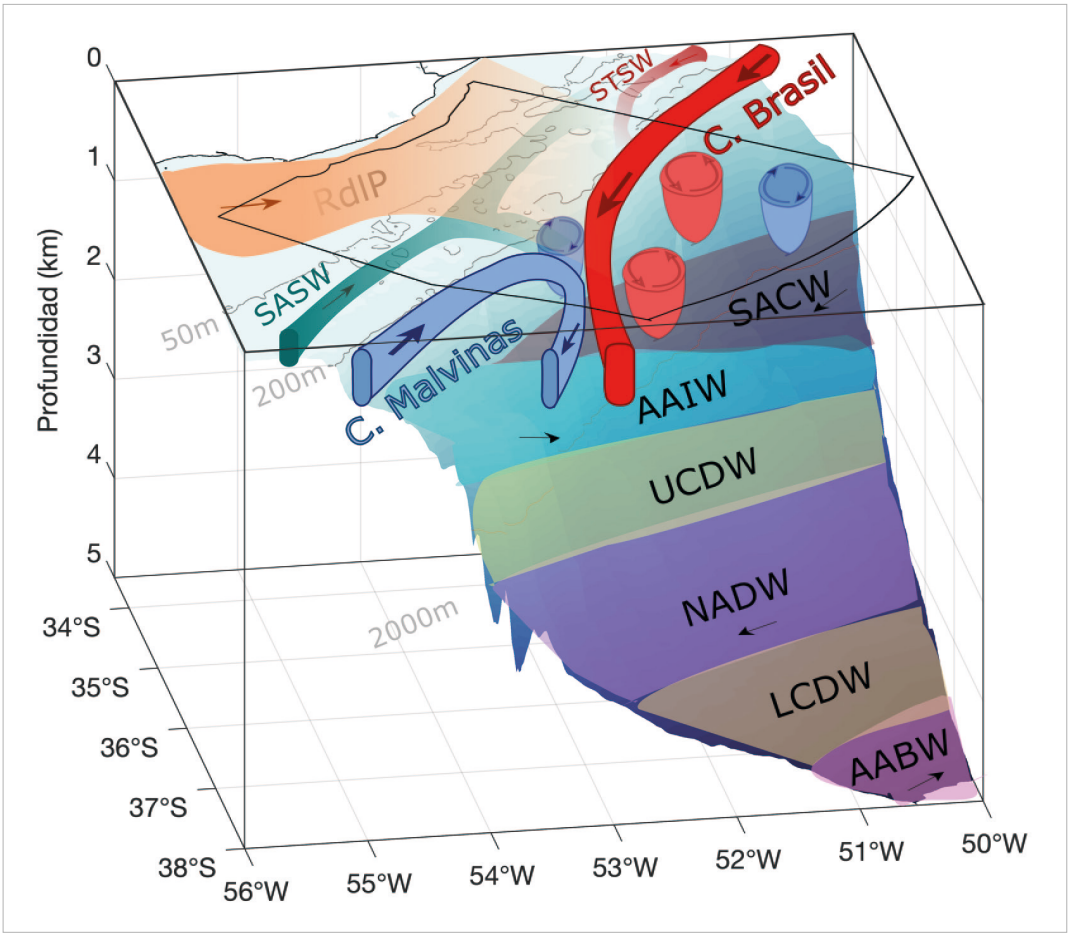
Imagen satelital del océano Atlántico Sur (en color real), Corriente de Malvinas. Tomada del satélite SeaWIFS, el 6 de diciembre de 2004. Fuente: NASA.

Capítulo 2.3
La circulación oceánica en la zona económica exclusiva uruguaya

Gastón Manta,[1,2] Marcelo Barreiro,[2]
Romina Trinchín[2] y Camila De Mello[2]

[1] *Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego*

[2] *Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Física de los Océanos, Facultad de Ciencias, Universidad de la República*



Resumen gráfico 3D de la circulación oceánica en la ZEEU.

La circulación en la zona económica exclusiva uruguaya (ZEEU) presenta varias particularidades que se describen a lo largo del capítulo. A modo de resumen gráfico, la figura debajo muestra algunas de las características de la circulación y las principales masas de agua en la ZEEU. La descarga del Río de la Plata y su pluma es el principal elemento en las aguas costeras e influencia a toda la columna en la plataforma continental interna (profundidades menores a 50 metros), mientras que su influencia disminuye y se vuelve aún más superficial en la plataforma externa, que es dominada por el flujo hacia el norte de las Aguas Subantárticas de Plataforma (SASW). Las SASW se encuentran con Aguas Subtropicales de Plataforma (STSW) al norte de la ZEEU en un frente de densidad compensada. El talud continental está ocupado por la Corriente cálida de Brasil, que se separa del talud al sur de la ZEEU, donde alcanza la Corriente fría de Malvinas, que fluye hacia el norte. Hacia el océano profundo, en superficie, dominan los remolinos (*eddies*) de mesoescala con velocidades que pueden ser de similar magnitud que las corrientes principales. Por debajo de los 200 metros de profundidad, y, por lo tanto, fuera de la plataforma continental, se destacan las masas de agua con orígenes diversos, como la Antártida, fluyendo hacia el norte (AAIW y AABW) y el Atlántico Norte hacia el sur (NADW), a velocidades mucho menores que las corrientes en superficie.

Introducción

La zona económica exclusiva uruguaya (ZEEU) está ubicada en el borde norte de la Cuenca Argentina en el Atlántico Sudoccidental, entre los 34° S y 38° S (figura 1). Esta ZEE es relativamente cuadrada y pequeña, de unas 200 millas marinas de lado, con un área similar de plataforma y océano profundo (este último referido como la zona con profundidades mayores a 200 m), que contiene una dinámica oceanográfica muy compleja altamente variable en el espacio y el tiempo. En el marco del Programa Oceanográfico de Caracterización del Margen Continental Uruguayo se realizó una síntesis de la hidrodinámica de la ZEE, focalizando en la descripción de las condiciones oceánicas climatológicas de salinidad, temperatura y corrientes en superficie, y de su interacción con la atmósfera, a través de datos *in situ*, reanálisis oceánicos y datos satelitales (Barreiro *et al*., 2014). Asimismo, se realizó una síntesis sobre las masas de agua presentes en profundidad. En este capítulo se profundizará sobre algunos de esos aspectos a través del análisis de datos de la campaña de ANCAP realizada durante abril y mayo de 2016 por el buque español de investigación Sarmiento de Gamboa, que, combinado con mediciones satelitales y de plataformas autónomas, permite por primera vez una caracterización completa de las masas de agua en toda la columna y la circulación en la ZEEU, así como relacionar las variables físicas con variables biogeoquímicas, proveyendo de esta manera una descripción integrada sin precedentes de los procesos que ocurren en la región.

Descripción general

La ZEEU incluye intensas corrientes de borde oeste, al menos seis masas de agua de diferentes orígenes y la descarga del Río de la

Plata (RdlP), que drena la segunda cuenca más grande de América del Sur (Framiñán *et al*., 1999; Piola *et al*., 2005). Asimismo, presenta una gran variabilidad estacional, con una amplitud de temperatura superficial del mar (TSM) de 12 °C y vientos cuya dirección predominante se invierte a lo largo del año (Guerrero *et al*., 2010; Barreiro *et al*., 2014; Piola *et al*., 2018). La región tiene un régimen de micromareas (Framiñán *et al*., 1999), de modo que el efecto de los astros (la Luna y el Sol, principalmente) genera variaciones de altura media del nivel del mar del orden de medio metro o menos a lo largo de un día, que son relativamente menores comparadas con las de otras regiones del planeta donde esta variación puede ser en promedio de hasta 12 metros. Por último, la ZEEU se encuentra dentro de una de las regiones de los océanos globales con mayor aumento de TSM en las últimas décadas, debido a la acción conjunta del calentamiento por flujos de calor con la atmósfera y cambios en la circulación (ver, por ejemplo, Risaro *et al*., 2022).

Para describir la circulación en la ZEEU, es importante destacar al menos tres regiones diferenciadas por la batimetría: 1) la *plataforma continental*, con profundidades de hasta 200 m, que es fuertemente influenciada por la acción directa de los vientos y las descargas continentales; 2) el *talud continental* (entre 200-2.500 m aproximadamente), que es por donde circulan corrientes intensas denominadas corrientes de borde oeste, donde la gran pendiente del fondo marino obliga a las corrientes a seguir las isóbatas; y, 3) por último, se encuentra lo que aquí llamaremos el *océano profundo* (profundidades mayores a 2.500 m), región en la cual la circulación suele estar dominada por los remolinos de mesoescala. A continuación, detallamos cada una de las regiones.

La circulación en plataforma de la ZEEU está dominada por un flujo hacia el norte de Aguas Subantárticas de Plataforma (SASW) derivadas de una rama de la Corriente de Malvinas (CM) (Matano *et al*., 2010; Artana *et al*., 2019). Este flujo hacia el norte se extiende hasta cerca de los 32° S, donde se encuentra con las Aguas Subtropicales de Plataforma (STSW) formando el Frente Subtropical de Plataforma, el cual se caracteriza por gradientes de salinidad y temperatura que mantienen la densidad a través del frente (Piola *et al*., 2000). Este sistema frontal se extiende sobre el talud hacia el océano profundo hasta cerca de los 39° S en la Confluencia Brasil-Malvinas (Gordon, 1989).

Una característica distinguible de la circulación en plataforma es la influencia de la descarga del estuario RdlP, que, con un caudal medio de unos 25.000 m^3s^{-1}, diluye las aguas de plataforma y aporta nutrientes (Piola *et al*., 2000). Su pluma, asociada a salinidades inferiores a 33,6 g kg^{-1}, se ha observado extendiéndose por toda la plataforma uruguaya y es capaz de alcanzar el océano profundo (ver, por ejemplo, Guerrero *et al*., 2014). El volumen de descarga del estuario presenta variabilidad a distintas escalas de tiempo. Muestra baja estacionalidad, registrando los valores máximos sobre otoño-invierno (Guerrero *et al*., 1997; Nagy *et al*., 2002; Piola *et al*., 2005; Guerrero *et al*., 2010) y marcada variabilidad interanual asociada con el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), de forma tal que la descarga aumenta durante la fase cálida debido a una mayor (precipitación sobre la cuenca del RdlP y disminuye durante

la fase fría debido a una menor precipitación sobre ella (Barreiro, 2010). Por otro lado, principalmente en los meses cálidos, sobre la costa uruguaya ocurren eventos de surgencia costera (Simionato *et al*., 2010; Trinchín *et al*., 2019; De Mello *et al*., 2022a), a los que se ha sugerido un rol ecológico (De Mello *et al*., 2022b).

Sobre el talud continental, los 500-1.000 m más superficiales de la ZEEU están ocupados principalmente por la Corriente de Brasil (CB), cálida y salina, que es la corriente de borde oeste asociada al giro subtropical (Gordon, 1989). En su camino hacia el sur la CB ingresa a la ZEEU y cerca de los 36,5° S se desplaza mar adentro dando lugar a remolinos (también llamados *eddies*) de mesoescala, que tienen un diámetro del orden de 50-100 km. La Corriente fría de Malvinas (CM), una rama derivada de la Corriente Circumpolar Antártica, fluye hacia el norte sobre el talud en un flujo más estable, con menos meandros y menor estacionalidad que la Corriente de Brasil. Estas corrientes de contorno oeste se encuentran sobre los 39° S y generan una confluencia muy energética con desprendimiento de gran cantidad de *eddies* de mesoescala (Gordon, 1989). En esta latitud, una rama de la CM fluye hacia el norte sobre la plataforma pudiendo llegar hasta la ZEEU (figura 1a).

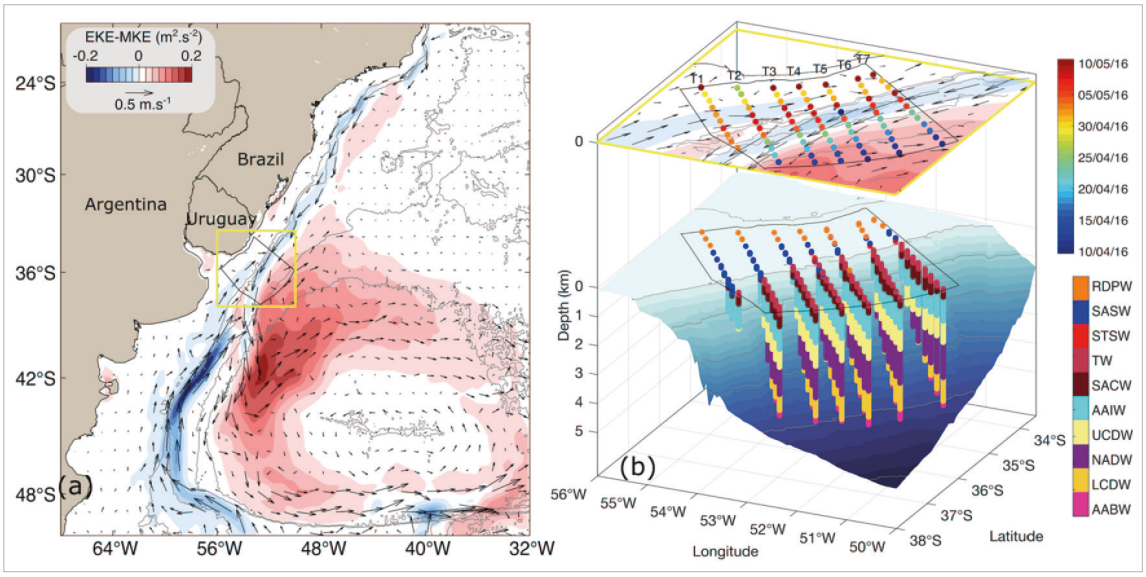


Figura 1. a) Circulación superficial media en el océano Atlántico Sudoccidental. En sombras: energía cinética de remolino media (EKE) menos energía cinética media (MKE). Las corrientes geostróficas superficiales medias se muestran como flechas negras. El polígono negro delimita la ZEEU y las líneas grises muestran las isóbatas de 200 m y cada 1.000 m en ambos paneles. El cuadrado amarillo indica la región que se muestra en b. b) Detalle 3D de la ZEEU. El panel superior muestra los mismos campos que en a), superpuestos con la ubicación de las estaciones de CTD del buque de investigación Sarmiento de Gamboa, así como los transectos (T1 a T7). Los colores representan las fechas en que se realizaron los perfiles. A continuación, la batimetría sombreada y las masas de agua calculadas a partir de los perfiles CTD se muestran en colores. Los acrónimos de las masas de agua se detallan en la tabla 1. Adaptado de Manta et al. *(2022).*

Es importante destacar que las corrientes mostradas en la figura 1a son el promedio durante varios años y que las parcelas de agua no describen una trayectoria continua como parecería sugerir esa figura. La realidad se observa mejor en la figura 2, donde se muestra la trayectoria a lo largo de dos años de una boya derivante lanzada el 18 de noviembre de 2009 frente a las costas de Brasil. Claramente, la boya no siguió un movimiento regular como el de la figura 1, sino que su trayectoria está caracterizada por una multiplicidad de bucles de diferente tamaño, mostrando la naturaleza turbulenta de la circulación oceánica superficial. En particular, la boya quedó dando vueltas en la ZEEU durante un período largo de tiempo, indicando la presencia de remolinos oceánicos de diferentes escalas espaciales.

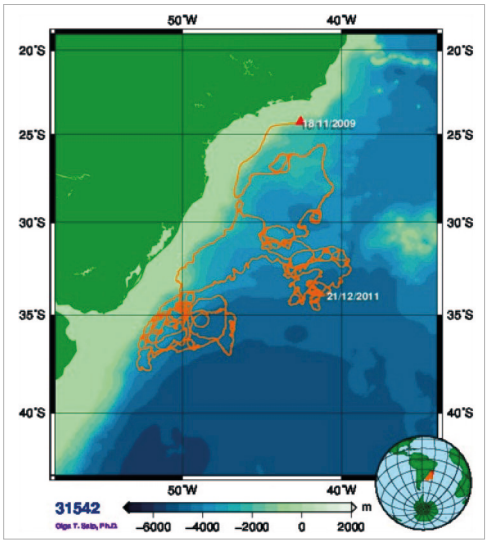


Figura 2. Trayectoria de boya derivante lanzada el 18 de noviembre de 2009 por un lapso de dos años (PNBOIA-Brasil, http://www.goosbrasil.org/pnboia/dados/).

Por debajo de los 200 m de profundidad, el océano profundo se organiza en seis masas de agua de orígenes muy distantes. Desde menor a mayor profundidad estas son: Agua Central del Atlántico Sur (SACW), Agua Intermedia Antártica (AAIW), Agua Circumpolar Profunda Superior (UCDW), Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW), Agua Circumpolar Profunda Inferior (LCDW) y Agua de Fondo Antártico (AABW) (figura 1b). Más abajo daremos una descripción más detallada de estas masas de agua. Es interesante destacar la presencia de otra corriente de contorno oeste en nuestra región, en este caso en profundidad, formada por NADW que se hunde en los mares de Groenlandia y Labrador y circula a lo largo del talud hasta Argentina. Esta corriente, si bien no alcanza velocidades intensas como si lo pueden hacer las superficiales, transporta un volumen muy importante de agua hacia el sur entre 2.000 y 3.500 m de profundidad aproximadamente.

Datos y métodos

Las características descritas determinan que zonas como la ZEEU, que presentan una alta variabilidad espacio-temporal, deban ser monitoreadas continuamente para entender los procesos que allí ocurren, detectar los efectos del cambio climático y los impactos derivados del desarrollo de actividades socioeconómicas en los ecosistemas marinos (Soreide *et al.*, 2001; Merchant *et al.*, 2019) y, de esta manera, diseñar medidas de conservación y gestión del medio marino.

Hoy día, por medio del avance tecnológico y el esfuerzo de observación, las mediciones del océano han crecido exponencialmente en lo que se ha llamado un “tsunami de datos”

en oceanografía física (Brett *et al*., 2020). Existen tres grandes aproximaciones para comprender la dinámica oceánica: mediciones *in situ*, mediciones remotas (satelitales) y modelos numéricos, todas ellas complementarias. En nuestro país, se han realizado mediciones *in situ,* pero su cobertura estuvo siempre muy asociada a la evaluación pesquera, lo cual deja enormes áreas sin muestrear. Además, históricamente no ha habido ningún barco de investigación oceanográfica nacional capaz de hacer perfiles de conductividad, temperatura y profundidad (CTD) en toda la columna en el océano abierto, es decir, alcanzando profundidades de más de 300 m. Por otro lado, en los últimos años se ha usado información satelital, principalmente de temperatura y altura del nivel del mar (corrientes geostróficas), que tiene mayor resolución espacial y temporal que las mediciones directas, pero estas se limitan a la superficie del océano. Esta falta de información en la columna de agua se puede suplir parcialmente con modelos numéricos de circulación oceánica regional, que permiten describir los procesos oceánicos y su evolución. Sin embargo, estos modelos se encuentran limitados por el costo computacional, así como por la necesidad de validar siempre dichas salidas con observaciones. Asimismo, los datos provenientes de boyas Argo (producto del esfuerzo conjunto de diversos países) constituyen una importante fuente de información para grandes profundidades, pero estas se limitan a regiones de océano profundo y, en particular, el océano Atlántico Sur sigue siendo de las regiones de océano menos monitoreadas a escala global. De esta forma, el monitoreo de las zonas económicas exclusivas queda reducido al esfuerzo de cada país (Trinchín *et al*., 2020).

En este sentido, las campañas oceanográficas realizadas en las jurisdicciones nacionales y, en particular, en la ZEEU constituyen un insumo clave de información para comprender la dinámica oceánica en aguas uruguayas. Como mencionamos, en este capítulo utilizaremos principalmente datos de una campaña realizada por el buque español de investigación Sarmiento de Gamboa. En dicha campaña, financiada por ANCAP para el estudio de base previo a las prospecciones de hidrocarburos, se realizaron 82 estaciones CTD completas en la ZEEU, lo cual la convierte en una campaña oceanográfica sin precedentes para la región (figura 1b). La campaña muestra el estado de la ZEEU para un momento particular, lo cual, dada la gran variabilidad de la región, no es representativo de un estado promedio, principalmente en superficie. No obstante, permite una caracterización completa de las masas de agua en toda la columna y la circulación en la ZEEU. Asimismo, estudiaremos la variabilidad de la mesoescala y las tendencias en superficie, complementando con otras fuentes de información.

Campaña oceanográfica de otoño 2016 en la ZEEU

Se utilizaron los datos hidrográficos de la expedición española en el buque de investigación Sarmiento de Gamboa, realizada entre el 9 de abril y el 10 de mayo de 2016. El muestreo consistió en 7 transectos transversales (T1 a T7 en la figura 1b) separados por aproximadamente 50 km entre sí y, a su vez, estaciones dentro de cada transecto separadas por 25 km, realizadas a lo largo de la plataforma desde las profundidades del océano hacia la costa. De esta manera, se creó una

cuadrícula casi regular que cubre el polígono de la ZEEU. En total, se realizaron 82 muestreos de toda la columna (entre 18 y 4.147 m), utilizando una roseta de muestreador de agua de carrusel 32 de Sea Bird Electronics (SBE) equipada con un sensor de CTD SBE 911plus, un sensor de oxígeno SBE43 y un fluorómetro Wet Labs ECO-AFL/FL. El CTD fue operado con sensores duales de temperatura y conductividad. Se tomaron muestras de agua para la determinación de nutrientes (N=145) y clorofila (N=96) en todos los transectos impares a 5 m de profundidad y a diferentes profundidades dependiendo de la profundidad máxima de la estación. Para clorofila se tomaron 2 muestras más en cada estación dentro de la zona eufótica y para nutrientes en el fondo de cada estación y a 100, 500, 1.000 y 1.500 m, cuando la profundidad de la estación lo permitía. En las estaciones donde la columna de agua era menor a 100 m se tomó una muestra de profundidad media entre la superficie y el fondo. Además, se tomaron medidas de temperatura y salinidad mientras el buque estaba en movimiento con un termosalinógrafo Sea-Bird SEACAT SBE 21 y de fluorescencia con un sistema Turner 10 cada minuto. También se midió viento, la temperatura del aire y la humedad a unos 10 m sobre la superficie con una estación meteorológica automática Geonica Meteodata. Finalmente, un perfilador acústico Doppler montado en el casco (ADCP) Teledyne RD Ocean Surveyor a una frecuencia de 150kHz registró corrientes oceánicas de aproximadamente 10 a 400 m de profundidad.

La turbidez y el pH de las muestras de agua se determinaron a bordo con un multiparámetro Senso Direct 150 Lovibond. La clorofila *in situ* también se determinó a bordo mediante extracción con acetona y lectura del fluorómetro siguiendo a Yentsch y Menzel (1963). Las muestras de agua para nutrientes se fijaron a bordo y se midieron en el Instituto de Ciencias del Mar del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (ICM-CSIC), de Barcelona, España. La concentración de nitrógeno total y fósforo, nitratos, nitritos y fosfatos se determinó utilizando un Auto Analyzer Seal Analytical MT19 con la técnica colorimétrica y un sistema automatizado por análisis de flujo continuo aplicando la metodología de Grasshoff *et al*. (2009). La concentración de hierro se midió por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente siguiendo la normativa española UNE-EN ISO17294-2:2005. La técnica está dirigida a la detección de contaminación y la concentración mínima detectable de hierro es de 2 µg L-1 (35,81 nM). Esa es una alta concentración para las profundidades del océano, lo que lleva a que la mayoría de las muestras tengan una concentración por debajo del límite de detección. Por ello, se utilizó únicamente hierro detectable y no detectable, salvo el caso de la muestra tomada en el Río de la Plata. Las masas de agua en el océano profundo se calcularon usando superficies de densidad neutra (γn) siguiendo a Valla *et al*. (2018), mientras que para la plataforma se usaron las propiedades termohalinas siguiendo a Berden *et al*. (2020) (tabla 1).

Además de los datos hidrográficos del barco, utilizamos los siguientes conjuntos de datos satelitales con resolución diaria: i) TSM con una resolución horizontal de 0,25° para el período 1988-2020 (OI TSM V2; Reynolds *et al*., 2007); ii) producto L4 de concentración de clorofila superficial de Marine Copernicus (CMEMS) con una resolución de

4 km (Garnesson *et al*., 2019) para el período de la campaña; y iii) Ssalto/Duacs (Duacs/AVISO+, 2015) topografía dinámica absoluta (ADT) derivada del altímetro multimisión y campos de velocidad geostrófica de superficie derivados en una cuadrícula horizontal de 0,25° para el período 1992-2019 distribuidos por CMEMS (Capet *et al*., 2014; Pujol *et al*., 2016). Este último conjunto de datos también se utiliza como entrada para el algoritmo de detección automática Tracked Ocean Eddies (TOEddies) desarrollado por Laxenaire *et al*. (2018), que se utilizó aquí para identificar remolinos de mesoescala. La base de datos TOEddies también proporciona perfiles de la columna de agua de las boyas derivantes Argo (Argo, 2020), colocalizados dentro o fuera de los remolinos de mesoescala, que, a su vez, están categorizados como remolinos anticiclónicos (AE) o remolinos ciclónicos (CE) (Laxenaire *et al*., 2019, 2020).

Condiciones oceanográficas durante la campaña de otoño 2016

Condiciones en la superficie

Durante el período de la campaña, la región estuvo sujeta a condiciones anómalas de viento y descarga. Los vientos prevalecieron del O-SO con mayor frecuencia e intensidad que la climatología. Las mediciones del barco registraron una velocidad media de 8,5 m s^{-1} con 11 días por encima de 10 m s^{-1} principalmente durante el mes de abril y una máxima de 23,5 m s^{-1}. La campaña se interrumpió entre el 26 y el 29 de abril por intensos vientos. Además, el RdlP presentó descargas extremas. En particular, las descargas fueron de 52.057 m^3 s^{-1} durante el 9 de mayo, más del doble de la media climatológica de 25.000 m^3 s^{-1}, correspondiente al percentil 97 en una serie de tiempo diaria de 32 años. Este período con descargas extremas se asoció con el evento de El Niño denominado Godzilla, que alcanzó su punto máximo durante el verano anterior (Schiermeier, 2015), lo cual es consistente con la literatura sobre los efectos del ENOS en las lluvias de nuestra región (ver, por ejemplo, Grimm *et al*., 2000; Barreiro, 2010). Esto también se reflejó en el valor anómalo de salinidad de 0 g kg-1 registrado en la estación 1 el 9 de mayo dentro del frente de turbidez del RdlP, que se encontraba a más de 100 km de su posición climatológica frente a Montevideo (Nagy *et al*., 2002; Maciel *et al*., 2021; figuras 2a y 2c). En la estación 1, la turbidez y la concentración de hierro fueron al menos un orden de magnitud más altas que en las otras estaciones (figura 3c). El nitrato y el fosfato también alcanzaron máximos en esta estación, 23,42 y 2,77 µmol kg^{-1}, respectivamente y, aunque no se midieron los silicatos, se ha informado ampliamente sobre una relación lineal negativa significativa con la salinidad en el Río de la Plata (ver, por ejemplo, Calliari *et al*., 2005; Berden *et al*., 2020).

La temperatura y la salinidad fueron extremadamente variables tanto temporal como espacialmente durante el período de la campaña. Las aguas en la plataforma estuvieron más frías y diluidas que en el océano profundo, como era esperable. Los valores extremos se asociaron con la variabilidad de las corrientes de borde oeste, con valores fríos (10 °C) al sur de la ZEEU sobre el talud asociados con la CM y valores más cálidos

de 25 °C asociados con la actividad de mesoescala de la CB sobre la isóbata de 3.000 m (figura 3d). El promedio de TSM durante la campaña muestra un enfriamiento medio de la plataforma de hasta 6 °C entre el primer y el último día de la campaña (no mostrado). Los intensos vientos fríos del suroeste provocaron una gran pérdida de calor del océano. Se midieron temperaturas del aire hasta 8 °C más frías que el mar sobre la CB y 5 °C en algunas partes de la plataforma (figura 3b). La posición 35,3° S 55° W cerca de la estación 1 fue cruzada 3 veces el 9 y el 26 de abril y el 10 de mayo, y las medidas del termosalinógrafo fueron 26,1, 26,7 y 8,5 g kg^{-1}, y 21,0, 18,9 y 14,6 °C, respectivamente, demostrando la alta variabilidad que es posible observar en escala de días en las condiciones hidrográficas de la plataforma continental respectivamente (figura 3a).

Las mediciones de clorofila superficial fueron máximas en las estaciones más cercanas a la costa, aunque no alcanzaron su punto máximo en la estación 1 en las aguas del RdlP, donde los nutrientes fueron máximos, sino inmediatamente después del frente de turbidez, debido al ya conocido efecto de atenuación de la luz en aguas turbias (ver, por ejemplo, Kruk *et al*., 2014; Martínez y Ortega, 2015). También se observó una alta fluorescencia superficial y clorofila en las estaciones 7 y 9, más al sur en la plataforma exterior y el talud, en la región de la Terraza de Edwin bajo la influencia de la retroflexión de la CM. Estas estaciones mostraron las aguas superficiales más frías, alta concentración de nutrientes (figuras 3d, 3e y 3f) y la fluorescencia integrada más alta en el perfil CTD, alcanzando 3,15 mg m^{-3} en los 50 m superiores (figura 4d). Las estaciones en aguas profundas mostraron menos clorofila en la superficie que las estaciones en la plataforma, si bien estas presentaron máximos de clorofila profunda de alrededor de 0,5 mg m^{-3} a cerca de 50 m de profundidad, que no fueron capturados ni por el satélite ni por el termosalinógrafo.

Las corrientes superficiales medidas mostraron dos regímenes claramente diferentes entre la plataforma y el océano profundo, en concordancia con las observaciones geostróficas satelitales. En la plataforma prevalecieron las corrientes superficiales hacia el noreste, mientras que en el océano abierto se observaron corrientes más intensas y con diferentes direcciones, lo cual sugiere la presencia de remolinos de mesoescala y la retroflexión de las corrientes medias. La CB se observó en la mitad norte de la ZEEU sobre la isóbata de 2.000 m, con temperatura y salinidad superiores a 23 °C y 36 g kg^{-1}, respectivamente, y muy baja concentración de clorofila y nutrientes. Se observó una retroflexión de la CB en el NE de la ZEEU entre las isóbatas de 3.000 y 4.000 m, asociada a un remolino anticiclónico (AE, por su sigla en inglés) (A1 en las figuras 3d y 7a). Otro remolino anticiclónico que se separó de la CB en el borde sur de la ZEEU unas semanas antes del crucero (A2 en la figura 7d) limita la extensión hacia el sur de la CB. El A2 en el sureste y la retroflexión CB en el noreste registraron las corrientes más intensas, con velocidades superiores a 1 m s^{-1}, alcanzando profundidades de hasta 300 dbar (figuras 3d, 4e y 4f). Un remolino ciclónico (CE, por su sigla en inglés, denominado C1 en las figuras 6a y 6d) se colocó entre los dos anticiclones (A1 y A2) la mayor parte del período de la campaña. C1 ingresó a la ZEEU desde

el este y ocupó la posición de A2 durante la segunda mitad del período de la campaña, complicando la interpretación de las corrientes medidas en las figuras 3d, 4e y 4f.

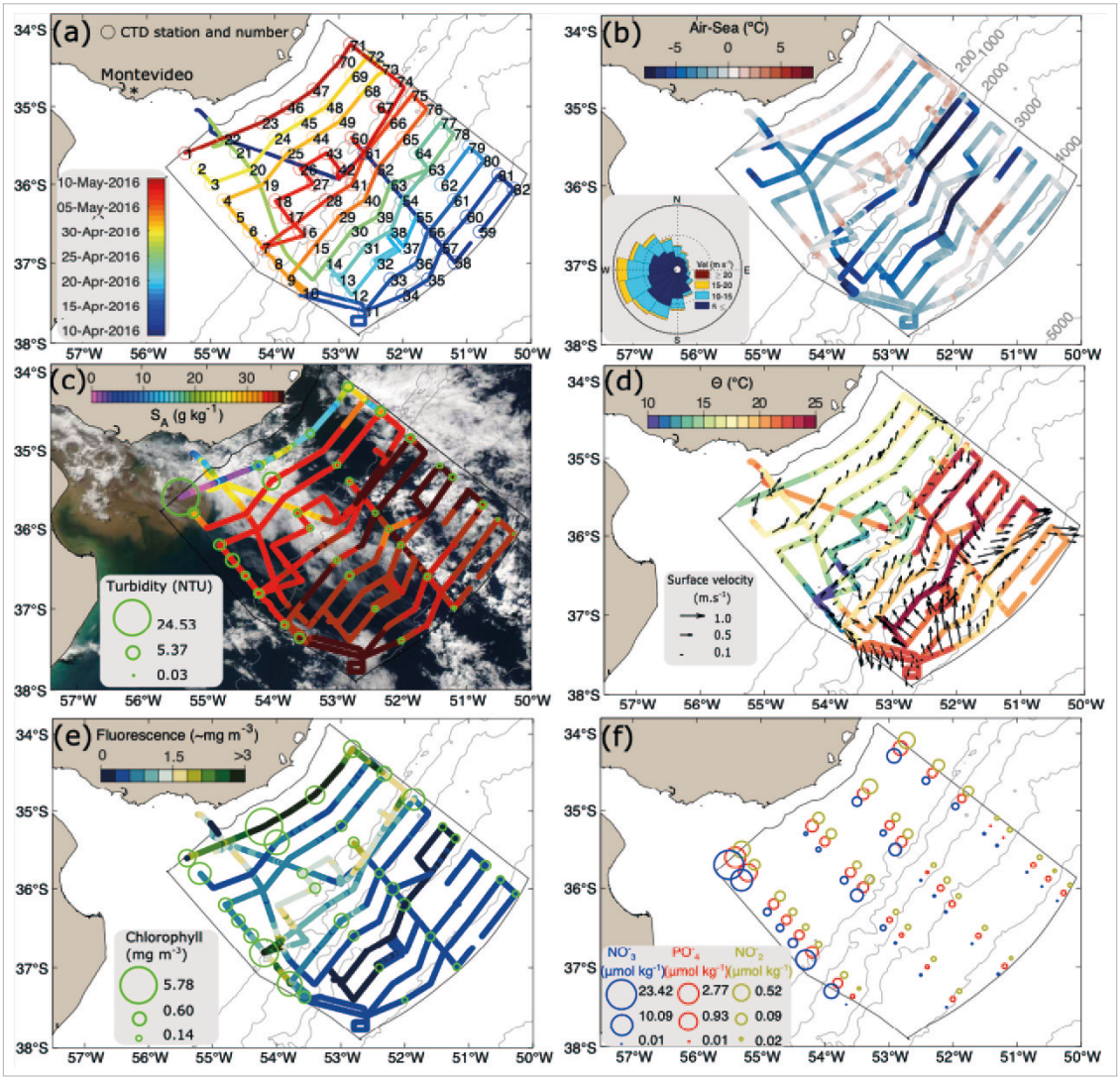


Figura 3. Mediciones cerca de la superficie durante abril-mayo de 2016. a) Ubicaciones de la ruta y la estación del crucero. b) Diferencia entre las medidas de temperatura del aire y del mar (°C). También se muestra la rosa de los vientos de las mediciones del barco (m s^{-1}) durante el período de crucero. c) El gráfico de dispersión muestra la salinidad absoluta (SA, g kg^{-1}) del termosalinógrafo. El tamaño del anillo verde representa las medidas específicas de turbidez (NTU). La imagen de fondo muestra la imagen de Modis Aqua del 9 de mayo, donde tuvo lugar la estación interior. d) Temperatura del mar de la EDT (°C). Las flechas negras muestran el promedio de las corrientes (m s^{-1}) en los 100 m superiores. e) Medidas de fluorescencia del termosalinógrafo. El tamaño del anillo representa las medidas de clorofila en el laboratorio (mg m^{-3}). f) Concentración de nitratos (NO_3-, µmol kg^{-1}), fosfatos (PO_4-, µmol kg^{-1}) y nitritos (NO_2-, µmol kg^{-1}) en cada estación específica a 5 m de profundidad. Adaptado de Manta et al. *(2022).*

Masas de agua

*Tabla 1. Características de las masas de agua en la ZEEU. Las columnas muestran: el nombre de la masa de agua, el porcentaje de la ZEEU ocupado por estas y los rangos de densidad neutra (γn) seleccionados para definir la masa de agua. Las otras columnas muestran las características medias de la masa de agua de: presión (dbar), temperatura conservativa (Θ), salinidad absoluta (SA), salinidad práctica (SP), concentración de oxígeno (O_2), pH, nitrógeno total (TN), nitrato (NO_3), fósforo total (PT) y concentración de hierro (Fe). Las siglas corresponden a Agua del Río de la Plata (RDPW), Agua Subantártica de Plataforma (SASW), Agua Tropical (TW), Agua Central del Atlántico Sur (SACW), Agua Intermedia Antártica (AAIW), Agua Profunda Circumpolar Superior (UCDW), Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW), Agua Circumpolar Profunda Inferior (LCDW) y Agua del Fondo Antártico (AABW). *STSW se restringió a profundidades <200 m. **El límite de detección es (<2 μg L^{-1}).*

Masa de agua	(%) ocupado	γn (kg m^{-3})	Pres. (dbar)	Θ (°C)	S_A (g kg^{-1})	S_P (psu)	O_2 (μmol kg^{-1})	pH	TN (μmol kg^{-1})	NO_{3^-} (μmol kg^{-1})	TP (μmol kg^{-1})	PO_{4^-} (μmol kg^{-1})	Fe** (μg L^{-1})
RDPW	0,11	S_p<33.5	19	17,76	30,69	30,55	203	7,95	15,97	4,42	1,48	1,11	29,6
SASW	0,68	S_p 33.5-34	82	10,45	33,87	33,71	227	7,96	15,65	6,84	1,15	0,87	Detectable
STSW	0,08	S_p>34*	83	15,48	34,97	34,80	208	-	-	-	-		-
TW	1,89	<26,35	92	19,09	36,08	35,91	212	8,12	6,49	1,19	0,64	0,21	Detectable
SACW	3,82	26,35-27,10	328	10,93	35,10	34,94	216	7,95	22,49	16,06	1,54	1,13	No detectable
AAIW	9,75	27,10-27,60	812	4,05	34,42	34,25	239	7,83	37,96	30,20	2,38	2,02	Detectable
UCDW	7,44	27,60-27,90	1.543	2,98	34,78	34,61	188	7,79	40,91	32,69	2,54	2,23	No detectable
NADW	9,17	27,90-28,10	2.400	2,60	35,02	34,85	220	7,91	32,13	28,60	2,17	1,85	Detectable
LCDW	3,83	28,10-28,27	3.303	0,87	34,90	34,73	209	7,81	39,48	32,93	2,44	2,21	No detectable
AABW	0,69	>28.27	3.803	-0,06	34,85	34,67	217	7,83	42,42	34,69	2,86	2,45	Detectable

Se identificaron tres masas de agua diferentes en la plataforma y siete en el océano profundo a partir de la definición utilizada (figura 1 y tabla 1). Sus características se describen en los siguientes párrafos en orden decreciente de volumen ocupado en la ZEEU.

AAIW y NADW son las principales masas de agua en la ZEEU, ocupando en este caso un 9,75% y un 9,17% del conjunto de datos (utilizado como sinónimo de volumen asumiendo una cuadrícula de muestreo regular perfecta), respectivamente. AAIW y NADW tienen orígenes muy diferentes y fluyen hacia el norte y hacia el sur, respectivamente (ver, por ejemplo, Talley, 2003). AAIW es una masa de agua rica en nutrientes, de baja salinidad (<34,5 g kg^{-1}), recientemente ventilada (239 μmol kg^{-1}). AAIW se encuentra debajo de la SACW a una profundidad media de 812 dbar en la mayor parte de la ZEEU. Sin embargo, en el borde suroeste del talud SACW

no está presente y AAIW se encuentra cerca de la zona eufótica con la base cerca de 280 dbar. Esta región mostró una productividad muy alta durante la campaña, que disminuyó drásticamente junto con un gran cambio en las propiedades termohalinas en la transición de AAIW a SACW entre las estaciones 9 y 10 (figuras 1b, 3e y 4d). Esta región también mostró una intensa mezcla a lo largo de la isopicna de σ= 27 kg m^{-3} entre las dos masas de agua con propiedades termohalinas contrastantes (figura 5a).

NADW, la segunda masa de agua en importancia en la ZEEU, se encuentra entre 1.820 y 3.225 dbar (27,90 kg m^{-3} < γn < 28,10 kg m^{-3}). Caracterizada por una salinidad >34,9 g kg^{-1}, la NADW es transportada hacia el sur por la Corriente Profunda de borde oeste desde su región de formación en el Mar de Labrador y el sistema de Cordilleras de Groenlandia-Escocia (Reid *et al*., 1977). El núcleo de la NADW en la ZEEU, con una salinidad >35 g kg^{-1}, puede identificarse cerca de 2.200 dbar (figura 4a; Stramma y England, 1999).

Después de AAIW y NADW, UCDW y LCDW son las masas de agua que ocupan más volumen en la ZEEU, con un 7,44% y un 3,83%, respectivamente. Estas masas de agua fluyen por encima y por debajo de la NADW, respectivamente, y son las más ácidas (pH 7,79 y 7,81). UCDW se caracteriza por el mínimo absoluto en la concentración de oxígeno de 189 µmol kg^{-1}. Entre SACW, UCDW y LCDW presentaron concentraciones de hierro por debajo del umbral de detección (<2 µg L^{-1}). UCDW ingresa al Atlántico Sudoccidental principalmente a través del Pasaje de Drake (Callahan, 1972) y la Corriente del Atlántico Sur (Stramma y England, 1999), mientras que las propiedades de LCDW pueden rastrearse como una mezcla entre AABW y NADW (Reid, 1989). De hecho, LCDW comparte la mayor parte de su distribución en niveles de presión (entre 2.659 y 4.024 dbar) con NADW y AABW, aunque LCDW es la única masa de agua entre 3.225 y 3.385 dbar (figura 5b). En el margen continental del Atlántico suroeste, LCDW fluye hacia el norte sincrónicamente con AABW (Manta *et al*., 2021).

SACW ocupa un 3,82% de la ZEEU. Se forma por subducción en el giro subtropical y se extiende desde 90 hasta 710 dbar (γn = 27,10 kg m^{-3}), que incluye la capa de termoclina permanente (Gordon, 1981). Por lo tanto, SACW presenta un amplio rango de temperatura y salinidad (4.86-16.67 °C y 34,16-36,10 g kg^{-1}) y una importante estratificación. Finalmente, la masa de agua más densa y fría es AABW (γn > 28,27 kg m^{-3}) y se extiende desde 3.385 dbar hasta el fondo marino. Esta masa de agua se forma en los alrededores de la Antártida, principalmente en el Mar de Weddell (Orsi *et al*., 1999). Es altamente oxigenada (217 µmol kg^{-1}) y se caracteriza por Θ < 0 °C (Georgi, 1981; Valla *et al*., 2019; tabla 1 y figura 4). Aunque ocupa un 0,69% del volumen de la ZEEU, aumenta exponencialmente hacia las profundidades del océano a medida que aumenta la profundidad.

Cuatro masas de agua principales están restringidas a los 200 m superiores: TW, RDPW, SASW y STSW. Como están en contacto con la atmósfera y, por lo tanto, en constante transformación debido a los flujos aire-mar, no pueden ser consideradas como masas de agua en un sentido estricto.

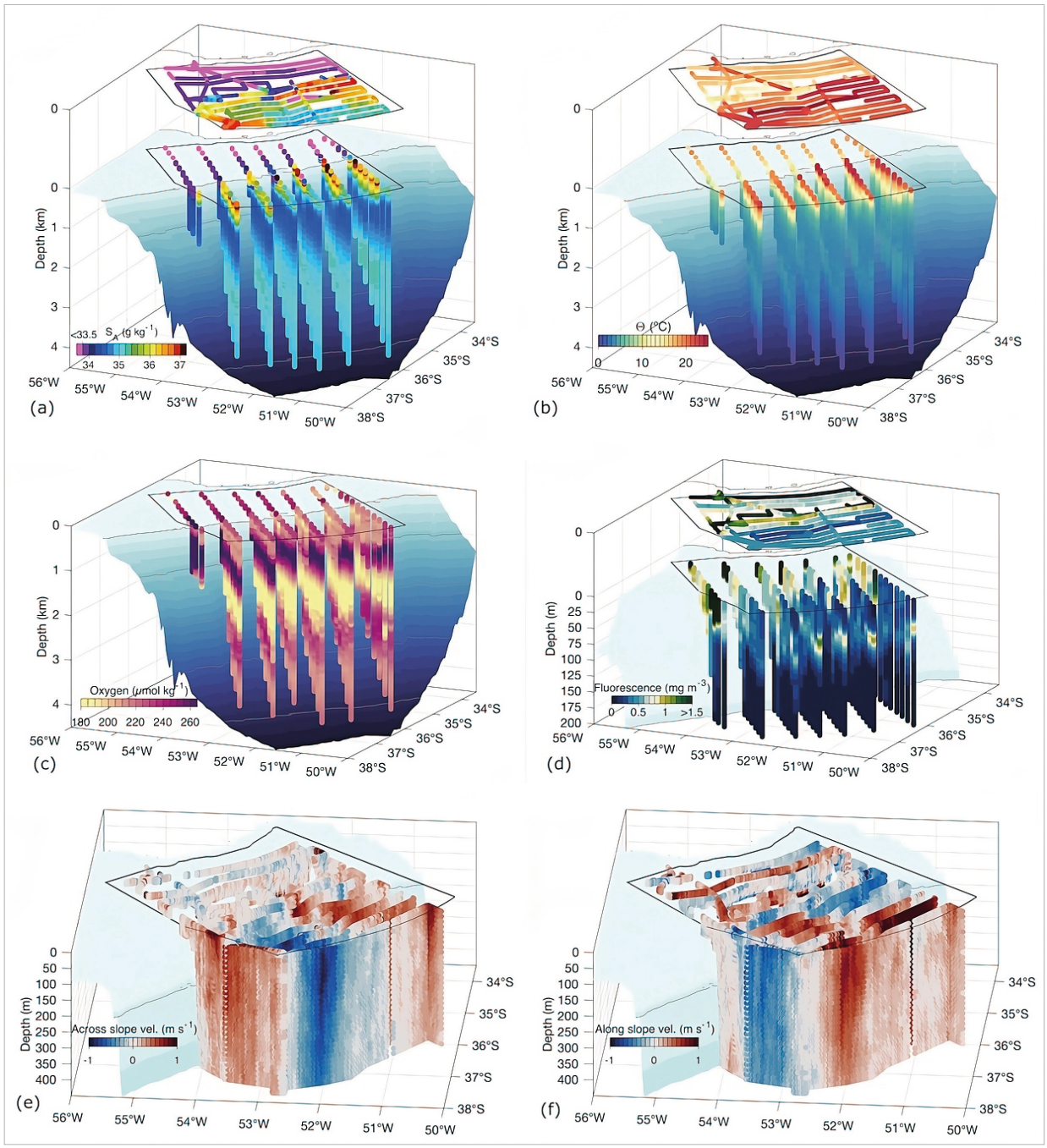


Figura 4. Diagrama de dispersión 3D de mediciones en la ZEEU (delimitada por el polígono negro) durante el otoño de 2016. Mediciones CTD de: a) salinidad absoluta (SA, g kg^{-1}); b) temperatura conservativa (Θ, ºC); c) oxígeno disuelto (µmol kg^{-1}); y d) fluorescencia (mg m^{-3}). En la parte superior de los paneles a), b) y d) también se trazan las medidas del termosalinógrafo. e) y f) muestran las mediciones de un ADCP de 150 kHz a lo largo y transversales al talud, respectivamente. Los colores azules sombreados muestran la topografía.

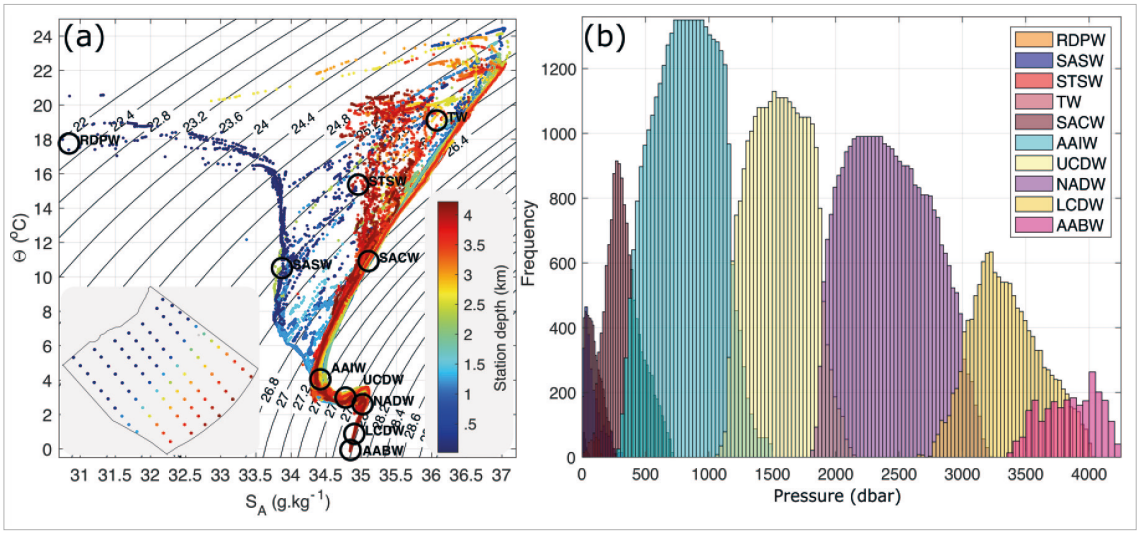


Figura 5. a) Diagrama T-S de los perfiles CTD realizados durante la campaña de cruceros en la ZEEU. Los colores representan la profundidad del agua donde se realizó la estación y la ubicación de la estación se muestra en el panel inferior. Los círculos negros muestran los valores medios de T-S para las masas de agua en la ZEEU con las respectivas siglas. b) Frecuencia de distribución de la masa de agua en cada nivel de presión tomado cada 1dbar considerando todos los perfiles CTD durante la campaña de crucero. Las siglas corresponden a Agua del Río de la Plata (RDPW), Agua Subantártica de Plataforma (SASW), Agua Tropical (TW), Agua Central del Atlántico Sur (SACW), Agua Intermedia Antártica (AAIW), Agua Circumpolar Profunda Superior (UCDW), Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW), Agua Circumpolar Profunda Inferior (LCDW) y Agua de Fondo Antártico (AABW).

Variabilidad de mesoescala

Remolinos de mesoescala durante la campaña

La dinámica de mesoescala tiene un papel predominante en la circulación de superficie en la región de océano profundo de la ZEEU. Los remolinos de mesoescala, también llamados *eddies*, son los que determinan el "estado del tiempo del océano" porque pueden traer condiciones frías o cálidas a un sitio en el lapso de una semana, como muestra la figura 6, y son los equivalentes al pasaje de altas y bajas presiones en la atmósfera. Durante la campaña se pudo observar que la ZEEU es atravesada por estos distintos remolinos: en la primera semana se identificó un remolino anticiclónico (cálido, AE), cuyo sitio luego es ocupado por uno ciclónico (frío, CE), que se traslada hacia el sur y se fusiona con la Corriente de Malvinas al final de la campaña.

De los 82 perfiles CTD realizados durante la campaña (41 en océano abierto), 4 estaciones estaban dentro de remolinos AE (11, 12, 33 y 34) y 2 dentro de CE (59, 60). El conjunto de datos proveniente de boyas Argo tuvo 90 perfiles dentro de la ZEEU, de los cuales 64% se encontraron fuera de los remolinos, 27% dentro de AE y 9% dentro de CE. En conjunto, los 131 perfiles colocalizados permitieron comparar la estructura vertical de los remolinos.

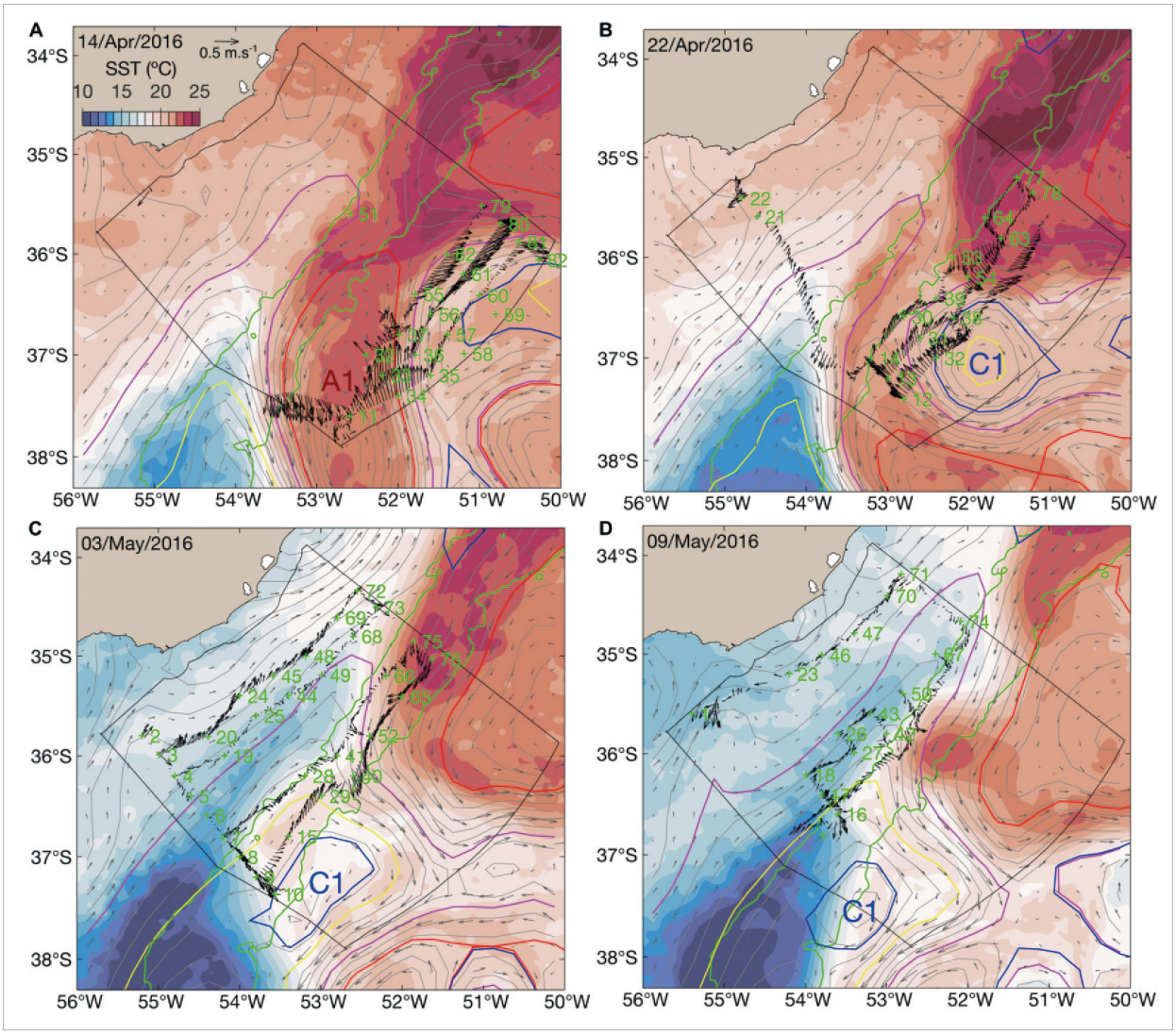


Figura 6. Configuraciones instantáneas representativas de las situaciones sinópticas oceánicas durante el crucero para: a) 14 de abril de 2016, b) 22 de abril de 2016, c) 3 de mayo de 2016, d) 9 de mayo de 2016. Los colores de fondo muestran la TSM (°C), mientras que los contornos en gris indican la altura dinámica topográfica (ADT) y los vectores representan las corrientes geostróficas asociadas. Los vectores negros intensos representan las mediciones ADCP promediadas en los 100 m superiores de la columna de agua, que es más representativa de la circulación geostrófica en superficie que la medida más superficial. Los números verdes indican las estaciones CTD que se realizaron en esa semana. Los contornos ADT de 0 m (cian), 0,25 m (amarillo) y 0,5 m (magenta) indican la retroflexión del núcleo principal de la Corriente de Malvinas, la posición media de confluencia y la separación del CB de la plataforma respectivamente. Las líneas verdes muestran las isóbatas de 500 y 2.500 m. Tomado de Manta et al. *(2022).*

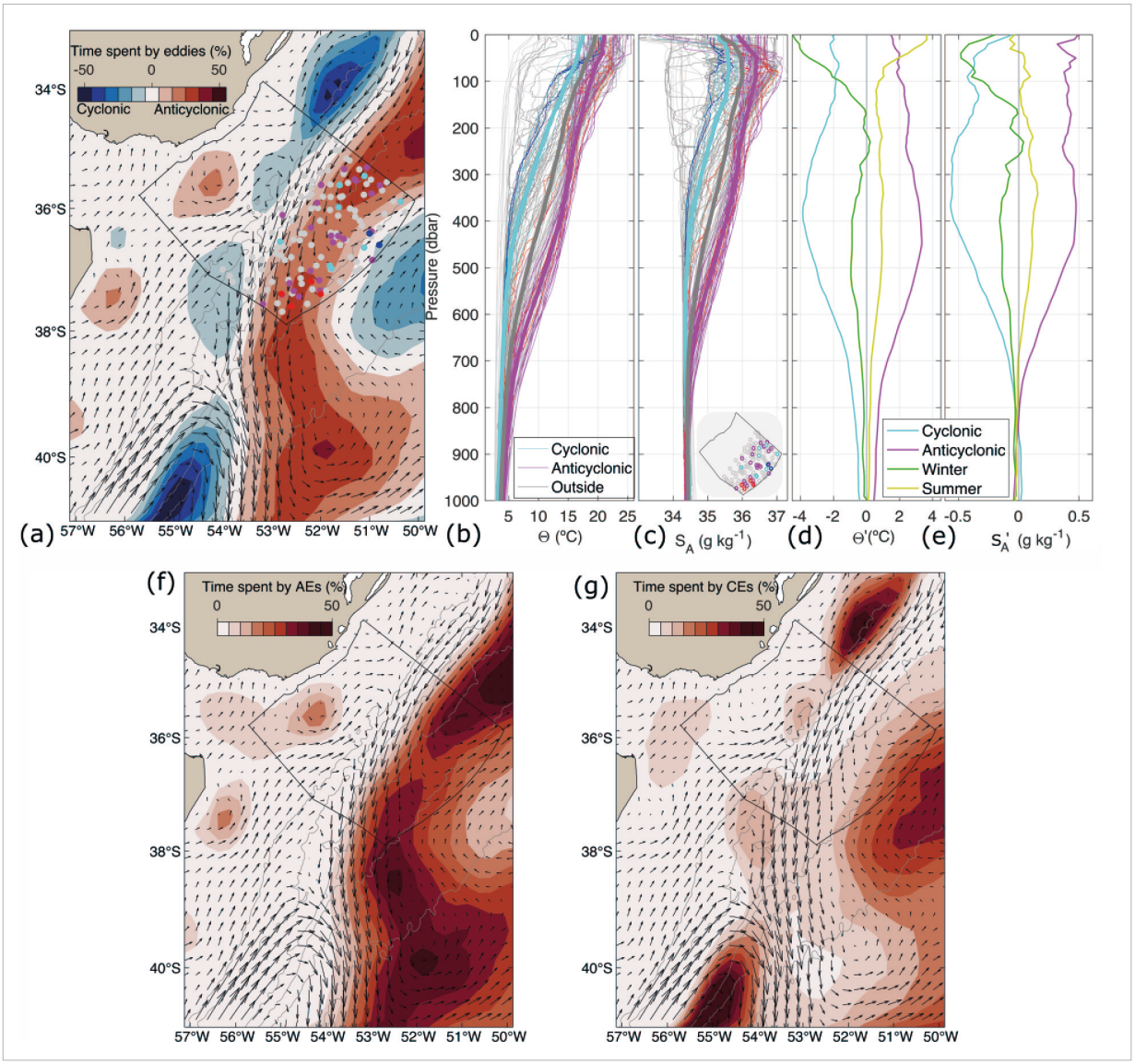


Figura 7. a) Tiempo de permanencia de los remolinos de mesoescala en la ZEEU (polígono negro) y alrededores, representado como presencia de remolinos ciclónicos (CE) en azul menos presencia de remolinos anticiclónicos (AE) en rojo, porque la superposición fue escasa. Los puntos cian y magenta muestran perfiles de Argo dentro de CE y AE, respectivamente. Los puntos azules y rojos muestran los perfiles de CTD que se encuentran dentro de los CE y AE durante la campaña analizada, respectivamente. Los puntos grises muestran todos los perfiles que se encuentran fuera de los remolinos. b) Temperatura conservativa (Θ, ºC) y c) salinidad absoluta (SA, g kg^{-1}) para los perfiles dentro/fuera de los remolinos ubicados dentro de la ZEEU. Las referencias de color son las mismas que en a). El panel inferior muestra las ubicaciones de los perfiles. d) Θ anomalías generadas por CE, AE y perfiles medios de verano e invierno con respecto a la climatología de Argo elaborados a partir de perfiles fuera de remolinos. e) Lo mismo que para d) pero para SA (g kg^{-1}). f) y g) Tiempo medio (en porcentaje) ocupado por remolinos de mesoescala en la ZEEU (polígono negro) y alrededores.

Los perfiles muestran que, como era de esperar, los remolinos AE son más cálidos y salinos que los CE. Las diferencias medias superficiales son de unos 2 °C y 0,5 g kg^{-1} respecto al perfil medio Argo sin remolinos en el caso de los AE. No obstante, las máximas diferencias se observan bajo la superficie a unos 400 dbar, donde la temperatura media para AE y CE es de 13,7 y 6,6 °C, y la salinidad media de 34,54 y 35,56 g kg^{-1}, correspondientes a anomalías del orden de 4 °C y 0,5 g kg^{-1}, respectivamente (figuras 7b y 7c). Aunque las anomalías son casi simétricas, tienden a ser alrededor de un 10% más grandes para los CE debido a la influencia climatológica de la Corriente de Brasil cálida y salina en la ZEEU. Se realizó una comparación con la amplitud estacional tomando sólo los perfiles fuera de los remolinos (n=58) y restando el perfil medio total para todas las estaciones al perfil medio de verano (n=14) e invierno (n=5), respectivamente. Las anomalías de temperatura resultantes también son simétricas y de magnitud similar a las debidas a los remolinos de mesoescala (alrededor de 4 °C). La principal diferencia radica en el hecho de que el máximo se encuentra en la superficie, como se esperaba, y decae rápidamente hacia la profundidad. Como resultado, las anomalías integradas de calor y sal son mayores debido más a los remolinos de mesoescala que a la estacionalidad y por debajo de los 100 m de profundidad la variabilidad debida a la dinámica de mesoescala prevalece sobre la estacionalidad (figuras 7d y 7e).

Remolinos de mesoescala en el largo plazo

Como se puede apreciar a partir de los resultados anteriores, los *eddies* en la ZEEU exhiben una clara zonificación. Complementando estos resultados con el análisis de más de 25 años de datos diarios, se encuentra que la ZEEU está cubierta un 13% y un 7% del tiempo por AE y CE, respectivamente. Esto se convierte en 19% y 9% cuando se considera sólo el océano profundo (profundidad del fondo > 200 m). La amplitud estacional es del orden de 4%, con un mínimo de remolinos ciclónicos en diciembre y de anticiclónicos en agosto, respectivamente. No se observa una tendencia significativa ni en el porcentaje de tiempo ocupado ni en la proporción de remolinos.

El porcentaje de tiempo ocupado por los remolinos en la región está asociado principalmente con el rotor de la Corriente de Brasil y la Corriente de Malvinas, que, a su vez, se ven influenciadas por la forma de la batimetría. Los CE y los AE están presentes principalmente hacia la derecha y la izquierda del flujo, respectivamente. En la figura 7 se aprecia que a 34° S, la CB genera un dipolo con CE hacia la derecha del flujo y AE hacia la izquierda, respectivamente, con regiones ocupadas por remolinos de mesoescala más de un 40% del tiempo en este dominio de mayor tamaño que la ZEEU que veníamos describiendo anteriormente. El porcentaje de CE disminuye en la plataforma porque el flujo hacia el norte asociado con SASW en la plataforma es intenso. Además, los remolinos en la plataforma tienden a ser menos coherentes y, en consecuencia, tienen una duración más corta. Asimismo, las mediciones de altimetría hacia la costa son menos precisas y eso dificulta su detección (Pujol *et al*., 2016). Al sur de 35° S todavía hay presencia de CE que generan intercambios plataforma-océano abierto y también un AE frecuente ubicado en 35,8° S 54,4° W, que podría estar

relacionado con la interacción del flujo de salida del RdlP y el flujo hacia el norte en la plataforma. La CB genera AE en toda la ZEEU más de un 30% del tiempo, excepto en una región entre 36° S y 37° S, donde hay una retroflexión de la CB. La CM es una corriente barotrópica con muy pocos meandros y remolinos (Piola *et al*., 2013), que se bifurca a los 39° S cuando la isóbata de 200 m gira hacia la costa. La retroflexión de la corriente principal genera CE al sur de la ZEEU, mientras que una rama más pequeña continúa hacia el norte en la plataforma (figura 8; Matano *et al*., 2010; Artana *et al*., 2019).

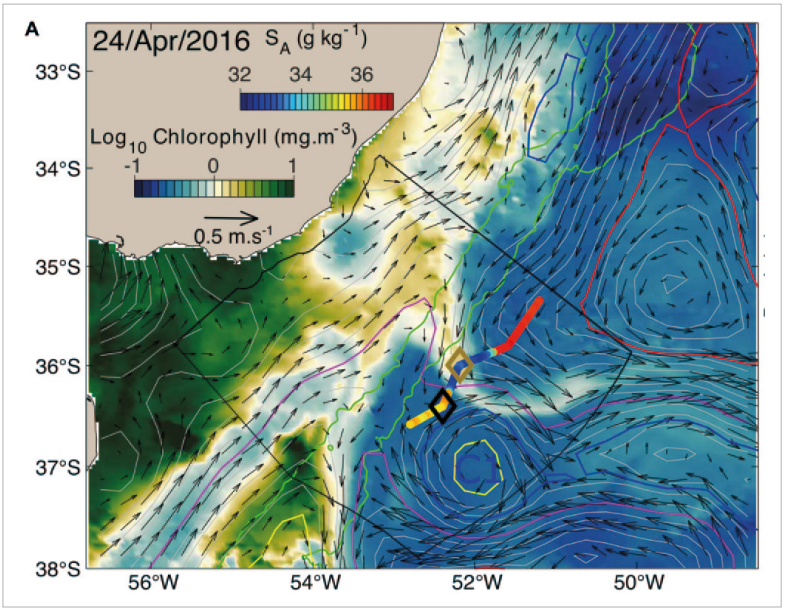


Figura 8. a) Clorofila-a satelital y corrientes geostróficas superficiales el 24 de abril de 2016. Las líneas grises muestran los contornos de altura dinámica topográfica (ADT). Las mediciones superficiales de salinidad (SSS) que atraviesan el filamento durante la ruta del crucero se indican según la escala de colores. Los rombos negros y marrones indican la ubicación de los perfiles CTD 39 y 53 recolectados ese día. Las líneas verdes muestran las isóbatas de 500 y 2.500 m. Los colores amarillo y magenta representan los contornos ADT de 0,25 y 0,5 m, respectivamente. Los contornos rojo y azul se refieren a remolinos anticiclónicos y ciclónicos, respectivamente. Adaptado de Manta et al*. (2022).*

Una de las muchas consecuencias que tiene la dinámica de mesoescala en la ZEEU es que los *eddies* son capaces de ''arrancar" aguas de plataforma de baja salinidad (generalmente altas en nutrientes y clorofilas) y exportarlas al océano profundo más oligotrófico, como se observa en la figura 8 a través de un filamento durante la campaña de ANCAP. Estos eventos de exportación de aguas de plataforma tienen consecuencias sobre la circulación, la biogeoquímica de la región y también sobre las pesquerías, ya que exportan larvas y nutrientes desde su zona de retención en plataforma, fertilizando las capas superficiales del océano profundo que tiende a ser bajo en nutrientes. Adicionalmente, estos eventos de exportación no sólo suceden en superficie, sino también en subsuperficie,

donde aguas subantárticas de plataforma pueden ser exportadas, generalmente en la zona de la confluencia Brasil-Malvinas, como se observó durante la campaña de otoño 2016 (Manta *et al.*, 2022).

Tendencias en superficie

La gran variabilidad estacional de la TSM y las corrientes en la región del Atlántico Sudoccidental ha sido ampliamente documentada (ver, por ejemplo, Gordon, 1988; Peterson y Stramma, 1991; Matano *et al.*, 1993). Recientemente, el aumento del nivel del mar y las tendencias de la TSM por encima del promedio mundial en la región también han recibido especial atención y se han asociado a un desplazamiento hacia el sur de la Corriente de Brasil, como consecuencia de la expansión del giro subtropical (ver, por ejemplo, Goni *et al.*, 2011; Lumpkin y Garzoli, 2011). En este apartado proporcionamos detalles adicionales centrados en la ZEEU.

Como consecuencia de los procesos anteriormente descritos, la Corriente de Brasil se extiende más al sur, de modo que la Confluencia Brasil-Malvinas tiende a migrar hacia el sur (Lumpkin y Garzoli, 2011; Manta *et al.*, 2022; figura 9). De esta forma, la confluencia ocupa la ZEEU cada vez con menos frecuencia, si bien la variabilidad de la posición también se ha incrementado debido a que no hay evidencia de que la Corriente de Malvinas se haya debilitado, haciendo de esta región una zona más energética (figura 9).

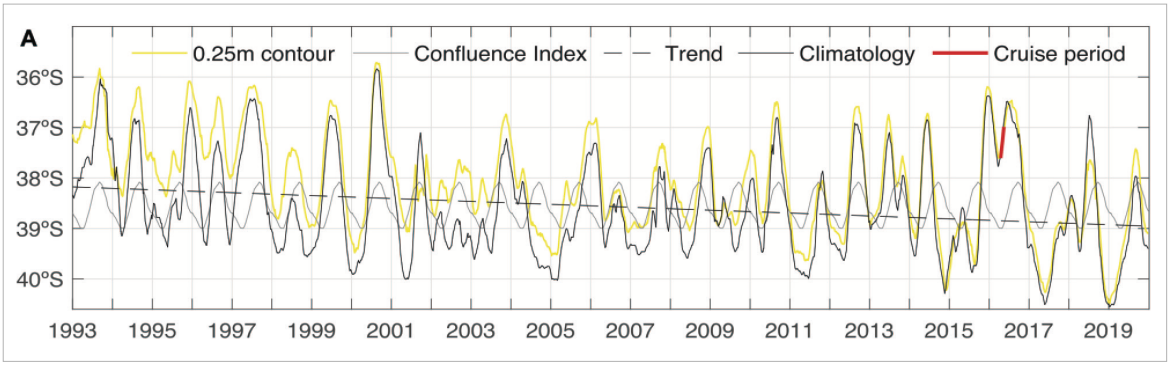


Figura 9. Posición latitudinal de la Confluencia Brasil-Malvinas sobre el talud continental (línea negra). La línea amarilla representa el contorno de 0,25 m de altura dinámica topográfica sobre el talud, muy similar al índice de confluencia de la última década. La línea punteada representa la tendencia lineal y la gris el ciclo estacional. En rojo se muestra el período de la campaña. Adaptado de Manta et al. *(2022).*

Analizando datos de TSM a partir de datos del producto OI TSM V2 (Reynolds *et al.*, 2007) para el período 1988-2020, se observa en el largo plazo una tendencia general de calentamiento en la ZEEU y adyacencias, en particular en las regiones del RdlP y la CB en alrededor de 0,5 y 0,7 °C década^{-1}, respectivamente. Sin embargo, esta no es homogénea y significativa en toda la región (figura 10a). En particular, la plataforma exterior y la región sur asociada con SASW evidencian una tendencia no significativa, explicada

principalmente por el invierno en la plataforma, que es la estación con mayor influencia de la CM en la región y máxima variabilidad interanual. La extensión hacia el norte de estas aguas subantárticas parece ser independiente de la dinámica del giro subtropical, ya que estudios realizados para la región a partir de fondeos de instrumentos que permiten obtener series temporales de variables oceanográficas en profundidad y las observaciones satelitales sobre la CM cerca de 42° S evidencian que el flujo de SASW no muestra una tendencia significativa y su dinámica está mayormente dominada por modos de variabilidad climáticos como el Modo Anular del Sur (SAM; Lago *et al*., 2021). Una estructura similar a la tendencia de TSM, pero más estrecha, se revela a partir de la tendencia en los gradientes de TSM (figura 10b) que siguen los cambios máximos de la batimetría. Y es en particular sobre el talud de la ZEEU donde se observa la tendencia significativa creciente del gradiente de TSM más grande, junto con la región de la confluencia, con hasta 0,1 °C km^{-1} década^{-1}. Estos resultados presentan una estructura espacial similar a la encontrada por Bouali *et al*. (2017) utilizando datos de MODIS Terra y Aqua L2 para el período 2003-2014, aunque los autores no encontraron una tendencia significativa, probablemente debido a que promediaron un área mayor y utilizaron un período más corto en relación con lo considerado en este trabajo.

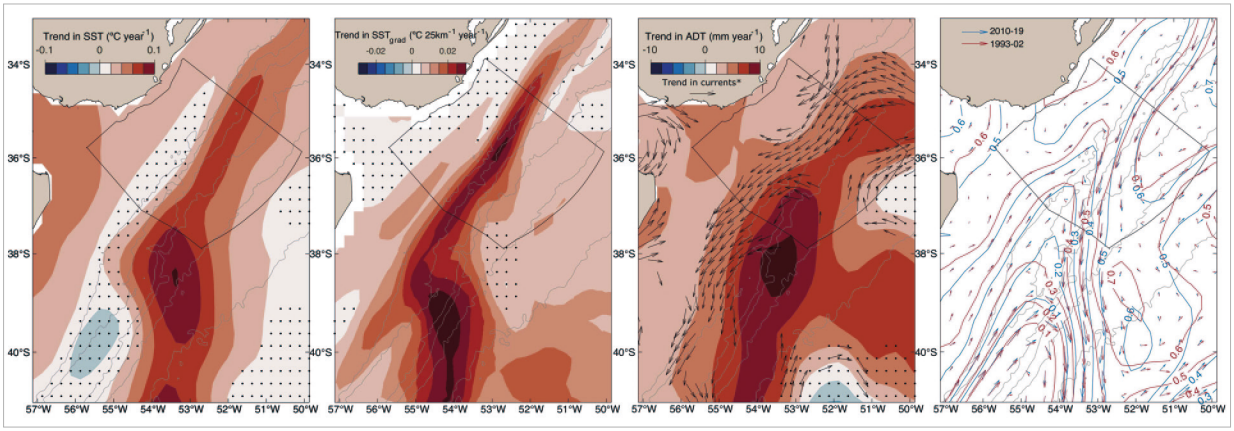


Figura 10. Tendencias a largo plazo en la zona de influencia del Río de la Plata en el Atlántico Sudoccidental. En sombras se representa la pendiente de la regresión lineal ajustada en cada píxel para: a) temperatura superficial del mar (TSM, °C año^{-1}); b) gradiente de TSM (°C 25 km^{-1} año^{-1}); y c) topografía dinámica absoluta (ADT, mm año^{-1}). Los puntos negros indican los píxeles no significativos (p>0,05) y las líneas grises las isóbatas de 200 m y cada 1.000 m. Los vectores en c) muestran el coeficiente de correlación de las corrientes geostróficas superficiales con el tiempo (la tendencia se indica sólo cuando las velocidades zonales o meridionales son significativas). d) ADT media y corrientes superficiales para los períodos 1993-2002 en azul y 2010-2019 en rojo.

En la figura 10c se observa una tendencia positiva significativa de ADT en la región, ya reportada en la literatura para todos los sistemas de borde oeste (Fang y Zhang, 2015; Ruiz-Etcheverry y Saraceno, 2020). La tendencia es positiva y significativa tanto para la plataforma como para el océano profundo, pero con diferentes pendientes de 3,90 y 6,40

mm año^{-1}, respectivamente (figura 10c). Esto da como resultado una tendencia creciente en el gradiente ADT entre la plataforma y el océano profundo dentro de la ZEEU (figura 11b). Comparando el campo medio de ADT de la primera y la última década, se observa un aumento en el ADT de alrededor de 0,05 a 0,1 m, conservando en su mayor parte la estructura espacial (figura 10d). Por ejemplo, el contorno de los 0,4 m, que es un contorno habitual utilizado para definir el frente subtropical (ver, por ejemplo, Artana *et al.*, 2019), muestra una posición media durante la década 1993-2002 que coincide aproximadamente con la ubicación del contorno de 0,5 m durante la década 2010-2019. La tendencia significativa en las corrientes geostróficas superficiales se muestra en la figura 10c, donde destaca una tendencia significativa sobre el talud. Allí, la dirección hacia el sur de los vectores sobre la plataforma indica una intensificación de la CB (donde la corriente media fluye hacia el sur) y un debilitamiento de la CM (donde la corriente media fluye hacia el norte).

Es importante mencionar que no sólo ha aumentado la temperatura media en la región, sino también los eventos extremos, como la frecuencia y la intensidad de las olas de calor marinas (figura 11), que son importantes eventos climáticos extremos que ocurren en el océano y suelen tener consecuencias negativas en los ecosistemas marinos, con implicancias socioeconómicas importantes (Hobday *et al.*, 2016).

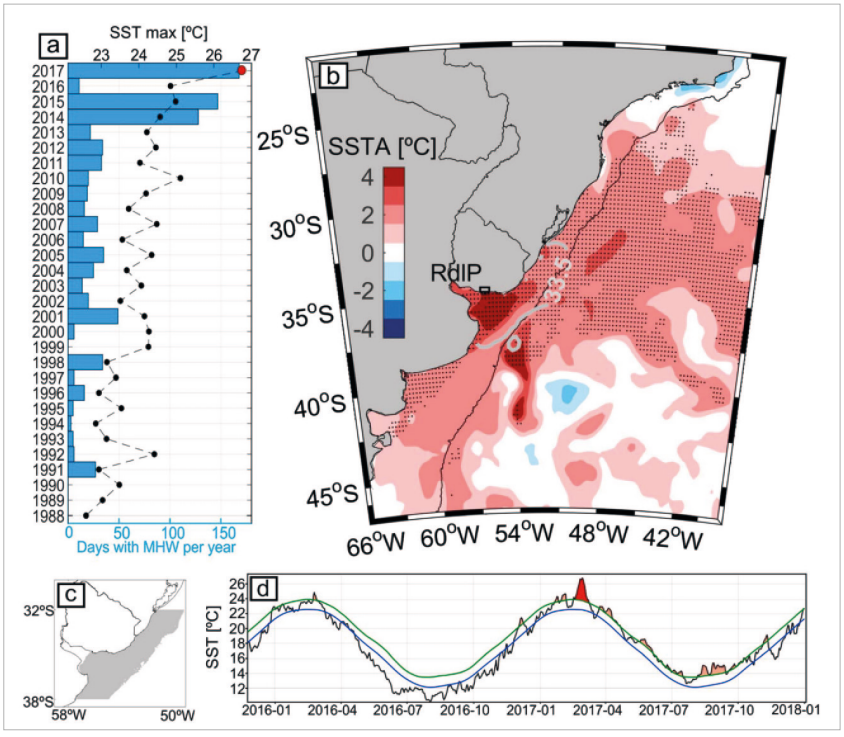


Figura 11. Ola de calor marina récord para el período 1988-2017, que tuvo lugar de febrero a marzo de 2017 (MHW17) en el Atlántico Sudoccidental. a) En barras azules se indica días con ola de calor marina (MHW) por año en la plataforma del Atlántico Sudoccidental (SAS) entre 32° y 38° S. Los puntos

muestran el valor máximo de la temperatura superficial del mar (TSM) en cada año. El punto rojo indica el caso de estudio. b) Anomalías de TSM (TSMA) media durante los 22 días que duró la MHW17 en el SAS. Los puntos negros indican zonas donde al menos 16 días de los 22 que duró registraron MHW17. En gris se muestra la ubicación media de la isohalina 33,5 construida a partir de datos satelitales durante la MHW17, representando la influencia de las aguas de la pluma del Río de la Plata. El rectángulo negro indica la ubicación de Montevideo donde se observaron mortandades masivas de peces. c) Área promediada para el análisis de MHW, en a) y d), aquí denominada SAS. d) Serie temporal de TSM (en negro) entre 2016 y 2018, promediada para la región del SAS. Las líneas azul y verde indican la media climatológica y el umbral del percentil 90, respectivamente. El área roja debajo de la curva negra indica los eventos de MHW. Datos TSM de NOAA OI TSM V2. Adaptado de Manta et al*. (2018).*

Discusión

Se realizó una descripción detallada de las propiedades de circulación y masas de agua en la ZEEU utilizando un conjunto de datos sin precedentes en Uruguay, obtenidos durante una campaña oceanográfica, combinados con observaciones de satélites y boyas Argo. Se describieron las características de volumen de masas de agua, termohalinas y nutrientes, y se identificaron regiones de alta productividad biológica a partir de observaciones satelitales e *in situ*. La campaña se realizó en condiciones anómalas sobresalientes en otoño de 2016 bajo la influencia del evento El Niño Godzilla, que generó descargas extremas e intensos vientos anómalos del oeste-suroeste, lo que determinó que fueran muestreadas las aguas dulces ricas en nutrientes del RdlP a más de 100 km de su posición climatológica. Las mediciones de alta resolución en la ZEEU también permitieron registrar el complejo escenario oceanográfico con mezcla de agua salobre, subantártica y subtropical, termoclina invertida y exportación de aguas de la plataforma hacia al océano profundo.

Fueron identificadas diferentes dinámicas en la circulación y masas de agua en la plataforma y el océano profundo, con dos regímenes distinguibles en cada uno dentro de la ZEEU. La región de plataforma poco profunda (<50 m de profundidad) se encuentra muy influenciada por las descargas de RdlP, que es una gran entrada de nutrientes al océano abierto. La pluma del RdlP fertiliza la zona eufótica superior, donde los nutrientes son más necesarios para el crecimiento del fitoplancton. La productividad máxima integrada en la columna de agua se encontró en el talud sur de la ZEEU, donde las intrusiones de aguas del RdlP en las profundidades del océano son más frecuentes (Guerrero *et al*., 2014; Matano *et al*., 2014). En esa región cercana a 37° S 54° W, las aguas de la pluma del RdlP se mezclan con aguas de origen subantártico. La elevada concentración de clorofila observada al sur de la ZEEU podría ser una consecuencia de la mezcla de estas dos masas de agua, lo cual debería ser confirmado mediante nuevas observaciones.

La plataforma exterior está caracterizada por aguas subantárticas que dependen dinámicamente de la CM y es la principal región de la ZEEU que no presenta una tendencia al calentamiento, con la consecuencia de una tendencia creciente en los gradientes horizontales de temperatura superficial del mar en el talud. La circulación superior en el talud está dominada por aguas de la CB

oligotróficas y cálidas que se separan del talud a 36,5° S y está influenciada en gran medida por la actividad de mesoescala. En este sentido, el análisis climatológico de la variabilidad de mesoescala en la ZEEU identificó una clara zonificación de remolinos de mesoescala mayormente asociada con los meandros de las corrientes y la topografía del fondo, con regiones cubiertas hasta en un 40% del tiempo con un tipo de polaridad de remolino. El análisis de la estructura vertical mostró que las anomalías debidas a los remolinos en las profundidades del océano son de la misma magnitud que las debidas a la estacionalidad y se vuelven más importantes que estas debajo de los 100 m.

La repercusión más inmediata de estos resultados se puede vincular con efectos sobre la biota y, en particular, sobre la actividad pesquera en la ZEEU. La alta densidad de peces generalmente se asocia con frentes marinos y el frente principal en el talud está aumentando su magnitud. No sólo TSM y clorofila, sino también ADT y su correspondiente detección de remolinos y anomalías podrían usarse para identificar áreas de alta densidad de peces. También es importante considerar que varias especies de peces explotadas comercialmente que habitan las profundidades del océano pasan la mayor parte de su vida por debajo de los 100 m de profundidad. Las preferencias ambientales en la ZEEU por debajo de esta profundidad están dominadas principalmente por dinámicas de mesoescala, por lo que la identificación de EA y CE podría ser tan importante como la TSM o los gradientes de TSM para identificar la agregación de peces, como se evidencia para el pez espada en la extensión de Kuroshio (Durán Gómez *et al*., 2020) o el tiburón azul en la Corriente del Golfo (Braun *et al*., 2019), que utilizan remolinos de núcleo cálido para nadar hacia la zona mesopelágica que alberga a la comunidad de peces más abundante del planeta.

Con respecto a la TSM, a escala regional, el Atlántico Sudoccidental se considera como un "punto caliente" de calentamiento, donde, además, se han identificado olas de calor marinas crecientes sobre la plataforma y una tropicalización de las capturas pesqueras en la región (ver, por ejemplo Hobday y Pecl, 2014; Manta *et al*., 2018; Gianelli *et al*., 2019; Franco *et al*., 2020). Sin embargo, si bien el análisis de alta resolución realizado en este trabajo muestra una situación concordante con esas afirmaciones, también revela un escenario oceanográfico mucho más complejo.

El complejo escenario oceanográfico en el que se encuentra la ZEEU, evidenciado en los resultados de este trabajo, resaltan la necesidad de contar con mediciones tanto continuas como procedentes de campañas oceanográficas en la ZEEU para poder comprender la dinámica oceanográfica de la región, su interacción con procesos biológicos, así como los impactos derivados del cambio climático y las actividades humanas que resultan primordiales para diseñar medidas de gestión basadas en ciencia para el territorio marino de Uruguay .

Conclusiones

- La circulación en la ZEEU presenta gran variabilidad espacial y temporal debido a que se encuentra en una zona de transición y es importante considerar las diferentes dinámicas que dominan la

circulación en la plataforma continental, el talud y el océano profundo.

- La plataforma continental responde rápidamente a los vientos locales. En su parte interna hay una gran influencia de la pluma de descarga del Río de la Plata y en su parte externa del flujo hacia el norte de Aguas Subantárticas de Plataforma.
- El talud continental está mayormente ocupado por la Corriente de Brasil, que fluye hacia el sur durante todo el año, y en algunos períodos (mayormente durante el invierno) encontramos a la Corriente de Malvinas en el sur de la ZEEU y la Corriente de Brasil separada del talud.
- Hacia el océano profundo, dominan la dinámica los remolinos de mesoescala de cerca de 100 km de escala horizontal y 1 km de extensión vertical, que pueden tener velocidades de corrientes tan intensas como las corrientes de Brasil y Malvinas y en cualquier dirección.
- Por debajo de los 200 metros de profundidad, encontramos seis masas de agua de diversos orígenes, tanto el Atlántico Norte (NADW, 2.000-3.000 m) como la Antártida (AAIW, 500-1.200, y AABW, por debajo de 3.500 m), resaltando la gran conectividad que tiene la ZEEU.
- La tendencia regional sigue la tendencia global de aumento de altura del nivel del mar y de temperatura superficial del mar en promedio. Sin embargo, existen diferencias espaciales de interés para el país. En el océano profundo, la expansión del giro subtropical provoca que cada vez menos tiempo encontremos a la Corriente de Malvinas en la ZEEU, mientras que la plataforma exterior no presenta una tendencia al calentamiento, de modo que los gradientes de temperatura de interés para pesquerías se han incrementado.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Manta, G., M. Barreiro, R. Trinchín y C. De Mello, 2024, La circulación oceánica en la zona económica exclusiva uruguaya, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 127-152, doi: 10.70952/a8827tmuc2-3

Capítulo 2.4
Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas: estructura, funcionamiento y potenciales riesgos

Alevines de merluza (*Merluccius hubsi*). Intervención gráfica a partir de fotografía obtenida en la campaña oceanográfica para la elaboración de una línea de base am-biental de la zona económica exclusiva de Uruguay (Advisian, 2016).

Capítulo 2.4
Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas: estructura, funcionamiento y potenciales riesgos

Pablo Muniz,[1(*)] Ernesto Brugnoli,[1] Danilo Calliari,[1] Natalia Venturini[1] y Beatriz Yannicelli[2]

[1] *Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[2] *Departamento de Estudios Interdisciplinarios Costero Marino (DISCOMAR), Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República*

(*) Salvo el primer autor, los demás aparecen en orden alfabético

Introducción[1]

Los efectos del cambio climático y de las actividades humanas en el medio marino, como la pesca, la extracción de petróleo y gas, el tráfico marítimo y, en el futuro, la minería de los fondos marinos, ejercen una creciente presión sobre los ecosistemas marinos de aguas abiertas a escala global. En el Atlántico Sur es donde el crecimiento de estas actividades y sus efectos son más notables (Halpern *et al.*, 2019). Para un correcto manejo, sostenibilidad y conservación es imprescindible una atenta administración y gestión de los recursos y de las actividades que se desarrollan en dicho espacio, lo cual requiere un nivel de conocimiento amplio, pero, a su vez, detallado del mar y de sus componentes, tantos vivos como no vivos.

Los márgenes continentales albergan ecosistemas de aguas profundas que se distribuyen en parches y sustentan una gran biodiversidad (Levin y Sibuet, 2012). Los márgenes muestran una marcada heterogeneidad de hábitats representada por una combinación de características geomorfológicas (por ejemplo, cañones, arrecifes de coral de agua fría) y fuertes gradientes ambientales que incluyen la temperatura y el ingreso de partículas de carbono orgánico (Carney, 2005).

1 Los autores agradecen a los editores la invitación para colaborar en esta obra; a ANCAP, por compartir los datos ambientales, oceanográficos y meteorológicos adquiridos durante los proyectos de exploración costa afuera; y a Rodrigo Novo, por la elaboración de los mapas de este capítulo. Todos los autores agradecen también al Sistema Nacional de Investigadores de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación y a la Universidad de la República.

Como resultado, los márgenes continentales sostienen muchos ecosistemas frágiles de aguas profundas con su propia biodiversidad y valiosos servicios ecológicos y ecosistémicos (Levin *et al.*, 2001; Thurber *et al.*, 2014). Los márgenes continentales también son una fuente muy importante de valiosos recursos, incluidos los hidrocarburos y los minerales, los cuales, casi sin excepción, están siendo cada vez más explotados debido al desarrollo tecnológico y al agotamiento de las reservas en tierra y aguas poco profundas (Khain y Polyakova, 2004).

En la región subtropical del Atlántico Sudoccidental, en la zona de transición de la circulación regional (entre 33° y 38° S, entrada del Río de la Plata y confluencia Brasil-Malvinas), se encuentra el margen continental uruguayo (figura 1; ver capítulo 2.5 de este libro), una región compleja desde el punto de vista ambiental y oceanográfico. Se trata de una zona de jurisdicción nacional, zona económica exclusiva (ZEE), que se extiende hasta las doscientas millas, que forma parte del gran ecosistema marino (LME, por su sigla en inglés) de la plataforma sudamericana patagónica, caracterizado por su alta biodiversidad. El encuentro de aguas contrastantes desde el punto de vista termohalino determina la formación de frentes bien desarrollados (Ortega y Martínez, 2007; Matano *et al.*, 2010) que sustentan una región muy dinámica (Acha *et al.*, 2008) y relevante para la biodiversidad tanto a escala global como regional (ver capítulos 2.5 y 3.3 de este libro).

En la ZEE las aguas de origen continental están presentes a lo largo de toda la plataforma en los primeros 70-80 metros de la columna de agua. Este comportamiento se observa de forma marcada en el área de influencia de la desembocadura del Río de la Plata (RdlP) en su concurrencia a través de la plataforma continental, para extenderse de manera gradual sobre los fondos de la ZEE. Por su parte, las aguas de origen oceánico que se encuentran sobre la ZEE son aquellas características de esta parte del Atlántico Sur: aguas centrales (SACW), aguas intermedias (AAIW), profundas (NADW) y de fondo (AABW) (ver capítulo 2.3 de este libro; Advisian, 2016). En cuanto a las propiedades químicas de las masas de agua, la región de estudio se caracteriza tanto por la influencia de aguas de origen continental provenientes del RdlP y del complejo Patos-Merín (con aporte de nutrientes y materia orgánica) como de las aguas profundas de origen oceánico (Tudurí *et al.*, 2014).

Con relación al fondo oceánico (por mayores detalles ver capítulo 2.1 de este libro), la zona de estudio (ZEE) presenta un carácter geomorfológico muy dinámico y heterogéneo en toda su extensión, debido al origen pasivo del margen continental del Atlántico Sudoccidental. La plataforma continental se ensancha hacia el sur y presenta una pendiente suave, cuyo quiebre ocurre a aproximadamente 180 metros de profundidad (Urien y Ewing, 1974). El paleovalle de la parte interna forma un depocentro de fango (Lantzsch *et al.*, 2014). Entre los márgenes continentales de Uruguay y Argentina se ubica el sistema de cañones submarinos del RdlP, entre los 35° S y los 38° S (Lonardi y Ewing, 1971; Franco-Fraguas *et al.*, 2014). Un sistema depositacional contornítico bien desarrollado con características erosivas y de depósito asociadas con la acción de las masas

de agua antárticas y su interfaz está presente en el talud y la elevación (Hernández-Molina et al., 2016), mientras que el talud inferior y la llanura abisal están dominadas por fangos (Burone *et al.*, 2021).

El ambiente pelágico, formado por las aguas libres de mares y océanos, constituye el principal dominio espacial en los ecosistemas marinos. Es en este dominio que se encuentra el plancton, conjunto de organismos en el que están representados prácticamente todos los *phyla* del reino animal y que, por tanto, presenta una diversidad extremadamente amplia de formas de vida, de grados de complejidad en la organización biológica individual y de funciones ecológicas (Calliari *et al.*, 2022). La importancia crítica de este conjunto de organismos en la economía de mares y océanos radica en que son quienes dominan en términos cuantitativos todas las funciones ecosistémicas centrales, como producción primaria, secundaria, flujos trofodinámicos y respiración (Kiørboe, 1993). Como ocurre en casi todos los océanos del mundo, en el Atlántico Sudoccidental la abundancia y los aspectos cualitativos del plancton dependen de las características de las masas de agua y la circulación oceánica. La convergencia en la región de estudio de Brasil-Malvinas otorga al sistema pelágico atributos altamente dinámicos, tanto espacial como temporalmente (Calliari *et al.*, 2009; Lutz *et al.*, 2018).

El bentos como grupo de organismos marinos es responsable por gran parte de la riqueza biológica que está presente en los mares y océanos del mundo. Este heterogéneo grupo está formado por no menos de 25 *phyla* animales que viven asociados al fondo o lecho marino, y constituye una fracción muy significativa de la biomasa de los fondos marinos (Cusson y Bourget, 2005), suministrando recursos pesqueros en forma directa (ver capítulo 3.3 de este libro), así como alimento para una variedad de organismos de interés económico (Hilborn, 2012). Además, estos organismos resultan sumamente útiles para el monitoreo y la evaluación de impactos ambientales de actividades antrópicas (Muniz *et al.*, 2013). En tal sentido, el conocimiento de las comunidades bentónicas desde el punto de vista de su estructura y funcionamiento es crítico para poder entender y mitigar los efectos que las actividades humanas ejercen sobre los ecosistemas de aguas abiertas en el contexto actual de creciente demanda de recursos renovables y no renovables a los que están sujetos estos ecosistemas (Hein *et al.*, 2013).

Para que el uso de los recursos existentes en esta amplia zona sea sostenible debe compatibilizarse su explotación con la protección y preservación del medioambiente marino. La evaluación de la potencialidad de los recursos y la implementación de políticas adecuadas de manejo deben sustentarse en conocimiento científico relevante (Smith *et al.*, 2008). En este sentido, el presente capítulo pretende aportar una breve síntesis de la información existente sobre las comunidades del ambiente pelágico (aguas libres de mares y océanos) y del ambiente bentónico (comunidades que mantienen íntima relación con los fondos marinos). Específicamente, se hace énfasis en el plancton (organismos de vida libre cuya capacidad de movimiento les impide desplazarse en el plano horizontal de forma independiente a los movimientos del agua) y el bentos (organismos, mayormente invertebrados, que mantienen algún tipo

de relación con el fondo marino, para vivir sobre él o en su interior o desplazarse, durante parte o la totalidad de su ciclo de vida. Se consideran también ciertos aspectos ambientales claves para la comprensión de los patrones visualizados y se finaliza con consideraciones sobre la identificación de aspectos sustanciales al proyectar la exploración y la explotación de recursos, así como con una reflexión crítica sobre las estrategias globales que son utilizadas frente a los múltiples usos del espacio marino en consideración. Este capítulo, el de estrategias de conservación de la biodiversidad (capítulo 2.5) y el referido a recursos pesqueros (capítulo 3.3) compilan el conocimiento existente sobre la estructura biológica de la ZEE de Uruguay.

Columna de agua: heterogeneidad espacial del medio fisicoquímico y del plancton

Este apartado presenta una síntesis del conocimiento de la estructura del ambiente fisicoquímico y del plancton de las aguas marinas uruguayas. La estructura física y la circulación del Atlántico Sudoccidental son abordados en profundidad en el capítulo 2.3 (Manta *et al.*) de esta misma publicación, por lo cual aquí la discusión se limita a aquellos elementos particularmente relevantes como determinantes de los patrones de distribución y actividad de las especies presentes. El trabajo de Calliari *et al.* (2014) es un antecedente relativamente cercano en el tiempo referido a la estructura y la zonación del plancton en aguas uruguayas, por lo cual esta revisión presentará una actualización de la información priorizando aspectos complementarios del funcionamiento de las comunidades planctónicas. En primer lugar, se presentan las características generales de la estructura fisicoquímica de las aguas uruguayas. Las condiciones químicas en la ZEE, fueron descriptas en Tuduri *et al.* (2014); el presente capítulo actualiza la información en dicha área y lo complementa aportando datos inéditos que dan cuenta del estado trófico de la ZEE uruguaya mediante el índice trófico TRIX en sus tres variantes. Algunos mecanismos clave en el funcionamiento del sistema del margen continental uruguayo relevantes para la presente descripción fueron compilados y sistematizados en Burone *et al.* (2021), donde puede encontrarse una descripción complementaria a la presente.

Estructura fisicoquímica

Las aguas uruguayas sobre plataforma y el talud continental forman parte de la convergencia subtropical en el Atlántico Sudoccidental (Odebrecht y Castello, 2001). La distribución y la actividad de las comunidades pelágicas allí presentes son fuertemente influidas por las propiedades fisicoquímicas, la dinámica de las masas de agua intervinientes y las estructuras oceanográficas que resultan de esta interacción. La región está dominada por dos corrientes de borde occidental, las corrientes de Brasil (CB) y Malvinas (CM), que se mueven en direcciones opuestas y transportan masas de agua con propiedades contrastantes: agua tropical (TW) y agua central del Atlántico Sur (SACW) la primera (en general aguas más cálidas, más salinas y pobres en nutrientes vegetales) y agua subantártica (SAW) la segunda (más fría, menos salina y más rica en nutrientes) (Olson *et al.*, 1988;

Matano *et al.*, 2010). La CB confluye con la CM y se separa del borde continental entre los 33° S y 38° S, dirigiéndose hacia el este y formando en conjunto con la CM la corriente del Atlántico Sur. La separación de la CB y su confluencia con la CM presenta un corrimiento latitudinal estacional hacia el norte en el invierno austral y hacia el sur en el verano (Chelton *et al.*, 1990). Ello implica variaciones profundas en las características del ambiente y de las comunidades pelágicas en la ZEE. Sobre la plataforma continental las ramas costeras de la CB y la CM confluyen en el mar uruguayo sobre los 34° S, generando un flujo compensatorio de exportación hacia afuera de la plataforma (Piola *et al.*, 2018). Estas ramas costeras transportan aguas originadas en las corrientes mayores pero modificadas por la interacción con la atmósfera y el continente, especialmente por los flujos de agua dulce.

Además de la confluencia de la CB y la CM y su variabilidad temporal, se identifican dos elementos destacados que regulan la estructura del ambiente y la actividad biológica: i) la descarga de agua dulce por parte del RdlP; y ii) el Frente Subtropical de Plataforma (STSF, también conocido localmente como "Frente de Piola"). El RdlP recoge el drenaje de una cuenca de más de dos millones de kilómetros cuadrados cuya descarga (aproximadamente 25.000 m^3 s-1) afecta a gran parte de la plataforma uruguaya y genera una pluma superficial de baja salinidad y densidad que se mueve hacia el norte atrapada a la costa, especialmente durante el invierno (Pluma del RdlP, RPP) (Piola *et al.*, 2008). El STSF es una estructura cuasipermanente que se extiende en dirección aproximada norte-sur entre la isóbata de 50 metros en los 32° S y el quiebre de la plataforma en los 36° S; es decir, atraviesa la totalidad del mar uruguayo (Piola *et al.*, 2000). Este frente separa las aguas subtropicales de plataforma (STSW) de las aguas subantárticas de plataforma (SASW) y durante el verano resulta compensado en densidad, es decir, las mismas isopicnas a ambos lados permiten el flujo a través del frente. Esto podría representar un mecanismo por el cual materiales disueltos y particulados (por ejemplo, plancton) son advectados desde la plataforma interna hacia el interior del océano. La RPP fluye por encima del STSF, por lo cual la estructura frontal no está presente en la superficie y es invisible para sensores remotos.

Condiciones químicas

Desde la revisión de Tuduri *et al.* (2014) se ha generado escasa información referente a oceanografía química en la ZEE, por ejemplo: Bratkič *et al.*, 2016; Piola *et al.*, 2018; Berden *et al.* 2022; Manta *et al.*, 2022. La mayoría de los nuevos trabajos se enfocan en elementos mayoritarios como los (macro) nutrientes inorgánicos disueltos en la columna de agua y refieren a diferentes áreas de la ZEE. Bardet et *al.* (2022) estudiaron la plataforma entre los 30° S y 40° S durante la primavera de 2013, mientras Manta *et al.* (2022) discuten los resultados de la campaña de otoño de 2016 (Advisian, 2016). En dicha campaña las máximas concentraciones de nutrientes ocurrieron sobre la plataforma cerca del RdlP y en aguas frías de Malvinas cerca del extremo sur del quiebre de plataforma, mientras que fueron bajos en las estaciones profundas oceánicas. Bratkič *et al.* (2016) analizaron el comportamiento del oxígeno disuelto en el paralelo 40° S del Atlántico Sur, incluyendo

puntos en la ZEE hasta profundidades de 1.000 metros y recientemente Berden *et al.* (2022) analizaron las variaciones de este gas disuelto, encontrando valores de saturación con máximos asociados a aguas subantárticas de plataforma y mínimos en las aguas subantárticas costeras.

Con relación al dióxido de carbono (CO_2), el fitoplancton y el ciclo del carbono, se identifican estudios para la zona del Atlántico Sudoccidental y en particular para la Convergencia Brasil-Malvinas (De Oliveira Carvalho *et al.*, 2022). De acuerdo con los patrones de distribución del fitoplancton y el CO_2 (presiones parciales), estos autores distinguen dos regiones biogeoquímicas dentro de la plataforma suroeste del Atlántico Sur: al norte de 35º S y al sur de 40-50º S, separadas por una zona de transición (35° S-40° S) que se corresponde aproximadamente con la plataforma argentino-uruguaya entre los 35° S y 38° S. En esa región encontraron que los cambios en la salinidad y en la temperatura promovieron cambios en los grupos dominantes del fitoplancton y, en consecuencia, en el comportamiento de la superficie del océano, que alterna entre emisión (desgasificación de CO_2) y captación de gases. Por otro lado, Cotovicz Jr. *et al.* (2022) realizaron una revisión y análisis de perspectivas del conocimiento de la acidificación marina en zonas costeras de Brasil. Su revisión identificó 24 artículos publicados entre 2006-2020 sobre acidificación del océano en el Atlántico Sur, mientras que para el Atlántico Norte reportaron 110 artículos, lo que refleja un área del conocimiento poco desarrollada para la región. Además, sugieren que la costa sur-sureste de Brasil con influencia de masas de agua con menor temperatura (RPP y Masa de Agua costera del Sur) es más vulnerable a la acidificación en comparación con la costa norte-noreste de Brasil, que presenta masas de agua más cálidas (agua tropical y Pluma del Amazonas). Esto es debido a que las masas de agua fría tienen menor capacidad de amortiguación y experimentarán impactos negativos de la acidificación más temprano que las masas de aguas más cálidas (Cotovicz Jr. *et al.*, 2022).

Finalmente, dos trabajos evaluaron los elementos minoritarios o traza. Bratkič *et al.* (2016) determinaron las concentraciones de las diferentes especies de mercurio en la columna de agua en una transecta (40º S) en el océano Atlántico. Dichos autores reportan concentraciones más altas en el borde occidental y las menores concentraciones en el borde oriental del océano Atlántico. Por otro lado, la distribución de metales (cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc) asociados a la materia particulada suspendida en la columna de agua fue estudiada a lo largo de la plataforma argentina y argentino-uruguaya y se reportaron las máximas concentraciones de materia particulada y metales manganeso, níquel, cromo y hierro en la desembocadura del RdlP (estación 1) (Villagrán *et al.*, 2021).

Plancton

Existe un cuerpo sustantivo de bibliografía referida a la composición de las comunidades planctónicas y su distribución en aguas uruguayas. Ello se traduce en un grado de conocimiento relativamente bueno o muy bueno para algunos grupos taxonómicos (por ejemplo, pterópodos, cladóceros, eufáusidos, quetognatos, salpas), regular en varios casos

(por ejemplo, tintínidos, *Hydromedusae*, ostrácodos, doliólidos), pero pobre y muy pobre en otros tantos (por ejemplo, ciliados, radiolarios, misidáceos, anfípodos, poliquetos) (Boltovskoy *et al.*, 2002). Para la mayoría de los grupos existe un patrón de máxima riqueza taxonómica en plataforma externa y talud (profundidades > 200 m); es el caso de radiolarios, salpas, doliolidos, apendicularias, misidáceos, pteropodos, poliquetos, copepodos e *Hydromedusae*. Una alta riqueza relativa en aguas uruguayas está relacionada con las características regionales como sistema de transición, dadas por la confluencia de la CB y la CM (Boltovskoy, 1999), es decir, en el mar uruguayo alternan estacionalmente especies de diferente origen biogeográfico en función de la dominancia de aguas más cálidas y salinas o más frías y salobres (por ejemplo, CB versus CM), así como por la influencia de la RPP.

La biomasa fitoplanctónica sigue un patrón inverso al de diversidad del zooplancton en el gradiente continente-océano: disminuye desde regiones cercanas a la costa y la plataforma hacia el océano profundo, según evidencia consistente basada en datos *in situ* y provenientes de sensoramiento remoto. Este es un modo de variación típico que en nuestra región se asocia con las masas de agua y sus propiedades químicas como temperatura, salinidad, sílice y nitrógeno (formas inorgánicas disueltas; Calliari *et al.*, 2014). Así, los mayores tenores de biomasa (clo-a > 4 mg m^{-3}) en general se observan en salinidades y temperaturas moderadas a bajas (34 < S < 35; 14 °C < T < 18 °C), alto sílice y moderado a bajo nitrógeno inorgánico disuelto (NID).

La variabilidad temporal de la biomasa de fitoplancton (por ejemplo, medida como clorofila-a) puede ser indicativa de los procesos subyacentes a la modulación de la producción primaria. Los patrones medios y modos de variabilidad de la distribución superficial de clorofila-a satelital (CSAT) en el área de interés han sido analizados por varios trabajos, en los que se basa la siguiente síntesis (por ejemplo, Gayoso y Podestá, 1996; García y García, 2008; Machado *et al.*, 2013; Lutz *et al.*, 2018). Los campos medios de CSAT evidencian valores altos (2 < CSAT < 4 mg m^{-3}) distribuidos en forma de banda angosta sobre la plataforma interna y media, fuertemente coincidente con la distribución de la RPP. Sobre el resto de la plataforma CSAT tiende a ser moderada (0,5-1,3 mg m^{-3}) y los menores valores se observan sobre el quiebre de la plataforma y talud (0,1-0,5 mg m^{-3}). Temporalmente la CSAT varía en tres escalas: anual, semianual e interanual. La variabilidad anual es la más fuerte, particularmente en plataforma interna y media, y responde a cambios en la dispersión de la RPP frente a Uruguay y el sur de Brasil. En aguas profundas (>200 m) predomina la variabilidad semianual que responde a la migración latitudinal en la confluencia CB-CM. La variabilidad interanual (con una frecuencia aproximada de cuatro años) es relativamente débil y se evidencia especialmente sobre la plataforma somera cerca de la salida del RdlP, probablemente vinculada al efecto del oscilador El Niño (ENOS) sobre la descarga del RdlP. Latitudinalmente la CSAT en plataforma presenta oscilaciones de fase opuesta al norte y al sur del RdlP, respectivamente. De manera especulativa, este contraste podría obedecer a diferencias en procesos fundamentales que regulan la producción biológica en una y otra zona: al norte la RPP induce una columna de agua

estable que favorecería un crecimiento neto positivo del fitoplancton incluso en invierno/primavera; al sur el crecimiento neto positivo dependería del mecanismo clásico de formación de una termoclina estacional en latitudes medias.

Si bien esta región es generalmente considerada de alta productividad biológica, la información específica sobre producción primaria (PP) y secundaria es notoriamente escasa, o incluso ausente. En un contexto regional amplio (SWA entre aproximadamente 23° S y 56° S), la zona central de la plataforma (30° S-37,5° S, incluye la plataforma uruguaya) alcanza valores de producción primaria (volumétrica) intermedios respecto a las zonas al norte y al sur, aunque tiende a ser levemente mayor que las otras zonas en invierno y menor en el verano (Lutz *et al.*, 2018). Una primera aproximación a la estimación de la PP con base en información satelital para la misma región del SWA arrojó valores muy elevados para la zona central. Estos resultados deben ser considerados con mucho cuidado por los sesgos asociados a la interferencia del material particulado y disuelto aportado por el RdlP sobre la estimación de la biomasa (Martínez *et al.*, 2005). Haciendo foco en la plataforma uruguaya, la escasa información disponible señala tasas de PP relativamente bajas en la plataforma interna a la salida del RdlP (Calliari *et al.*, 2009, 2018) y máximos en la plataforma media. Este patrón estaría influenciado por la disponibilidad de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), el cual encuentra un mínimo en la boca del estuario (plataforma interna), producto de la asimilación en aguas internas del RdlP. Hacia la plataforma media el NID incrementa por aportes del SASW (Negri *et al.*, 1986), favoreciendo el desarrollo de tasas más elevadas, tal como fue observado.

En la plataforma interna uruguaya recientemente se han caracterizado procesos de circulación del tipo surgencia costera forzados por la interacción del viento y la topografía (Trinchín *et al.*, 2019; De Mello *et al.*, 2022), análogas a las encontradas en corrientes de borde oriental, pero de menor escala. En los sistemas de borde oriental estos procesos tienen consecuencias notables sobre las tasas de producción primaria y secundaria. En nuestra zona esta relación no ha sido aún explorada. Un eventual efecto positivo sería esperable en caso de que las tasas de PP estuvieran limitadas por nutrientes (NID) cerca de la superficie y de existir una estratificación vertical del NID.

Sobre el quiebre de talud y océano profundo —el núcleo de la convergencia CB-CM— se encuentra una región de mezcla particularmente intensa (Chelton *et al.*, 1990) que da lugar a una hidrografía compleja y rica en estructuras como *eddies*, filamentos y frentes. En esta zona fueron reportados florecimientos de diatomeas (*Thalassiosira delicatula*) asociados a gradientes horizontales intensos que separan aguas de la CB y la CM, así como a *eddies* ciclónicos (Gayoso *et al.*, 1996). Estos eventos de escala sinóptica seguramente contribuyen de manera sustantiva a la PP regional.

Actualmente no se dispone de información relativa a producción secundaria del plancton en el área considerada (fuera del RdlP y de otros estuarios de menor escala). Ello constituye un vacío crítico de información a considerar en futuras investigaciones.

Índices de estado trófico (TRIX) en la ZEE

Los índices tróficos permiten clasificar el estado trófico o nivel de enriquecimiento de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, que varían entre ambientes con bajas concentraciones de nutrientes (oligotróficos), mesotróficos, eutróficos (enriquecidos) e hipertróficos. Esta clasificación refleja los cambios en el estado nutricional, la calidad de agua o la salud de los ecosistemas acuáticos. En una primera aproximación para los ecosistemas de la ZEE se determinaron índices de estado trófico (TRIX) (Vollenweider *et al.*, 1998) a partir de resultados de la campaña oceanográfica del B/O Sarmiento de Gamboa durante abril y mayo 2016 (Advisian, 2016). Estos índices se calcularon con base en información de concentración de clorofila-a, nutrientes orgánicos e inorgánicos (nitrógeno y fósforo total, nitrato, nitrito y amonio, ortofosfato) y oxígeno disuelto. Se utilizaron datos obtenidos a 5 m de profundidad en la totalidad de estaciones cubiertas en la campaña referida: 12 estaciones en plataforma entre 50 y 200 m; cuatro en talud entre 200 y 1.500 m; y 16 en zona profunda entre 1.500 y 4.000 m.

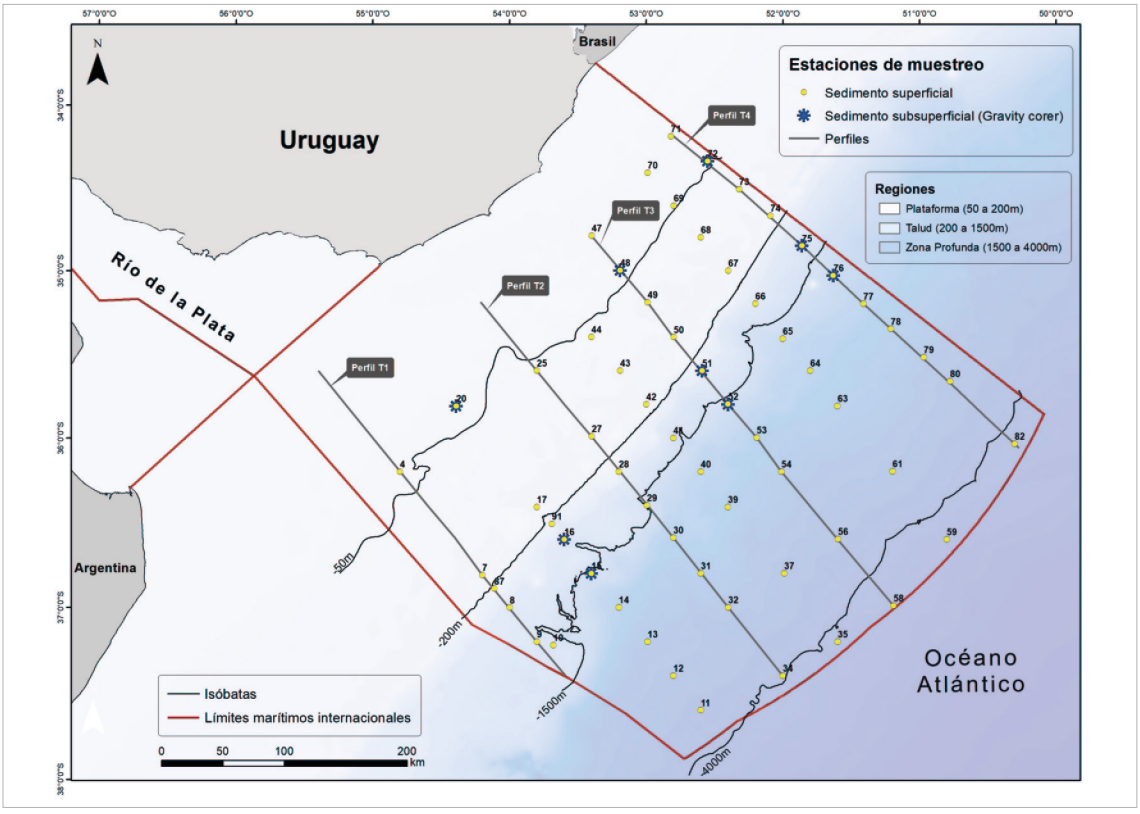


Figura 1: Diseño de muestreo y zonas del estudio. Adaptado de Advisian (2016).

Las estaciones estuvieron distribuidas en cuatro transectos (T1-T4, figura 1). Para cada estación se calcularon las siguientes variantes del índice TRIX de acuerdo con Vollenweider *et al*. (1998): TRIX-NP (concentraciones de nitrógeno y fósforo total, NT y PT); TRIX-mNP (considera especies inorgánicas nitrogenadas y PT) y el TRIX-mNPO4 (utiliza especies inorgánicas nitrogenadas y fósforo inorgánico, ortofosfato). Además, para el cálculo de los tres índices se consideraron las concentraciones de clorofila-a y el porcentaje de saturación del oxígeno. De acuerdo con los valores de estos índices se asignaron las siguientes categorías de estado trófico: oligotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico y eutrófico, según Giovanardi y Vollenweider (2004). Mediante pruebas no paramétricas (U-Mann Whithney y Kolmogorov-Smirnoff), se exploraron diferencias en los índices TRIX y en las concentraciones de nutrientes entre zonas (plataforma, talud y zona profunda) y transectos (1 a 4), considerando como réplicas las estaciones dentro de cada zona o transecto.

Variabilidad entre zonas

Los índices TRIX presentaron diferencias en la clasificación del estado trófico según la zona del estudio. Se encontró una disminución del estado trófico en el sentido plataforma-talud, con un mayor estado trófico en zonas de plataforma-borde plataforma y menor estado trófico en la zona de talud (figura 2). En plataforma y talud los índices TRIX oscilaron entre 5 y 7 —TRIX NP: 5,8 ± 0,5 (x ± DS); 5,6 ± 0,4; TRIX mNP: 5,8 ± 0,6; 5,7 ± 0,6; y TRIX mNPO4: 6,0 ± 0,7; 6,0 ± 0,6—, que corresponden a ambientes clasificados como mesoeutróficos a eutróficos. En la zona profunda, los ambientes se catalogaron como oligotróficos a mesoeutróficos y presentaron mayor variación que en las otras dos zonas —3-6; TRIX NP: 4,7 ± 0,4; TRIX mNP: 4,1 ± 0,6; y TRIX mNPO4: 4,0 ± 0,8— (figura 2). Los tres índices presentaron diferencias significativas entre zonas y es la zona profunda (1500-4000 m) la que se diferenció respecto a plataforma y talud ($Z = -2,69$, $Z = -4,02$; $p < 0,01$). El índice TRIX mNPO4 presentó mayores valores que el TRIX NP y TRIX mNP en plataforma y talud, mientras que el TRIX NP mostró mayores valores en la zona profunda que los restantes dos índices (figura 2). Estas diferencias podrían estar asociadas a una mayor disponibilidad de fracciones de nutrientes inorgánicos disueltos en plataforma o talud, mientras que en la zona profunda habría mayor disponibilidad de nutrientes totales. Esta disponibilidad de nutrientes estaría condicionando el estado trófico del sistema.

Variabilidad entre transectos

El máximo absoluto (7,3) para los diferentes TRIX calculados se encontró en el transecto 1, que presentó estaciones con estado mesotrófico, mesoeutrófico y eutrófico (5,4-7,3). Los transectos 2 a 4 presentaron una disminución en los valores del TRIX en el orden T2 > T3 > T4, cuyas estaciones se caracterizaron como mesoeutróficas a oligográficas (6,5-3,0). Las estaciones que reflejaron condiciones más pobres en nutrientes (índices entre 3,5 y 5) se encontraron en T3 y T4 en la zona de talud (figuras 1 y 3).

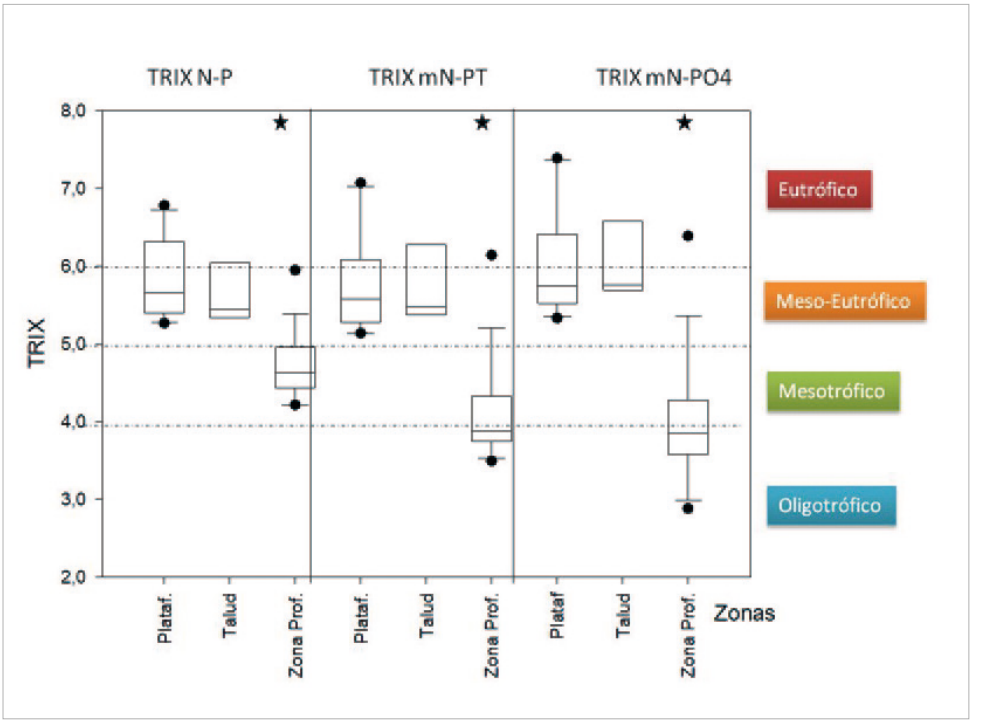


Figura 2: Box plot *de los índices TRIX (TRIX NP, TRIX mN-PT y TRIX mNPO4) por zonas de estudio; la estrella indica diferencias significativas.*

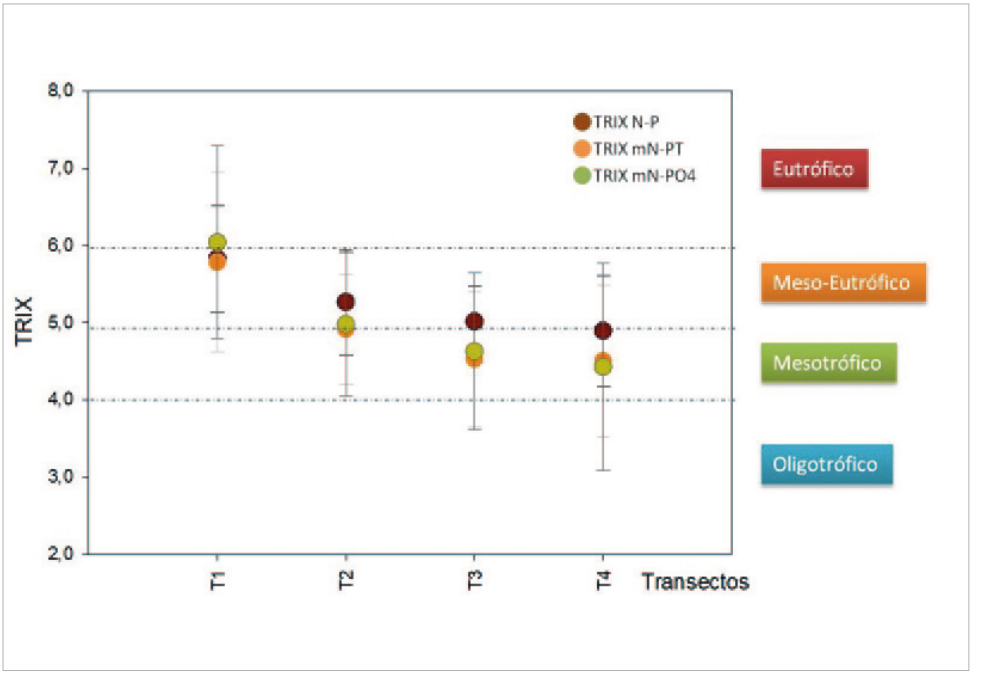


Figura 3: Promedios (±DS) de los índices TRIX por transecto (T1-T4) de muestreo.

El índice basado en nutrientes totales (TRIX-NP) fue diferente entre el T1 por una parte y el T3 y el T4 por otra ($Z = -2,4$, $p < 0,01$, $Z = -1,9$, $p < 0,05$), en tanto aquellos basados en fracciones inorgánicas (TRIX mN-PT y TRIX mNPO4) no presentaron diferencias significativas. Los meses de colecta (abril y mayo de 2016) coincidieron con un evento de El Niño calificado como extremo (4), que ocasionó caudales máximos históricos del Río de la Plata —55.814 $m^{-3}s^{-1}$ y 46.899 $m^{-3}s^{-1}$ en abril y mayo, respectivamente (Nagy *et al.*, 2023)—. Dado que los resultados de los índices TRIX aquí reportados consideran concentraciones en zonas superficiales de la columna de agua, es posible especular que la RPP pudo haber favorecido una mayor presencia de nutrientes (totales y disueltos) en plataforma y talud en toda la extensión de T1 al momento de realizar las observaciones. Por otro lado, estos resultados coinciden con lo indicado por Manta *et al.* (2022) con respecto a los máximos valores de nutrientes encontrados durante esta campaña oceanográfica (ver apartado Condiciones químicas). Adicionalmente, la influencia de la RPP también habría contribuido al registro de los máximos valores de clorofila en el presente estudio (5,78 ugL^{-1}) en plataforma (estación 23, T2). Es importante señalar que incrementos del índice TRIX han sido observados previamente durante eventos de El Niño en la zona costera de Montevideo, señalando un mayor flujo de nutrientes desde la cuenca del RdlP (Brugnoli *et al.*, 2019, 2020). Los índices TRIX aquí reportados —principalmente para T1— podrían representar estadios ambientales "extremos" de un gradiente trófico en la ZEE relacionados con una alta descarga del RdlP durante el período de estudio.

Es importante tener en cuenta el carácter preliminar de estos resultados, dado que corresponden a una observación puntual en el tiempo en aguas superficiales (5 m). A futuro sería interesante incorporar al análisis el comportamiento de estas variables (clorofila, oxígeno disuelto, nutrientes) e índices tróficos en las diferentes profundidades de la columna de agua.

Ambiente de fondo: principales características macrofaunales y aspectos biogeoquímicos y sedimentológicos asociados

En este apartado se sintetiza el conocimiento existente sobre las comunidades macrofaunales y las características generales del sustrato en la ZEE. La estructura geológica y sedimentológica son abordadas en profundidad en los capítulos 2.1 y 2.2 de esta publicación, por ello en este nos limitamos a aquellos elementos relevantes como potenciales determinantes de los patrones de distribución de las especies presentes. En el trabajo de Rodríguez *et al.* (2014) se recopila la información biológica del ambiente sedimentario generada hasta el momento. En 2016 surge como un antecedente que generó nuevos datos el informe ambiental y biológico solicitado por ANCAP a la empresa Advisian (2106). Parte de esos datos serán discutidos y presentados en el presente capítulo, complementando el trabajo de Rodríguez *et al.* (2014) y una recopilación más reciente de anélidos poliquetos realizada por Muniz *et al.* (2017) sobre datos existentes hasta 2015.

Más recientemente, el trabajo de Limongi (2023) incluye una biorregionalización de los hábitats bentónicos y su fauna, con la tipificación de cada una de dichas biorregiones y la identificación de ecosistemas y especies vulnerables de particular interés para la conservación.

Biogeoquímica de los sedimentos de fondo y la materia orgánica sedimentaria

La interfaz agua de fondo-sedimentos marinos de las cuencas oceánicas representa una de las interfaces más extensas y dinámicas de la Tierra y nuestro conocimiento de los procesos y flujos a través de ella es bastante limitado. Esta interfaz se extiende unos pocos centímetros a decímetros hacia arriba en la columna de agua, es decir, en la capa límite bentónica (Boudreau y Jørgensen, 2001), así como unos pocos centímetros a decímetros en los sedimentos, o sea, en la capa superficial activa bioturbada (Aller, 2014). Sirve como hábitat para los organismos asociados a los sedimentos marinos, gobierna la partición del material que se entierra o recicla y actúa como filtro para los registros paleoceanográficos (Rhoads, 1974). Los procesos en la capa de sedimentos superficiales determinan si los restos de organismos (materia orgánica, sílice biogénico) se reciclan dentro de la biosfera (ciclo a corto plazo) o se transfieren a la geosfera (ciclo a largo plazo) y, por ello, esta funciona como una interfaz clave en el sistema Tierra, con un rol regulador del clima del planeta (Middelburg, 2018). Los márgenes continentales juegan un rol fundamental en los ciclos biogeoquímicos globales, son regiones de intensa actividad biológica y representan sitios claves de enterramiento de materia orgánica en los sedimentos del fondo marino. Los trabajos de Pita Magnou (2017) y de Advisian (2016), que analizan marcadores biogeoquímicos en muestras de sedimento superficial, son los únicos ejemplos de estudios que abarquen un rango de profundidad considerando toda la ZEE.

Abarcando profundidades de entre 170 y 923 m, con base en muestras provenientes del B/O Miguel Oliver colectadas durante la campaña realizada en 2010 en el marco del proyecto de cooperación entre la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO), Pita Magnou (2017) mostró que la heterogeneidad biogeoquímica espacial del margen continental uruguayo, asociada a la complejidad y la variabilidad de los procesos oceanográficos y sedimentarios y a la topografía del área, determina los aportes y la distribución de la materia orgánica en el fondo marino. En el estudio, de manera general, se concluye que el área de estudio (figura 4), según la concentración de biopolímeros (carbohidratos, lípidos y proteínas totales en el sedimento), se caracteriza por ser un sistema eutrófico con gran acumulación de materia orgánica. Los n- alcanos presentaron una distribución bimodal, indicando un origen mixto de la materia orgánica con una contribución autóctona bacteriana y alóctona continental, cuya principal fuente son las plantas de tipo C4 o gramíneas. El aporte continental estaría asociado a la cobertura vegetal de las áreas donde drenan los ríos Uruguay, Paraná y sus afluentes, los cuales desembocan en el RdlP y zonas costeras (Pita Magnou, 2017). Se observó también la presencia de microeucariotas, así como de bacterias, tanto aeróbicas

como anaeróbicas, en todas las estaciones, sugiriendo la coexistencia o alternancia de condiciones de óxido-reducción en los sedimentos. La presencia de micoreucariotas (microalgas y microzoobentos) en el área de estudio corrobora también un origen autóctono marino de la materia orgánica, cuyos aportes derivan de la productividad primaria y secundaria en la columna de agua. Se observó una mayor acumulación de materia orgánica en los cañones submarinos y en los canales que desembocan en ellos. La zona sur del margen continental uruguayo presenta un importante aporte pelágico de materia orgánica lábil, asociado a la posición de las zonas frontales (CBM y FSTP y la influencia de las aguas continentales del RdlP) y a un ambiente depositacional. En contraste, en las zonas media y norte del margen continental uruguayo existe un mayor aporte de materia orgánica continental, asociado a la influencia de la RPP y zonas costeras adyacentes. La prevalencia de material orgánico de origen terrestre refractario o recalcitrante en estas zonas está asociada también al transporte de sedimentos (contorníticos y turbidíticos), que redistribuye y retrabaja los sedimentos y el material orgánico asociado a ellos a lo largo de la plataforma y hacia afuera de ella.

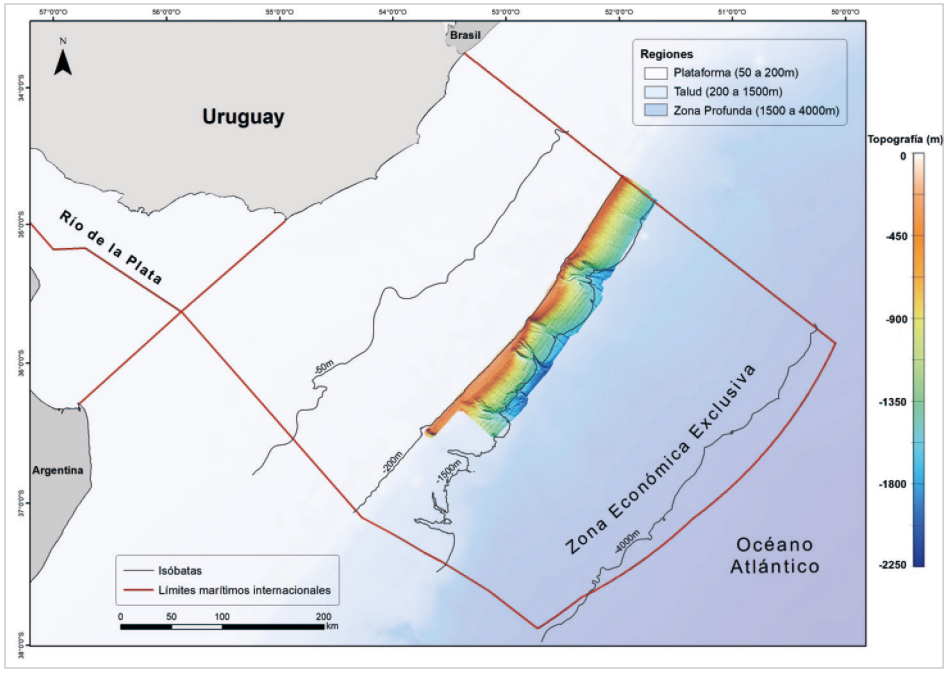


Figura 4: Área de estudio y regiones delimitadas, con indicación de la plataforma, el talud y la zona profunda. En mayor detalle, topografía de la zona de talud. Adaptado de Pita Magnou (2017).

De acuerdo con los resultados del estudio de Advisian (2016), con base en un muestreo que abarca todo el margen continental uruguayo (aproximadamente 70 estaciones en el área demarcada en la figura 1), la composición granulométrica muestra una tendencia al

descenso gradual del tamaño de partícula a medida que se avanza desde el frente costero de la desembocadura del RdlP (perfil arenoso) en dirección a la plataforma brasileña y hacia mayores profundidades del talud inferior, con altos porcentajes de sedimentos finos (figura 5). Los metales y metaloides (elementos mayoritarios y traza) muestran una tendencia correspondiente a niveles de base de los sedimentos en esta zona y no existe de manera clara ninguna relación con indicios de contaminación antrópica, siguiendo un patrón de distribución superficial relacionado con el aumento de profundidad desde la plataforma hacia los fondos del talud continental y con el porcentaje de sedimentos finos. Se destaca también una moderada correlación entre las concentraciones de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total (NT) en los sedimentos, lo que sugiere que el nitrógeno es principalmente de origen orgánico y que sus aportes inorgánicos (por ejemplo, partículas detríticas minerales) son poco significativos. Ambos máximos (COT y NT) ocurren en la zona intermedia del área de estudio, con los menores valores hacia la costa (figuras 6 y 7), coincidiendo con el aumento del tamaño de los sedimentos. El valor máximo de NT (1,07%) se encuentra formando parte del talud medio en la zona sur, en la vertiente hacia el RdlP, y coincide con los máximos de COT encontrados para los sedimentos superficiales. En esta región la serie de cañones submarinos, así como arroyos o canales (Muñoz Recio *et al*., 2010; Franco-Fraguas *et al*., 2014; Pita Magnou, 2017), conforma el sistema de drenaje del margen continental y actúa canalizando, a modo de "ríos submarinos", la materia orgánica y los sedimentos procedentes de la superficie terrestre, hacia la llanura abisal. Además, los cañones, al ser responsables de los afloramientos locales, resultan en zonas de gran productividad, donde se producen elevadas biomasas, muy superiores a las de zonas adyacentes del talud. Las corrientes que actúan sobre estos fondos se intensifican particularmente en los cañones, dando lugar a procesos de resuspensión de sedimentos orgánicamente enriquecidos. En las zonas del talud medio e inferior es donde ocurren las concentraciones mayores de COT, coincidiendo este patrón con los estudios realizados a escala del Atlántico Sudocidental. Hensen et al. (2000) ya habían identificado un alto contenido de materia orgánica en el talud inferior continental frente a la desembocadura del RdlP.

Con relación al origen de la materia orgánica, los valores de δ13C y C/N indican valores típicos de aportes marinos (figura 8) (Meyers, 1997; Prahl *et al*., 1994), al igual que los de δ15N (Robinson et al., 2012), aunque estos últimos muestran mucho más dispersión en los sedimentos de la plataforma que a partir del borde del talud, de acuerdo al estudio realizado por Advisian (2016).

En sintonía con los resultados observados en su conjunto para los compuestos relacionados con la composición y la distribución de la materia orgánica (δ13C y δ15N, relación C/N, COT y NT, y biomarcadores), los investigadores de Advisian (2016) resaltan, al igual que Pita Magnou (2017), que en los sedimentos de la ZEE uruguaya la materia orgánica tiene una composición mixta de compuestos de origen marino, derivados principalmente de microalgas planctónicas y terrígenos, derivados, a su vez, de plantas superiores.

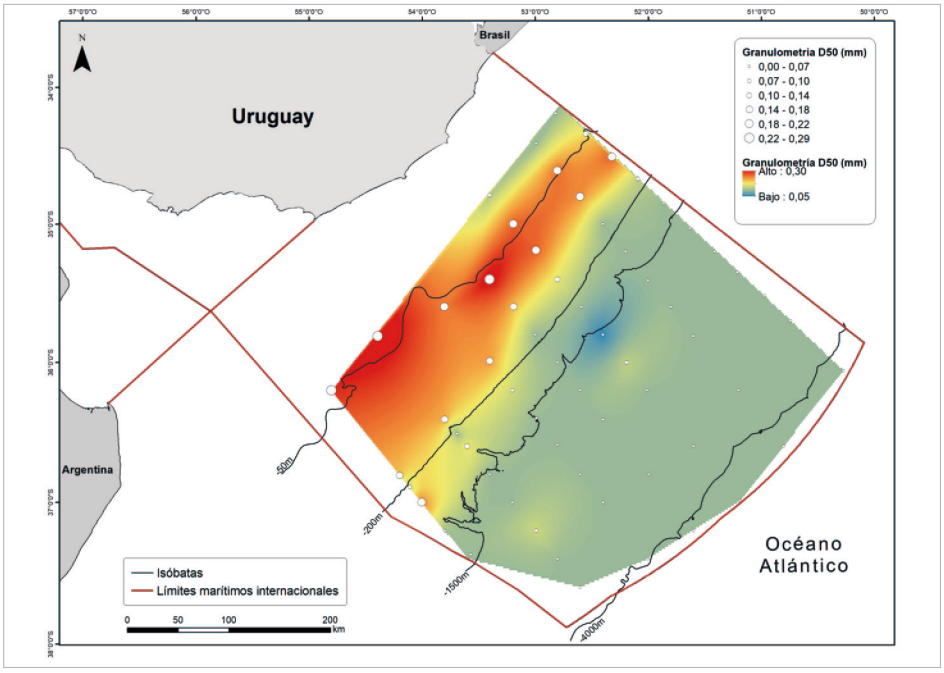


Figura 5: Granulometría de sedimentos superficiales. Datos de D50 en mm. Adaptado de Advisian (2016).

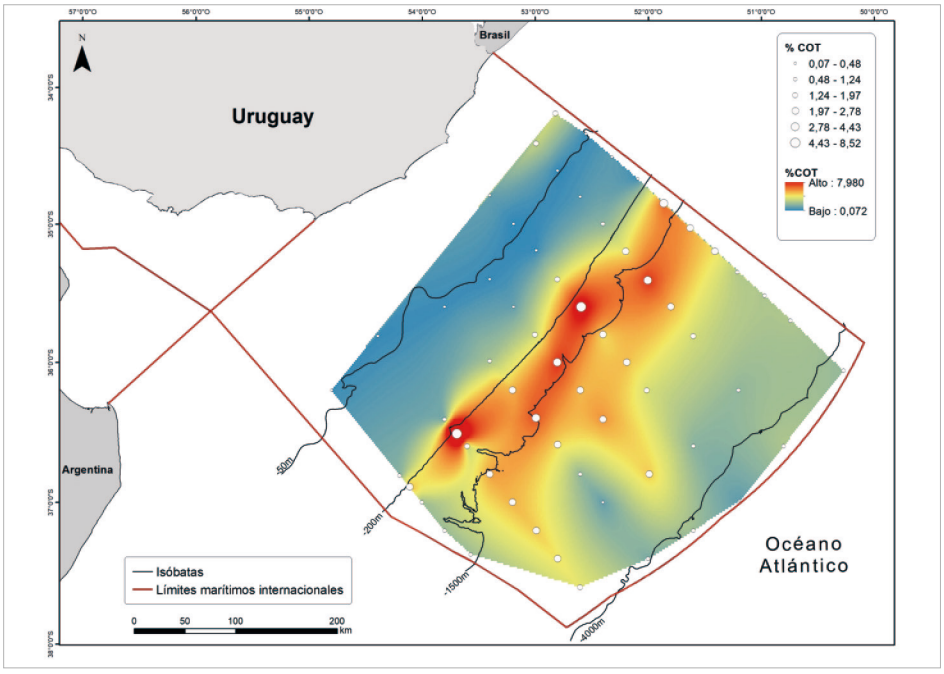


Figura 6: Carbono orgánico total (%COT) en sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

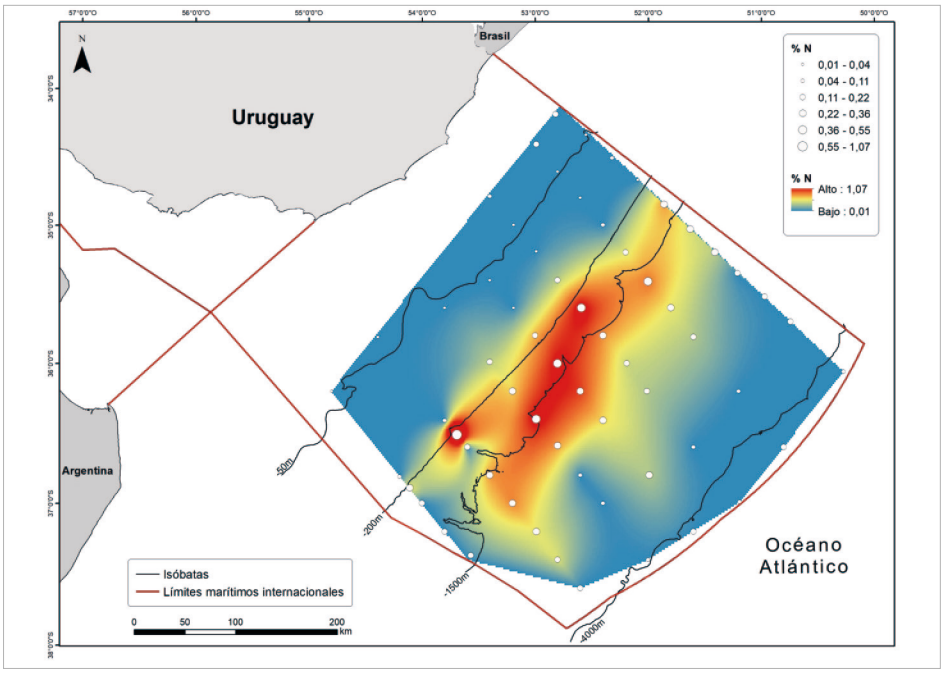


Figura 7: Nitrógeno total (%N) en los sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

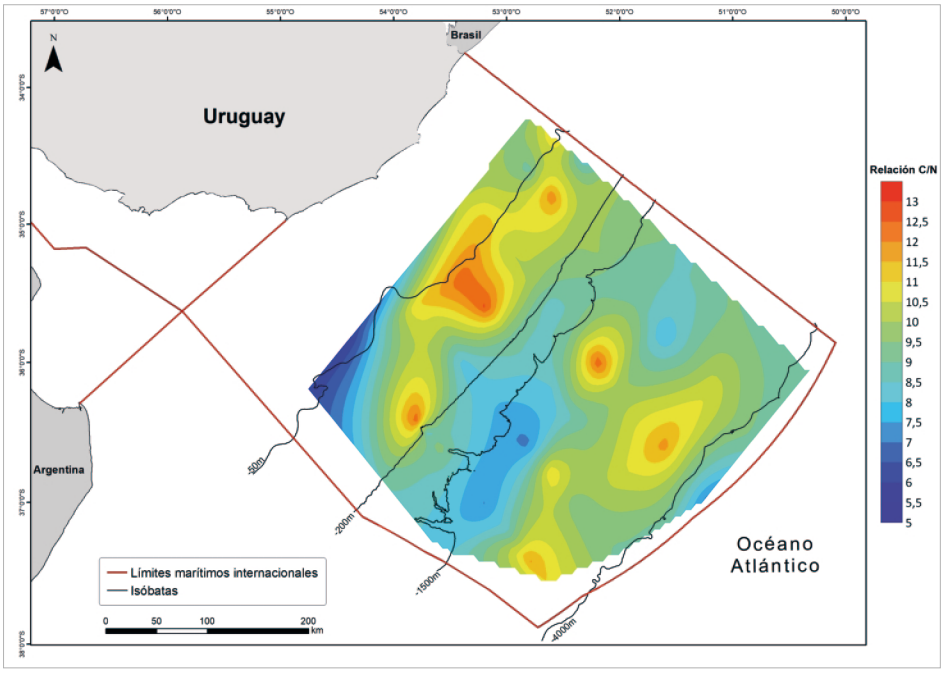


Figura 8: Relación C/N en los sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

Macrofauna bentónica de fondos blandos de la ZEE

El conocimiento de la composición, la estructura y el funcionamiento de las comunidades bentónicas es crítico para poder entender y mitigar los efectos de la acción humana en los ecosistemas marinos de aguas profundas, los cuales experimentan una presión creciente debido a demandas globales de recursos naturales renovables y no renovables (Smith *et al*., 2008).

Para los organismos bentónicos, la ZEE uruguaya constituye una región muy singular desde el punto de vista biogeográfico, al presentar una importante heterogeneidad oceanográfica asociada a la interacción entre el RdlP y masas de aguas subtropicales y subantárticas. A pesar de esto y de su enorme importancia ecológica y socioeconómica, esta biodiversidad ha sido históricamente poco estudiada en el Uruguay. Existe un volumen relativamente pequeño de bibliografía referida a la composición de las comunidades de macrofauna y su distribución en aguas uruguayas, y más especialmente si se considera toda la ZEE. Esa literatura se concentra sobre todo en la región más costera (Scarabino, 2006) y claramente disminuye de manera alarmante a medida que vamos hacia profundidades mayores en el océano abierto (Rodríguez *et al*., 2014; Muniz *et al*., 2017). Ello se traduce, como regla general, en un grado de conocimiento relativamente pobre para la mayoría de los grupos taxonómicos, la excepción de esta regla la constituyen los moluscos y los anélidos poliquetos, para los cuales existen algunos importantes antecedentes de revisión y sistematización de la información existente, los cuales han sido recopilados básicamente en Scarabino (2006), Rodríguez *et al*. (2014) y Muniz *et al*. (2017). A modo de ejemplo, en Rodríguez *et al.* (2014) surge que, a partir de 2.073 registros de especies de moluscos bentónicos para la región de la ZEE uruguaya, se identificaron 275, de los cuales los mejor representados (266 especies) son los bivalvos, seguidos de los gasterópodos. Los autores destacan también que el conocimiento sobre la ecología de los gasterópodos es en general más completo. Las clases menores de moluscos reunían por ese entonces apenas 9 especies.

Dentro del grupo de los poliquetos (*Annelida polychaeta*), el trabajo pionero de Scarabino (2006) sobre faunística de organismos bentónicos de la zona costera de Uruguay reporta cerca de 200 especies (pertenecientes a 28 familias) y abarca la zona intermareal hasta aproximadamente la isóbata de 50 m, tanto sobre el Río de la Plata como del océano Atlántico (figura 9). Complementariamente, el trabajo de Rodríguez *et al*. (2014) focalizó especialmente en aguas de la plataforma interna para océano abierto (profundidades mayores de 50 m), destacando la presencia de al menos 138 especies/taxa (agrupadas en 34 familias) (figura 9), con registros cercanos hasta los 1.000 m de profundidad. A pesar de existir pocos antecedentes sobre macrofauna bentónica en general para el área de estudio, el filo *Annelida polycaheta* siempre se destacó como el grupo más abundante, patrón común global en fondos sedimentarios de plataformas continentales.

La tabla 1 resume el número de especies/taxa distribuidas por familia de poliquetos registradas hasta el año 2015 en la ZEE de nuestro país, de acuerdo con Muniz *et al*.

(2017). Desde el submareal somero hasta los 50 m (plataforma interna) se destaca la presencia de 197 especies/taxa distribuidas en 39 familias, 28 de ellas son exclusivas de la plataforma interna. Por su parte, los fondos sedimentarios (compuestos por fangos y arenas en cantidades similares) de la plataforma (> 50 m < 200 m) muestran un claro dominio de depositívoros (12 familias) y poca presencia de suspensívoros (3 familias).

En esta región fueron registradas 91 especies/taxa (34 familias), 50 de las cuales son exclusivas (Muniz *et al*., 2017). Las familias más extendidas espacialmente son *Eunicidae*, *Onuphidae* y *Lumbrineridae*, mientras que *Amphinomidae*, *Chrysopetalidae*, *Cossuridae*, *Hesionidae*, *Magelonidae*, *Polygordiidae* y *Sabellariidae* fueron las menos distribuidas espacialmente en esta región de la plataforma. En los fondos batiales (entre los 200 y los 1.000 m de profundidad), caracterizados por sedimento limo/arcilla, se han registrado en la ZEE uruguaya, de acuerdo con Rodríguez *et al*. (2014), 27 especies/taxa, de las que apenas 14 son exclusivas. Los mismos autores resaltan que hasta el año 2014 en profundidades mayores a 1000 m (zonas abisales) existían registros de sólo 5 especies, 3 de las cuales serían exclusivas para la región, ellas son *Eulagisca corrientis*, *Harmothoe fusca* y *Syllisro bertianae*. De acuerdo con estos mismos autores, el conocimiento del grupo es muy fragmentado y resulta claro que este disminuye con la distancia de la costa, por lo que la intensificación de los estudios sería recomendable, máxime considerando los diversos proyectos que focalizan la explotación de recursos naturales (renovables y no renovables) en prácticamente toda la extensión del territorio costero y marítimo del país. Sin embargo, resaltan la alta diversidad y riqueza de especies (313 especies y 42 familias, tabla 1), la cual sin duda debe aumentar a medida que se intensifiquen los estudios.

La campaña realizada por el B/O Miguel Oliver en el año 2010 constituye un rápido relevamiento oceanográfico que abarcó profundidades de entre 170 y 923 m de la ZEE uruguaya y sus resultados se presentaron en el *Informe de campaña Uruguay – 0110* (Muñoz Recio *et al.*, 2010). En este documento se describen de manera preliminar los principales organismos colectados y del análisis de sus resultados se desprende que se trata de una región muy diversa desde el punto de vista faunístico y que merece ser tenida en cuenta con fines de conservación por la gran heterogeneidad de hábitats que alberga. El hallazgo más relevante a destacar en términos de fauna bentónica lo constituyó el registro del coral azoxantelado *Lophelia pertusa*, especie que ya había sido citada para aguas de la ZEE uruguaya, pero en esta oportunidad se registraron para este especie 11 arrecifes, asociados a montículos del fondo marino previamente detectados con métodos acústicos. Se logró identificar, muestrear y mapear la totalidad de estos montículos y se verificó de manera directa, mediante el muestreo con draga de roca, la presencia de coral. Sin embargo, Rodríguez *et al*. (2014) resaltan que no todas las estructuras presentaban coral vivo, lo que sugiere que el estado de conservación de algunas de estas estructuras podría despertar preocupación. Estos montículos, al generar una estructura tridimensional masiva, proveen de refugio a una multitud de especies (Muñoz Recio *et al*., 2010; Rodríguez *et al*., 2014).

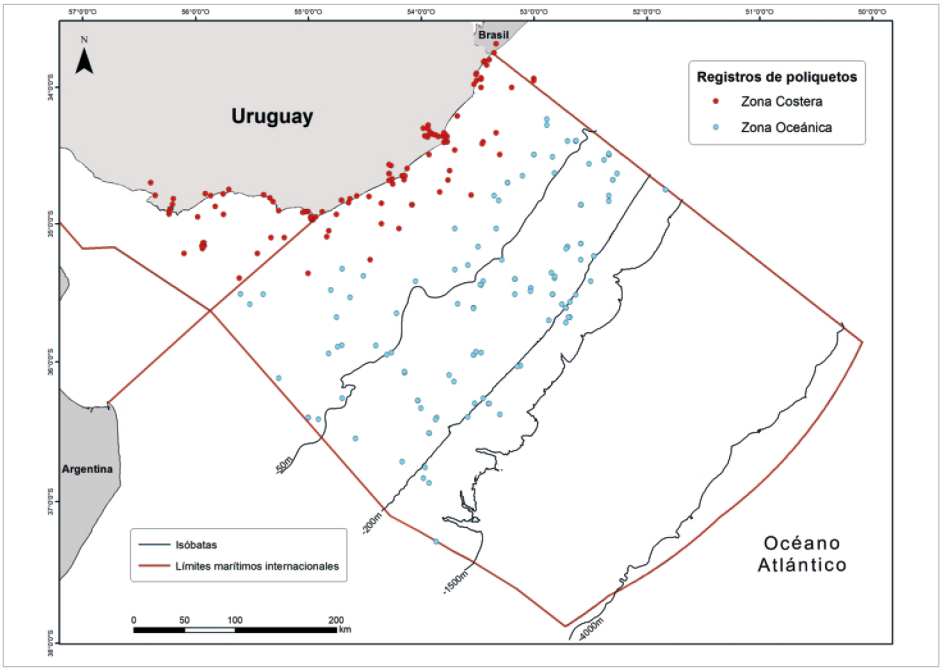


Figura 9: Registro de poliquetos, costa y plataforma interna oceánica. Adaptado de Muniz et al. *(2017).*

El trabajo de Advisian (2016) es el antecedente más reciente sobre macrofauna en la ZEE uruguaya. En este informe se analiza buena parte de los resultados de la campaña realizada por la empresa en 2016. Del análisis de 154 muestras correspondientes a 77 estaciones de muestreo (entre 50 y 4.200 m de profundidad), se contaron 8.872 organismos distribuidos en 284 taxones. De ellos, los anélidos poliquetos fueron los más abundantes (57%). Luego se destacan los filos *Nematoda* (15%), *Mollusca* (12%) y *Arthropoda* (10%, incluyendo malacostraca (crustáceos) y ostracoda (ostrácodos). Los poliquetos se distribuyeron en 42 familias (173 taxones), de las cuales 12 presentan un porcentaje superior a 1% respecto al total de los poliquetos identificados. Los autores destacan varias familias asociadas a ambientes deficitarios en oxígeno como las especies indicadoras de contaminación o de enriquecimiento orgánico (Elias *et al.*, 2021; por ejemplo, *Capitellidae* y *Cirratulidae*). En términos generales, las familias *Dorvilleidae* y *Orbinidae* presentaron más de un 15% del total de los organismos colectados cada una, destacándose las especies *Ophriotrocha* sp. A y *Leitoscoloplos* sp. A. A su vez, *Ampharetidae*, *Capitellidae*, *Maldanidae*, *Cirratulidae*, *Paraonidae* y *Spionidae* se destacan por la alta riqueza de especies/taxa (entre 10 y 17 cada una). La figura 10 ejemplifica el patrón de distribución de especies/taxa por familia de poliquetos para toda el área de la ZEE uruguaya y se constituye en el antecedente más reciente y, en cierto modo, completo para el área.

Al conocimiento existente (Rodríguez *et al.*, 2014), este último estudio agrega el registro

de 10 familias de poliquetos que se observan por primera vez en aguas uruguayas, algunas de las cuales presentan una moderada abundancia, como *Travisiidae*, que se localiza en varias regiones del talud. Entre las familias de poliquetos presentes en la parte más profunda de la ZEE uruguaya (*Capitellidae*, *Cirratulidae* y *Paraonidae*), *Cirratulidae* es la más importante, lo cual es una característica común a otras zonas de aguas profundas (Blake, 2006).

De manera general, en la ZEE uruguaya la profundidad juega un papel fundamental en determinar la estructura de la comunidad macrobentónica y se observa un claro gradiente negativo de abundancia, riqueza específica y diversidad con el aumento de la profundidad (Advisian, 2016). Se resalta también que dicho gradiente no parece ser lineal, sino que existen valores bajos en los extremos (zona somera y profunda) y más altos en las zonas intermedias. Los valores elevados de abundancia en las zonas de talud y cañones se deben a un mayor flujo de materia orgánica, ya que actúan como zonas de transición o ecotonos entre los fondos someros y profundos (Vetter y Dayton, 1998).

Tabla 1: Especies/taxa registradas en la ZEE Uruguaya hasta el año 2015, discriminadas por familia de Annelida polychaeta. Adaptado de Muniz et al., 2017.

Familia	Número de especies/taxa	Familia	Número de especies/taxa
Ampharetidae	7	*Onuphidae*	16
Amphinomidae	1	*Opheliidae*	5
Capitellidae	11	*Travisiidae*	3
Chaetopteridae	5	*Orbiniidae*	9
Chrysopetalidae	4	*Oweniidae*	1
Cirratulidae	8	*Paraonidae*	10
Cossuridae	3	*Pectinariidae*	3
Dorvilleidae	6	*Phyllodocidae*	6
Eulepethidae	2	*Pilargidae*	12
Eunicidae	8	*Polygordidae*	1
Flabelligeridae	5	*Plynoidae*	13
Glyceridae	10	*Sabellaridae*	7
Goniadidae	10	*Sabellidae*	8
Hesionidae	4	*Saccocirridae*	1
Lumbrineridae	19	*Scalibregmatidae*	1
Magelonidae	2	*Serpulidae*	7
Maldanidae	18	*Sigalionidae*	1
Nephtydae	10	*Spionidae*	27
Nereididae	5	*Syllidae*	8
Notocirridae	5	*Terebellidae*	13
Oenonidae	13	*Trichobranchidae*	2

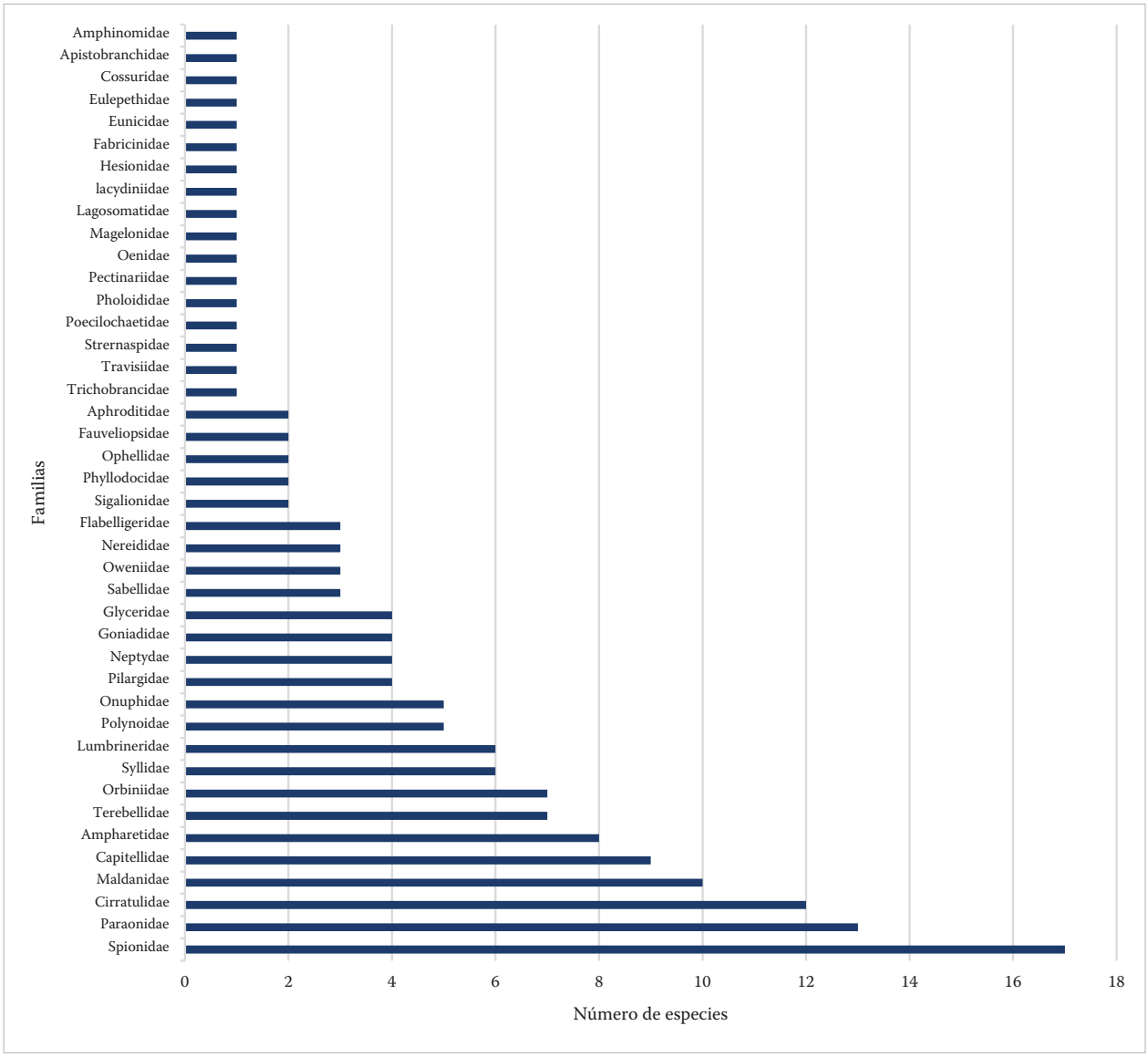


Figura 10: Número de especies según la familia de Polychaeta*. Adaptado de Advisian (2016).*

Los valores más elevados de riqueza y diversidad específica en la ZEE uruguaya están relacionados con la presencia de corales de aguas frías (*Lophelia perthusa*) (Carranza *et al*., 2012). Estas especies, consideradas ingenieros ecosistémicos (Jones *et al*., 1994), son organismos que pueden directa o indirectamente modular la disponibilidad de recursos para otras. En este caso, podrían modificar, mantener y crear hábitats gracias a sus propias estructuras.

El estudio de Advisian (2016) constituye también una primera contribución al conocimiento de los patrones de distribución espacial de bivalvos, anfípodos e isópodos de

la región, especialmente en lo que respecta a profundidades mayores de 1.000 m. Entre los bivalvos se incluyen 16 taxones, pero más del 95% de la abundancia se debe únicamente a las familias *Yoldidade* y *Lucinidae*, muy abundantes en algunas estaciones del talud. Dentro de malacostraca, el orden más abundante es el de los anfípodos (18 familias que incluyen 18 géneros y especies), entre los que se destacan *Ampeliscidae*, *Phoxocephalidae* y *Lysianassidae*. La profundidad y el potencial redox (interpretado como disponibilidad de oxígeno disuelto en el sedimento) son los dos factores que más afectan la estructura de estas comunidades en particular y de la macrofauna en general. Las colonias coralinas, junto con las comunidades de fangos batiales y abisales, presentan gran interés científico por el escaso e incipiente conocimiento sobre ellos, tanto regional como global.

Consideraciones sobre ambiente y sociedad respecto al uso del océano global

La intensificación de la exploración y la explotación de recursos biológicos, minerales y energéticos en las zonas oceánicas profundas es un fenómeno global y progresivo en las últimas décadas (Almada y Bernardino, 2017). En ese contexto, la ausencia de datos de referencia e información de base sobre estructura y funcionamiento de los sistemas marinos, cuya disponibilidad es muy heterogénea entre diferentes sistemas, dificulta la capacidad de asesoramiento científico como insumo para la gestión ambiental.

Las típicas actividades asociadas al desarrollo industrial y energético en el mar (por ejemplo, explotación de petróleo y gas) generan impactos directos e indirectos durante las fases de exploración, implementación, operación y caducidad. Los impactos, y de manera general la forma de minimizarlos desarrolladas hasta el momento, están muy bien documentados (ver, por ejemplo, Cordes *et al.*, 2016). Abordar los múltiples tipos de efectos documentados sobre diferentes grupos de organismos, por ejemplo, ecotoxicológicos y sistémicos, derivados de operaciones de gran escala, excede el alcance de esta revisión. Sin embargo, cabe destacar que investigaciones recientes sugieren la necesidad de revisar y mejorar los indicadores utilizados y las escalas espaciales de sus alcances (Nielsen *et al.*, 2022; De Vries *et al.*, 2022), así como considerar y modelar los efectos de múltiples actividades en un mismo espacio marino (Fulton *et al.*, 2018).

Adicionalmente, una estrategia de gestión eficaz dirigida a minimizar el riesgo de daños ambientales significativos generalmente incluirá regulaciones de la actividad en sí misma (por ejemplo, prácticas de descarga, materiales utilizados), combinadas con medidas espaciales (por ejemplo, áreas marinas protegidas) y temporales (por ejemplo, actividades restringidas durante períodos reproductivos críticos). La complejidad de las operaciones asociadas a cada etapa implica múltiples fuentes de riesgo a diferentes escalas espaciales, por lo que el saber de actores como ingenieros, operarios y previsionistas debería también ser tenido en cuenta.

El relevamiento de conocimiento existente acerca de los ecosistemas de aguas y fondos

sobre plataforma continental de la ZEE uruguaya y aguas internacionales sobre la plataforma extendida, que fuera sintetizado en apartados previos, permite identificar vacíos críticos de información. Este conocimiento y los vacíos de información resultan de especial relevancia, dado el creciente foco nacional e internacional en la intensificación, la diversificación y la regulación de los usos del espacio marino y sus recursos como forma de potenciar una economía oceánica sustentable. En efecto, la actual crisis de biodiversidad y el declive de poblaciones de relevancia pesquera en los sistemas acuáticos tienen su contraparte y se han asociado a los impactos de actividades extractivas, contaminación y cambio climático.

En este marco, la conservación de los océanos es específicamente considerada dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. La estrategia promovida desde las Naciones Unidas y el discurso dominante en los foros asociados de alto nivel como solución a este dilema es la "economía azul", entendida como la apuesta al crecimiento económico basado en una intensificación de la explotación de los océanos, que, simultáneamente, debería contribuir a mejorar la calidad ambiental y a proveer beneficios sociales globales. Este es un paradigma que identifica en el océano abierto, profundo, una nueva frontera para generar recursos orientados al bienestar humano. Desde esa perspectiva se desarrollan tres líneas de acción: programas de investigación (Década de los Océanos), negociaciones para ampliar las competencias de la Convención sobre el Derecho del Mar a aguas internacionales y programas de financiamiento para el desarrollo de una economía azul.

En el año 2021, con la coordinación de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), las Naciones Unidas anunciaron oficialmente el comienzo de la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sustentable. En este marco, se coordinaron y promovieron iniciativas de investigación oceánica con claro foco en el crecimiento económico basado en el uso de tecnologías novedosas que permitirían una expansión sustantiva en el uso del océano. En paralelo, se apuesta a proveer insumos para generar una gobernanza capaz de lograr el crecimiento buscado sin poner en riesgo el ambiente que le daría sustento.

En particular, diversos análisis identifican que los beneficios económicos derivados de las actividades oceánicas podrían incrementarse en un orden de magnitud y multiplicarse por seis el volumen de alimentos que hoy se extraen del mar.[2] Estos lineamientos funcionan como un fuerte incentivo para la movilización de finanzas hacia emprendimientos de economía azul —por ejemplo, el Foro Económico Mundial (2022)—, así como para definir y financiar agendas de investigación. Dada la transversalidad en las implicancias de las actividades oceánicas con otros objetivos de la misma agenda y su vínculo explícito con la economía azul, las iniciativas de investigación se complementan con el establecimiento de reglas de gobernanza en alta mar cuyo abordaje está siendo definido, junto al incentivo para la movilización de finanzas, aun ante la falta de información básica relevante (Amon *et al*., 2022) y evidencia de impactos sustantivos de emprendimientos

2 Información disponible en https://oceanpanel.org/

concretos (por ejemplo, minería del océano profundo; Washburn *et al*., 2023).

El concepto de "economía azul" (así como el de "crecimiento azul" y expresiones similares de uso corriente en la literatura de corriente principal) no deja de presentar un carácter ambiguo, lo cual genera un marco inconsistente que puede habilitar iniciativas contradictorias (Voyer *et al*., 2018). También se han identificado aspectos problemáticos en sus fundamentos (Brent *et al*., 2018), en tanto las soluciones promovidas suponen una profundización del marco económico y social que está en la base de la crisis ecológica y social global en la que estamos sumergidos.

El gran atractivo de la visión que conjuga crecimiento económico y sustentabilidad radica en la promesa latente de ser una salida para la actual crisis ambiental-económica-social planetaria. Dicha visión es sintetizada en el lema motivacional de la Década de los Océanos: "el océano que necesitamos para el futuro que queremos". Esta premisa supone la existencia de una comunidad global integrada por más de 180 países, donde están representadas las más diversas situaciones, culturas y sistemas de creencias y principios, relaciones de poder, vulnerabilidad, etcétera, pero que coincidiría en un mismo ideario, lo suficientemente "puro" (o "ambiguo"), que es hegemónico y que sería, en principio, entendido globalmente de la misma manera. Así, "el océano que necesitamos" representaría un océano cuyas características (consensuadas) efectivamente ya sabemos cuáles son y permitirían alcanzar el futuro deseado (también globalmente homogéneo). En ámbitos de alto nivel (por ejemplo, foros asociados a la UNESCO o la COI), estos atributos se presentan como consensuados aun sin explicitarse y se omite la discusión de posturas críticas fundamentadas académicamente, al tiempo que en un marco de multisectorialidad se fomenta activamente la participación de actores con gran capacidad de influencia y poder fáctico pero que no responden a estructuras democráticas representativas (por ejemplo, el Foro Económico Mundial).

La presentación de estas posturas hegemónicas sin consideración de alternativas y desde un discurso aparentemente inclusivo con amplio alcance en medios de difusión, tanto políticos como académicos y masivos, tiene como efecto enfocar los esfuerzos hacia una estrategia que se presenta como "la única posible", lo que, como resultado, desacredita ideológicamente —y no técnicamente— la formación y el alcance de visiones, análisis y enfoques alternativos. El discurso que promueve esta visión también omite evaluaciones profundas acerca de la distribución de costos y la concentración de beneficios, y su posterior configuración en estructuras de poder que profundizan la cooptación del discurso valido. Estos temas han sido discutidos y argumentados, por ejemplo, en cuanto a cómo la geopolítica crítica del cambio climático permite exponer narrativas en términos del nexo "conocimiento-poder" (Chaturvedi y Doyle, 2010). La historia de cómo han evolucionado conceptos fundamentales en el derecho internacional del mar muestra cómo este derecho se ha construido de la mano de los intereses y la influencia de poderes coloniales y su capacidad de incidir en ámbitos diplomáticos, donde se promueven sus intereses a través de elaborados discursos. Por tanto, si bien las ciencias oceánicas, junto con la innovación tecnológica, podrían

efectivamente proveer y ser utilizadas como base para la planificación espacial, el desarrollo de planes de contingencia o mitigación y la reducción de los niveles de impacto ecosistémico, y constituir así un elemento esencial para el manejo oceánico integrado, las condiciones iniciales, las necesidades y las visiones de futuro son efectivamente heterogéneas en los mapas políticos. Especialmente en países donde las tecnologías y los capitales necesarios no están disponibles, son de especial importancia los acuerdos entre el Estado y las entidades privadas (previsiblemente extranjeras, con o sin subsidiaria local), así como la planificación nacional que considere las formas de apropiación y el uso de los beneficios de los nuevos emprendimientos. Lo mismo vale para definir la distribución público-privada de los costos implícitos en generar el conocimiento de base necesario y los costos para el seguimiento de los impactos en la sociedad y en la calidad del ambiente, así como las formas de resolución de conflictos. Estas decisiones deberían estar orientadas por lineamientos emergentes de discusiones amplias e informadas dentro de las comunidades involucradas.

Las formas en que los beneficios de emprendimientos de explotación contribuyen al bienestar social o a la apropiación corporativa depende del tipo de administración que se defina en la dimensión política, como queda claramente ilustrado al comparar los modelos de administración de las reservas de hidrocarburos del Mar del Norte por parte de Noruega y Gran Bretaña (Nelsen, 2007). Esto introduce un eje de equidad y derechos humanos que es necesario considerar en las políticas oceánicas de nuestros países, ya que los pilares invocados internacionalmente sobre inversión, gobernanza y ciencia no resultan suficientes para alcanzar objetivos de justicia socioambiental y soberanía energética y alimentaria. Toda actividad humana tiene una interacción con el ambiente y sería deseable poder evaluar esa interacción a partir de los compromisos asumidos y con una agenda social adjunta.

Consideraciones finales

A pesar del esfuerzo realizado durante las dos últimas décadas, del importante trabajo de recopilación y curación de datos biológicos que ha existido en la comunidad científica nacional y de la preocupación ambiental y con fines de conservación que manifiestan el Estado y la sociedad en general, la información sobre la ZEE uruguaya sigue presentando grandes vacíos. Los datos existentes derivan básicamente de diversas campañas llevadas adelante a lo largo del tiempo en la zona de estudio, que no han logrado cubrir la ZEE uruguaya en un monitoreo oceanográfico. El enfoque de realizar campañas oceanográficas integradas y sistemáticas que cubran toda la extensión de la ZEE uruguaya, inclusive la de la plataforma, debería estar entre las prioridades de investigación por parte de los diferentes estamentos del Estado.

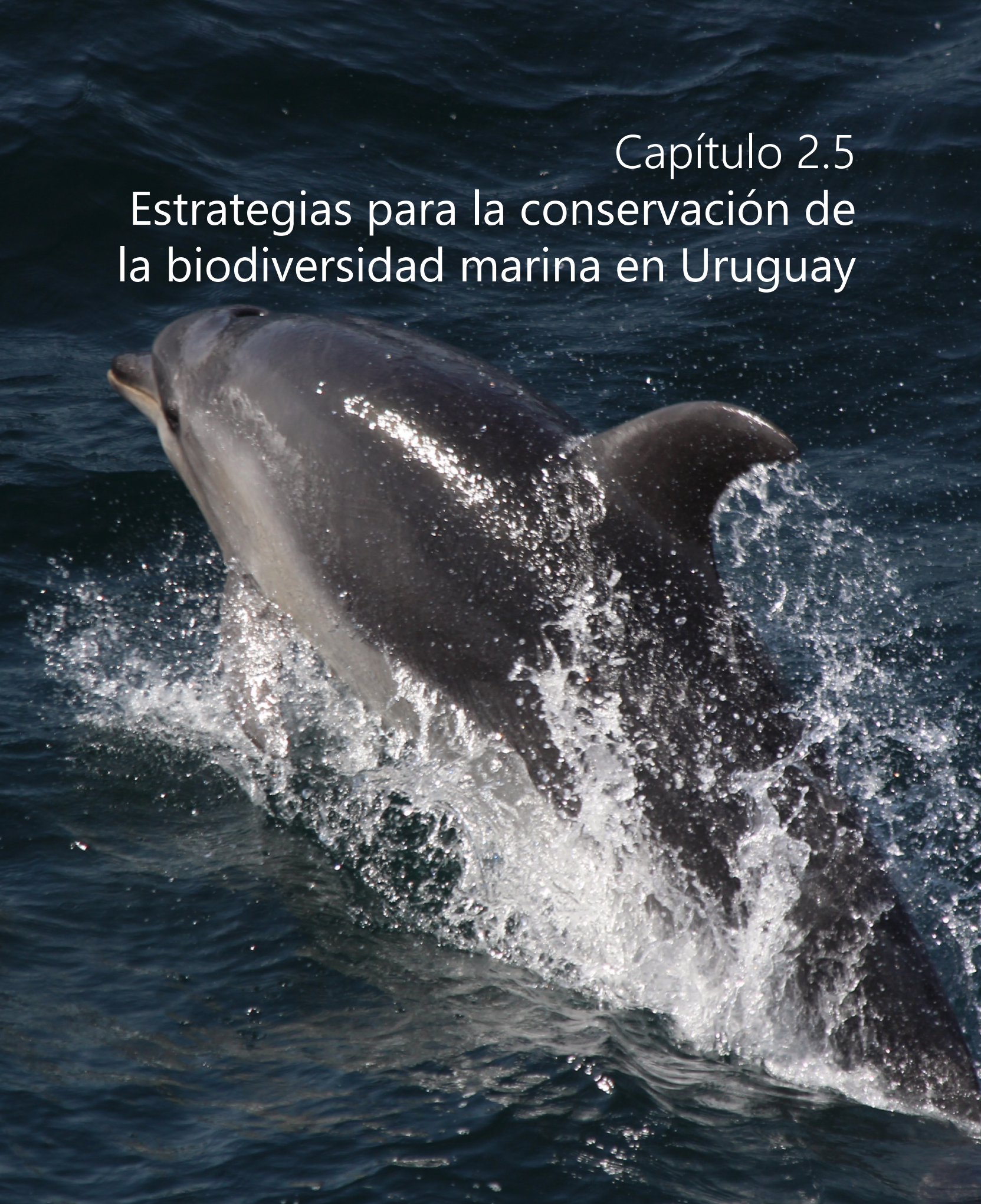
Ante cualquier escenario de explotación de los fondos marinos dentro de la ZEE, las acciones de conservación deben anticipar las subastas de licitación y la exploración de esas áreas. Generalmente, tales áreas carecen de una evaluación biológica o ecológica y ambiental adecuada previa y es probable, como se vio en este capítulo y en otros de este libro, que alberguen especies únicas y vulnerables. Dados su alto valor, su vulnerabilidad y los

crecientes intereses económicos sobre ella, para la conservación de la ZEE uruguaya es deseable e imperativo un compromiso científico y de partes interesadas coordinado, así como una priorización por las autoridades competentes de nuestro país. Se enfatiza que la definición de programas de investigación que apunten a prever, entender y monitorear los efectos de la creciente actividad humana en el océano deberían considerar instancias de puesta en común del conocimiento entre todos los profesionales y operarios experimentados involucrados en cualquiera de los aspectos que hacen a la puesta en marcha, el desempeño y la conclusión de operaciones de gran escala (diseño participativo). En el entendido que toda actividad humana tiene un impacto en el ambiente y es necesario considerar componentes de equidad y derechos humanos al diseñar y aplicar políticas relacionadas con el uso del mar, sería deseable considerar su pertinencia desde la óptica de la justicia socioambiental, contemplando una agenda social que priorice también la soberanía energética y alimentaria.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Muniz, P., E. Brugnoli, D. Calliari, N. Venturini y B. Yannicelli, 2024, Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas: estructura, funcionamiento y potenciales riesgos, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 153-181, doi: 10.70952/a8827tmuc2-4

Capítulo 2.5
Estrategias para la conservación de la biodiversidad marina en Uruguay



Avistamiento de delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*) realizado por los observadores de fauna marina embarcados en el Polarcus Amani (Nick Duthie y Federico Reyes), el 4 de diciembre de 2013 durante la campaña sísmica 3DBG12, *offshore* Uruguay. Se reportó que un grupo de cinco delfines fue observado transitando lentamente, saltando fuera del agua, se acercaron al buque sísmico a una distancia de 30 metros y luego se alejaron y se unieron a un grupo de calderones comunes (*Globicephala melas*).

Capítulo 2.5
Estrategias para la conservación de la biodiversidad marina en Uruguay

Sebastián Horta,[1] Mariana Ríos,[2]
Romina Trinchín[2,3] y Yamandú Marín[4,5]

[1] *Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Ministerio de Ambiente*

[2] *Departamento de Gestión Costera y Marina, Ministerio de Ambiente*

[3] *Departamento de Ciencias de la Atmósfera y Física de los Océanos, Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[4] *Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca*

[5] *Ciencias Ambientales Marinas y Sustentabilidad (CiAMS), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

Los ecosistemas marinos son esenciales para el bienestar humano y la vida en general. Diversas actividades se desarrollan en el medio marino que, sumadas a problemas asociados al cambio climático, han generado fuertes presiones sobre la sostenibilidad de los ecosistemas (por ejemplo, pérdida de hábitats), lo que ha sido alertado en el ámbito internacional como una importante preocupación. Se requiere establecer medidas urgentes basadas en el mejor conocimiento científico, que atiendan las necesidades de conservación y permitan el desarrollo sostenible de las actividades. El mar uruguayo se encuentra en una región única por su situación geográfica y características oceanográficas, que es destacada a escala global por presentar una importante productividad primaria, capaz de sostener altas biomasas y biodiversidad de organismos, entre ellos muchos con problemas de conservación a nivel internacional, regional y local. A su vez, se encuentra en un escenario creciente de desarrollo de actividades en un contexto preocupante de cambio climático. Así, el país enfrenta hoy el desafío de asegurar una gestión adecuada de su espacio marino, que contribuya a su desarrollo sostenible mediante el trabajo con base en la mejor información disponible, en coordinación y colaboración entre distintos niveles y escalas de participación e intercambio y abordando enfoques holísticos que consideren modelos ecosistémicos de gestión (por ejemplo, áreas marinas protegidas). Se propone para ello avanzar en el diseño y el establecimiento de estrategias de gestión integrales de conservación de la biodiversidad marina y del uso sostenible de

los recursos naturales, identificando sitios que reúnan las condiciones para ser conservados (por ejemplo, ecosistemas, geoformas de interés, especies, hábitats y procesos claves) para que sean gestionados de acuerdo a sus necesidades de conservación. Pero, a su vez, se requiere desarrollar una política marina de largo plazo, que incorpore recursos para su implementación y la generación de conocimiento, estrategias adaptativas de la gestión y la búsqueda de esfuerzos de coordinación y cooperación nacional e internacional orientada a asegurar una adecuada gestión del océano global.

Introducción[1]

El bienestar de los océanos y la sostenibilidad de los ecosistemas marinos se encuentran en un punto crítico, cuya tendencia es de deterioro hacia la pérdida de hábitats y de la capacidad de proveer servicios ecosistémicos insustituibles (IPBES, 2019; Lenton *et al*., 2019; Halpern, 2020). Es por ello que el período entre los años 2021 y 2030 ha sido declarado por las Naciones Unidas la Década de los Océanos para el Desarrollo Sostenible. Esta declaratoria brinda un marco para crear conocimiento sobre los problemas actuales que enfrentan los océanos, así como soluciones. En este sentido, busca reunir a las partes interesadas (comunidad científica, políticos, empresas y sociedad civil) de todo el mundo en torno a un marco común que garantice que las ciencias oceánicas puedan apoyar a los países a alcanzar el Objetivo del Desarrollo Sostenible 14 (ODS 14) "Vida submarina: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos" (Naciones Unidas, 2018). De esta manera, se busca establecer políticas, en los ámbitos nacional e internacional, basadas en ciencia, que fortalezcan la gobernanza y la gestión de las actividades en beneficio de la humanidad, con el cuidado necesario para asegurar su sostenibilidad.

Son muchas las razones a enumerar asociadas a la relevancia de los océanos a escala global, así como los beneficios que brindan a la sociedad en general. Los océanos ocupan el 70,8% de la superficie terrestre y para el Hemisferio Sur significan el 80% de la superficie (sólo un 20% está expuesto a la superficie). Cumplen funciones ecosistémicas clave gracias a sus dinámicas físicas, biodiversidad y productividad, aportando a la regulación del clima, la amortiguación del calentamiento global, el secuestro de un 30% del CO_2 atmosférico, la producción de un 50% del O_2 atmosférico, la remineralización de nutrientes, la provisión de alimentos de alto valor proteico y calidad nutritiva (FAO, 2022) y varios componentes elementales de uso medicinal y para la salud humana en general,

1 Los autores agradecen a las instituciones que participaron y participan en el proceso desarrollado y a sus equipos técnicos: Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos y Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Ambiente; Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca; y Servicio Oceanográfico, Hidrográfico y Meteorológico de la Armada Nacional, Ministerio de Defensa Nacional; y a los investigadores del Centro Universitario Regional del Este y la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República y del Museo Nacional de Historia Natural, dependiente del Ministerio de Educación y Cultura, con quienes se discutieron los abordajes metodológicos y se compartió información valiosa para los resultados aquí presentados.

entre otros. Son al menos 240.000 las especies que conocemos que los habitan y esta es sólo una pequeña fracción del número total conocido de su biodiversidad (Bouchet, 2006; Cochrane *et al.*, 2016; WoRMS Editorial Board, 2024). Estas especies desarrollaron adaptaciones evolutivas específicas a cada ecosistema marino, en donde se combinan factores determinantes de su historia de vida y supervivencia, tales como la profundidad, las características físicas del agua (por ejemplo, salinidad, temperatura), la disponibilidad de luz, las estructuras de fondo, la geomorfología o los tipos sedimentarios, entre otros factores (como disponibilidad de alimento y compuestos inorgánicos, estructuras biogénicas).

Entre las presiones y los impactos a los que están actualmente sujetos los ecosistemas marinos y estuarinos comprendidos en las zonas económicas exclusivas (ZEE) y adyacencias se encuentran la sobreexplotación de recursos biológicos por actividades pesqueras, la alteración física de hábitats (como el dragado y la pesca de arrastre de fondo), el cableado submarino, el tráfico marítimo, la contaminación por plásticos y químicos, las invasiones biológicas, la búsqueda y la explotación de hidrocarburos, y los efectos del cambio climático. Estas son reconocidas como las causas principales de pérdida de biodiversidad marina a escala mundial (Halpern *et al.*, 2017).

En el presente capítulo se describen las aproximaciones y los avances desarrollados por el Ministerio de Ambiente, en coordinación con un Grupo de Trabajo Técnico compuesto por técnicos de la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) y el Servicio Oceanográfico, Hidrográfico y Meteorológico de la Armada Nacional (SOHMA), establecido por Resolución Ministerial n.º 520/022, y con importantes aportes de investigadores docentes de la Universidad de la República (Udelar) con conocimiento de la estructura, procesos y biodiversidad del área jurisdiccional marítima de Uruguay, para identificar, definir, mapear y priorizar aspectos destacados de la biodiversidad marina nacional. Por medio de una planificación estratégica para la conservación se integra espacialmente el conocimiento actual del ambiente marino, los ecosistemas, los hábitats y las especies representativos de su heterogeneidad ecológica que podrían ser vulnerables o sensibles a las actividades humanas. Esto permite diseñar estrategias de conservación desde un enfoque participativo e interinstitucional. Asimismo, se analizan las lecciones aprendidas, los desafíos, las perspectivas y las oportunidades que se presentan en el desarrollo de las estrategias de conservación dentro de las competencias institucionales, en particular con relación al diseño y la implementación de áreas protegidas, a partir de la Ley n.º 17.234 (Poder Legislativo, 2000a), y las evaluaciones de impacto ambiental, a partir de la Ley n.º 16.466 (Poder Legislativo, 1994a), como herramientas de gestión para avanzar en el camino hacia la planificación espacial marina (Ehler y Douvere, 2009).

Biodiversidad marina en Uruguay

La jurisdicción marítima uruguaya en el contexto de la biodiversidad global y regional

La jurisdicción marítima uruguaya ("el mar uruguayo") incluye al Río de la Plata (RdlP), el mar territorial (12 M) y su ZEE (200 M de la línea de base de la costa), y alcanza una superficie aproximada de 142.000 km^2, representando un 44% de la superficie nacional.

Se encuentra en un escenario regional único que presenta características oceanográficas destacables a escala global. El mar uruguayo se ubica en la región del océano Atlántico Sudoccidental (ASO, figura 1), está sujeto a la variabilidad que presenta la confluencia de la Corriente cálida de Brasil con la Corriente fría de Malvinas y la descarga de agua dulce del RdlP, constituyendo una región altamente productiva y dinámica (Acha *et al*., 2008; Machado *et al*., 2013). Esto la convierte en un área particularmente relevante para la biodiversidad, tanto a escala global como regional.

En su estudio, Sala *et al*. (2021) realizan una priorización espacial para la conservación a escala global, donde se destaca la importancia de esta región del mundo y, en particular, encuentran que la ZEEU presentaría un aporte significativo a la conservación de la biodiversidad marina global atendiendo a los ODS (el 14 en particular) y es, incluso, señalada como la región que tendría mayor contribución del continente, si en ella se implementaran medidas de conservación basadas en áreas. Esta zona es relevante por brindar servicios ecosistémicos claves, como hábitat de biodiversidad, almacenamiento de carbono y provisión de alimentos. Ramírez *et al.* (2017) identifican un *hotspot* de biodiversidad en la ZEEU, coincidiendo con Sala *et al.* (2021) en señalarla entre las zonas de mayor prioridad para la conservación que se encuentran vulnerables ante efectos del cambio climático y la presión de la pesca intensiva (Franco *et al.*, 2020). En especial, la zona en la que está inmersa la ZEEU ha sido también destacada a escala global por su riqueza en cuanto a grupos biológicos, entre ellos especies pelágicas tales como cetáceos y tiburones (Tittensor *et al*., 2010; Coelho et al., 2018) y, en el ámbito regional, tortugas, aves y leones marinos (Barceló *et al*., 2013; Fossette *et al*., 2014; González Carman *et al*., 2016). Asimismo, se representan en esta región ambientes marinos templados de alta productividad, complejidad y dinámica, por ello, en 2015, se designó a la zona marina sur del Brasil hasta el límite de jurisdicción uruguaya como un área de significancia biológica o ecológica (EBSA), según los criterios de la Convención de Diversidad Biológica (CBD, 2023).

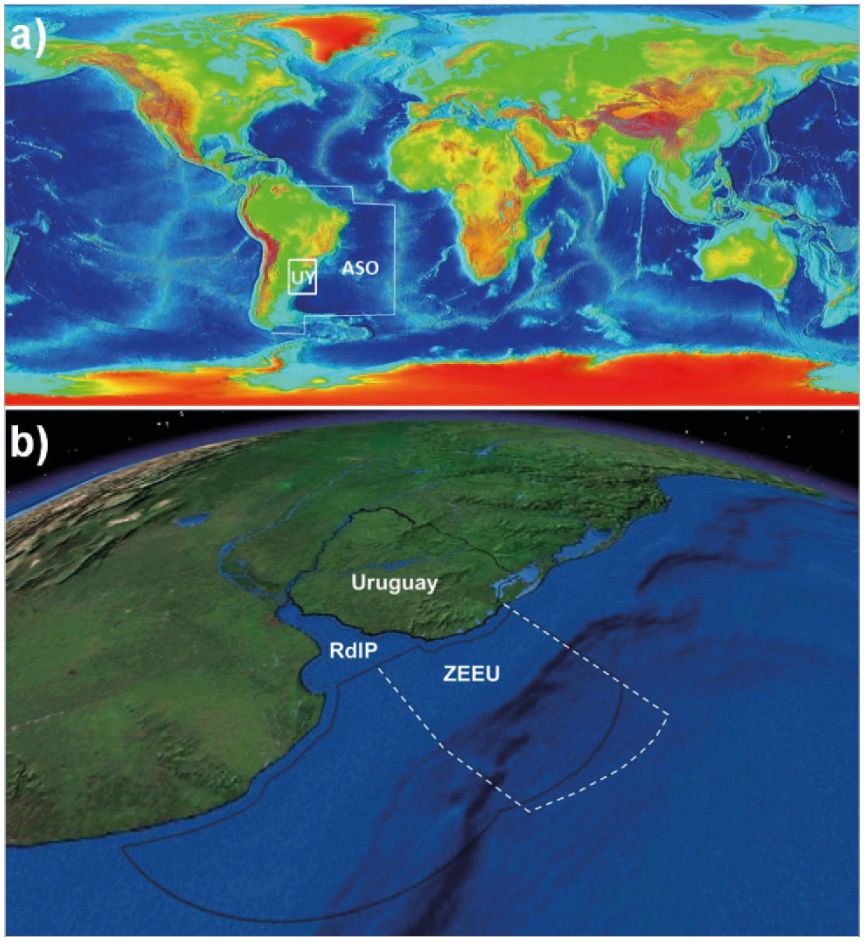


Figura 1: Contexto regional del Uruguay (UY) en el marco de a) la región del océano Atlántico Sudoccidental (ASO); y b) detalle en perspectiva de la zona económica exclusiva uruguaya (ZEEU) y el Río de la Plata (RdlP), en el mar uruguayo, con la delimitación de la zona común de pesca definida en el Tratado del Río de la Plata y el Frente Marítimo con Argentina.

Procesos estructuradores de las comunidades biológicas en el mar uruguayo

La gran complejidad de la dinámica oceanográfica, sumada a la presencia de estructuras y geoformas de fondo que generan heterogeneidad de hábitat, cumple un rol importante en la distribución de la biodiversidad del mar uruguayo. Sobre plataforma y en la zona costera hay una gran influencia de la pluma de descarga del estuario RdlP, las aguas costeras y las corrientes de plataforma derivadas de las corrientes adyacentes de Brasil y Malvinas (Guerrero y Piola, 1997). El estuario es el segundo en importancia de Sudamérica; debido a sus grandes dimensiones presenta un caudal de descarga media anual de 22.000

m^3/s y gran variabilidad interanual asociada a eventos de El Niño-Oscilación Sur (Piola *et al*., 2005), mientras que su pluma de agua dulce presenta variabilidad estacional asociada a los vientos de la región (Guerrero *et al*., 2014).

En particular, y como fenómeno asociado al estuario del RdlP, cuando el agua dulce se encuentra con el océano Atlántico, se forma lo que se denomina una zona frontal. Este fenómeno se genera cuando dos masas de agua con distintas características se encuentran. En esta región particular, el agua del océano, más densa, penetra por debajo de la descarga continental en forma de cuña salina, generando un marcado gradiente horizontal en las propiedades físicas del agua de mar, como salinidad y turbidez, así como una fuerte estratificación vertical en condiciones de vientos débiles. La formación de frentes en superficie y fondo se caracteriza por una alta productividad biológica debido a la concentración elevada de nutrientes y a la retención de organismos planctónicos (Acha *et al*., 2008). Los procesos que se dan en la zona frontal tienen un rol estructurador de las comunidades de peces (Jaureguizar *et al*., 2006; García *et al*., 2010) y en especial ha sido identificada como una zona de elevada retención de huevos y larvas de especies de peces de relevancia socioeconómica, entre ellas la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), principal recurso pesquero costero en la región (Jaureguizar *et al*., 2006; Acha *et al*., 2008; Gianelli y Defeo, 2017). A esta especie se suman corvina negra (*Pogonias cromis*), lacha (*Brevoortia aurea*), lenguados (*Paralichthys* spp.), pejerreyes (*Odontesthes* spp.), córvalo (*Paralonchurus brasiliensis*), pescadilla de red (*Macrodon atricauda*), lisa (*Mugil platanus*), burriqueta (*Menticirrhus americanus*), anchoa (*Anchoa marinii*) y palometa (*Parona signata*) (Mianzan *et al*., 2001; Jaureguizar *et al*., 2016). El área constituye, de esta forma, una importante zona de reproducción y cría de peces.

Las especies de tortugas marinas frecuentemente registradas para el mar uruguayo son tres (verde, *Chelonia mydas; laúd* o siete quillas, *Dermochelys coriacea*; y cabezona, *Caretta caretta),* a las que se suman otras dos especies con registros puntuales (olivácea, *Lepidochelys olivacea*, *y* carey, *Eretmochelys imbricata*), y todas ellas se encuentran con problemas de conservación a nivel nacional e internacional (Vélez-Rubio *et al*., 2023) (tabla 1). A su vez, la costa del mar uruguayo es especialmente reconocida para la alimentación y cría de las tortugas verde (*Chelonia mydas*) y laúd o siete quillas (*Dermochelys coriacea*), por lo que es señalada como un punto estratégico a considerar para la conservación de estas especies (López-Mendilaharsu *et al*., 2006; Vélez-Rubio *et al*., 2023).

Adicionalmente, se ha reportado la ocurrencia de procesos de surgencia en la costa uruguaya, principalmente en los meses cálidos (Trinchín *et al*., 2019; De Mello *et al*., 2022b). Estos son procesos oceanográficos que favorecen el aporte de nutrientes desde subsuperficie hacia superficie, lo que repercute en un aumento de la producción primaria y secundaria local generando, en consecuencia, escenarios favorables para la biodiversidad en general y las pesquerías en particular. Recientemente, De Mello *et al*. (2022a) analizaron la ocurrencia del frente de surgencia en relación con la operación de la flota

pesquera costera de Uruguay y encontraron un estrecho vínculo entre la ocurrencia de estos frentes y la actividad pesquera, lo que podría considerarse como un potente indicador de concentración de las especies objetivo de pesca (por ejemplo, corvina, pescadilla) asociados a estos procesos (Horta y Defeo, 2012; Norbis y Galli, 2013; Miller y Christodoulou, 2014).

Más lejos de la costa (a aproximadamente 100 M), en la región del margen continental donde se extiende el talud con un marcado gradiente de profundidad, las intrusiones de la Corriente de Malvinas hacia la ZEEU, la exportación de aguas de plataforma hacia océano abierto y la formación de remolinos de mesoescala han sido descritas como procesos que inciden en la productividad primaria local (Manta *et al*., 2022). Estas zonas altamente productivas suelen sostener altas biomasas y biodiversidad de organismos; en particular, la zona del talud es mencionada en la literatura como una región ampliamente utilizada por la megafauna (tiburones, mamíferos, tortugas y aves marinas) como sitio de alimentación. Se reconoce su importancia por ser una zona de cría de varias especies de tiburones de amplia distribución —tiburón azul, *Prionace glauca* (Coelho *et al*., 2018; Mas *et al.*, 2023), y martillo, *Sphyrna* sp.—. En este sentido, existe una preocupación creciente por la sobrepesca de tiburones, ya que es un grupo vulnerable de peces debido a su historia de vida (crecimiento lento y tasas de reproducción bajas) y representa gran relevancia socioeconómica. En consecuencia, se establecieron planes de acción para la gestión y la conservación de las poblaciones objeto de pesca de este grupo para la zona común de pesca argentino-uruguaya (ZCPAU) (CTMFM, 2018). Se definieron 27 especies consideradas vulnerables (por ejemplo, con riesgo asociado a la sobreexplotación pesquera, ver CTMFM, 2018), identificadas debido a su baja productividad (por ejemplo, asociada a sus características reproductivas y a la capacidad de la población de recuperarse) y susceptibilidad. Esta susceptibilidad deriva de su exposición a las pesquerías, por su distribución solapada con zonas de operación pesquera, por formar agregaciones, hábitos de vida demersal, interés económico, entre otras. Entre estas especies se destacan: sarda, *Carcharias taurus* (CR), y *Carcharynus brachyurus* (VU); entre los tiburones, *Galeorhinus galeus* (CR); y las rayas *Sympterygia bonapartii* (NT), *Atlantoraja castelnaui* (CR) y *Zearaja chilensis* (EN). Se indica en paréntesis para cada una de las especies el estado de conservación determinado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2022). En los planes de acción nacional, Domingo *et al*. (2015) identifican, además, otras especies de condrictios y aves marinas a considerar por su vulnerabilidad ante las pesquerías y su estado de conservación, en donde consideran efectos de las otras pesquerías de altura (que pescan entre los 50 m y 500 m) y pelágicas (cuyo objetivo son los atunes, espadas y tiburones). Algunas de las rayas y tiburones listados por Forselledo y Domingo (2015) son endémicas del ASO, lo que significa que se requieren esfuerzos regionales conjuntos urgentes para su conservación.

Tabla 1: Lista de reptiles y mamíferos marinos amenazados presentes en el mar uruguayo, de prioridad para la conservación a nivel nacional, los prioritarios para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y su estado de conservación internacional (Soutullo et al.*, 2013; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [IUCN], 2022). DD: datos insuficientes, LC: preocupación menor, NT: casi amenazado, VU: vulnerable, EN: en peligro, CR: en peligro crítico.*

Grupo	Familia	Nombre científico	Nombre común	SNAP	IUCN
Reptiles	*Cheloniidae*	*Caretta caretta*	Tortuga falsa carey		VU
Reptiles	*Cheloniidae*	*Chelonia mydas*	Tortuga verde	Sí	EN
Reptiles	*Dermochelyidae*	*Dermochelys coriacea*	Tortuga laúd		VU
Reptiles	*Cheloniidae*	*Eretmochelys imbricata*	Tortuga carey		CR
Reptiles	*Cheloniidae*	*Lepidochelys olivacea*	Tortuga olivacea		VU
Mamíferos	*Balaenidae*	*Eubalaena australis*	Franca austral	Sí	LC
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Balaenoptera acutorostrata*	Ballena minke enana		LC
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Balaenoptera bonaerensis*	Ballena minke antártica		NT
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Balaenoptera borealis*	Ballena sei		EN
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Balaenoptera musculus*	Ballena azul		EN
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Balaenoptera physalus*	Ballena fin		VU
Mamíferos	*Balaenopteridae*	*Megaptera novaeangliae*	Ballena jorobada		LC
Mamíferos	*Physeteridae*	*Physeter macrocephalus*	Cachalote		VU
Mamíferos	*Delphinidae*	*Tursiops truncatus gephyreus*	Tonina	Sí	LC
Mamíferos	*Delphinidae*	*Delphinus delphis*	Común de pico corto		LC
Mamíferos	*Delphinidae*	*Lagenorhynchus obscurus*	Delfín oscuro		LC
Mamíferos	*Delphinidae*	*Orcinus orca*	Orca		DD
Mamíferos	*Delphinidae*	*Pseudorca crassidens*	Falsa orca		NT
Mamíferos	*Iniidae*	*Pontoporia blainvillei*	Franciscana	Sí	VU
Mamíferos	*Otariidae*	*Arctocephalus australis*	Lobo marino fino	Sí	LC
Mamíferos	*Otariidae*	*Otaria flavescens*	León marino	Sí	LC

González Carman *et al*. (2016) priorizan a la ZEEU por contener la mayor ocurrencia de megafauna marina con problemas de conservación del ASO respecto a otras áreas del Cono Sur (ver tabla 1). El trabajo resalta la zona como área ecológica clave para la megafauna estudiada, que incluye especies de pinnípedos (como leones y lobos marinos), tortugas y aves marinas. De hecho, se han identificado para esta región unas 15 especies de mamíferos marinos que se encuentran con problemas de conservación a escala internacional y han sido evaluadas como amenazadas a escala nacional, siendo 5 de ellas prioritarias para el SNAP (Soutullo *et al*., 2013): la ballena franca austral (*Eubalaena australis*), la franciscana o delfín del Río de la Plata (*Pontoporia blainvillei*), la tonina o delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus gephyreus*) y las dos especies de otáridos, el lobo fino sudamericano (*Arctocephalus australis*) y el león marino (*Otaria flavescens*).

Considerando los gradientes en las propiedades físicas y biogeoquímicas e integrados con aspectos físicos y geomorfológicos del fondo que ocurren en el territorio marítimo uruguayo, Brazeiro *et al*. (2003) identifican y clasifican ambientes (o regiones ecológicas), para el Río de la Plata y el frente marítimo, que estructuran a las comunidades biológicas. En este sentido, los autores definen 6 ambientes: 1) ambiente dulceacuícola (salinidad <0,5); 2) ambiente estuarino o mixohalino asociado a la descarga del RdlP (salinidad de entre 0,6 y 25 y hasta Punta del Este); 3) plataforma costera que se extiende hasta los 50 m de profundidad (salinidad media mayor a 25); 4) plataforma profunda (entre 50 m y 200 m de profundidad); 5) talud (entre 200 m y 1000 m); y 6) mar abierto o pie de la plataforma continental y abisal (a más de 2.300 m de profundidad). A su vez, Limongi *et al*. (2023) realizaron un análisis de biorregionalización para las especies bentónicas y encontraron 9 zonas diferenciadas por aspectos físicos estructuradores de las comunidades. En esta línea, cabe mencionar que, en un contexto de priorización para el diseño de estrategias de conservación, tales como un sistema o red de áreas marinas protegidas (AMP), es deseable y necesario representar estas zonas o ecorregiones de ensamble de comunidades faunísticas como forma de lograr la representación de la heterogeneidad de hábitats marinos existentes (Kelleher, 1999; Roberts *et al*., 2003; Ramos-Esplá *et al*., 2004; McQuaid *et al*., 2023).

Herramientas de gestión para la conservación de la biodiversidad

Uruguay se encuentra hoy en un escenario creciente de desarrollo sobre el territorio marino, donde se proyectan nuevas actividades, como la exploración de hidrocarburos y la creación de parques eólicos marinos, sumándose a las tradicionales que ya se desarrollan allí, como la operativa pesquera, el tráfico marítimo y el cableado submarino. Asimismo, en el ámbito internacional, Uruguay es signatario del Convenio de Diversidad Biológica desde el año 1992 (Poder Legislativo, 1993, 2000a), por lo que se ha comprometido ante las Naciones Unidas a "la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica", en coherencia con el artículo 47 de la Constitución de la República, donde se establece que "la protección del medio

ambiente es de interés general", y la Ley n.º 17.283, denominada Ley General de Medio Ambiente (Poder Legislativo, 2000b). Es en este contexto donde se presenta la meta de implementar al año 2030 "una red de áreas marinas protegidas y se están aplicando otros instrumentos complementarios de conservación" (Meta 1.4.2) (MVOTMA, 2019), y se asumió ante la CBD el compromiso de aumentar la superficie protegida con AMP representativas y efectivas (Meta de Aichi 11) para el año 2020. Esta meta de protección, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (COP15) (febrero de 2023, Kunming-Montreal), se propuso alcanzar para 2030 una representación en superficie de al menos un 30% de las zonas terrestres, de aguas continentales y costeras y marinas, y que se conserven y gestionen eficazmente mediante sistemas de áreas protegidas (AP) u otras medidas de conservación basadas en áreas, especialmente para las zonas de particular importancia para la biodiversidad, incluyendo sus funciones y servicios de los ecosistemas (CBD, 2023). Estas metas, además, contribuyen al ODS 14, que se mencionó antes.

Existen actualmente distintas visiones conceptuales respecto al enfoque de las áreas protegidas. El enfoque adoptado por el Uruguay, en el marco de la Ley n.º 17.234 (Poder Legislativo, 2000a), surge como resultado de un proceso evolutivo del concepto de área protegida y como consecuencia de la historia de su implementación, que trasciende su concepción original según la cual se excluyen de los sitios a proteger todas las actividades transformadoras del ambiente y se percibe al poblador como una amenaza, sin considerar el valor de los usos tradicionales del territorio. Por el contrario, contempla la visión de la biología de la conservación moderna de asegurar la calidad de vida de las personas y poblaciones locales, así como de los ecosistemas y la biodiversidad contenida en ellos, permitiendo sus necesidades de desarrollo económico, con el desafío de velar por el resguardo de la funcionalidad ecosistémica a escalas más amplias (por ejemplo, paisajes). Es así que en la visión moderna las AP son una herramienta de ordenamiento y gestión ambiental del territorio (Martino, 2005), y pueden actuar como focos locales de desarrollo sostenible (Soutullo, 2006), en tanto, además de gestionar sus límites hacia "adentro", promueven una gestión más sostenible de sus límites hacia afuera (Whittingham, 2006), asumiendo fuertes interacciones con su entorno e incorporando los intereses y desafíos del desarrollo social de las personas que viven en ellas y sus alrededores (Martino, 2005). Esta nueva conceptualización es particularmente relevante en Uruguay, pues establece las bases sobre las que se implementa el SNAP (Ley n.º 17.234, de febrero de 2000). En este sentido, en Uruguay las AP no se establecen necesariamente como zonas de restricción total, sino que en ellas se definen restricciones específicas según cómo las diferentes actividades humanas pueden afectar los valores de conservación que el área busca proteger y los objetivos que se hayan trazado para ella, por lo que es posible permitir actividades que, por la forma en que son desarrolladas o gestionadas, no implican una presión directa sobre los objetivos de conservación.

Adicionalmente, en el ámbito pesquero también se ha propuesto un cambio de paradigma en la gestión convencional de las

pesquerías, sugiriendo salir del enfoque monoespecífico de la gestión para la aplicación del enfoque ecosistémico de la pesca (FAO, 2010, 2015; Davies *et al*., 2021), donde se invierte la prioridad de gestión, haciendo foco en los ecosistemas y las necesidades de la sociedad, antes que en las especies objetivo de pesca. En este sentido, se considera que las AMP son una herramienta para la aplicación de este enfoque de manejo, ya que, definidas adecuadamente, han demostrado, entre otras cosas, ser efectivas en conservar ecosistemas clave y generar mejores rendimientos a las pesquerías (Alemany *et al*., 2012; Carr *et al*., 2019; Davies *et al*., 2021; Grorud-Colvert *et al*., 2021; Sala *et al*., 2021).

El país enfrenta hoy el desafío de asegurar una gestión adecuada de su espacio marino, que contribuya a su desarrollo sostenible, trabajando con base en la mejor información disponible y en colaboración con la comunidad nacional e internacional para asegurar una adecuada gestión del océano global, con un abordaje mediante enfoques holísticos que consideren modelos ecosistémicos de gestión (FAO, 2015).

Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Actualmente el país está comprometido en aumentar, a través del Ministerio de Ambiente, el porcentaje de territorio marino protegido en un 10% y establecer una hoja de ruta para un 30% hacia 2030 (Ministerio de Ambiente, 2022a).

El SNAP fue creado por la Ley n.º 17.234 (Poder Legislativo, 2000a). Desde su creación, se inició su implementación con un fuerte énfasis en el análisis de información de biodiversidad terrestre, con base en un abordaje sistemático para la conservación. Este abordaje permite contar con bases cartográficas que establecen sitios prioritarios para su inclusión como áreas protegidas del SNAP, acompañadas de información técnica que respalda los objetivos para su creación y permite la correcta delimitación de las áreas para su cumplimiento.

Sin embargo, en el ámbito marino los avances en este sentido han sido escasos y las AMP que hoy se incluyen en el SNAP corresponden exclusivamente a áreas costeras o insulares, extendidas a no más de 5 M desde la costa. Las áreas ingresadas al SNAP (listadas por año de ingreso) son, como lo muestra la figura 2: Parque Nacional Cabo Polonio (2009), Paisaje Protegido Laguna de Rocha (2010), Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Cerro Verde e Islas de la Coronilla (2011), Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Laguna Garzón (2014), Área Protegida con Recursos Manejados Humedales de Santa Lucía (2015) y Parque Nacional Isla de Flores (2018). Se encuentra iniciado el proceso de incorporación de la Isla de Lobos, con la categoría de parque nacional. Estas áreas contemplan como principal objetivo de creación la biodiversidad y los valores culturales costeros, y se alcanza un 0,7% del territorio marino protegido por esta medida.

En este sentido, aún quedan por otorgar algún nivel de protección a otros valores de conservación que se encuentran a mayores distancias de la costa en la ZEEU. Si bien han existido avances en la priorización del espacio marino, la información disponible

es escasa y se encuentra dispersa y con poca accesibilidad. Asimismo, se requiere avanzar en comprender cómo la biodiversidad prioritaria interactúa con los usos actuales y potenciales que ocurren en el territorio marino de Uruguay.

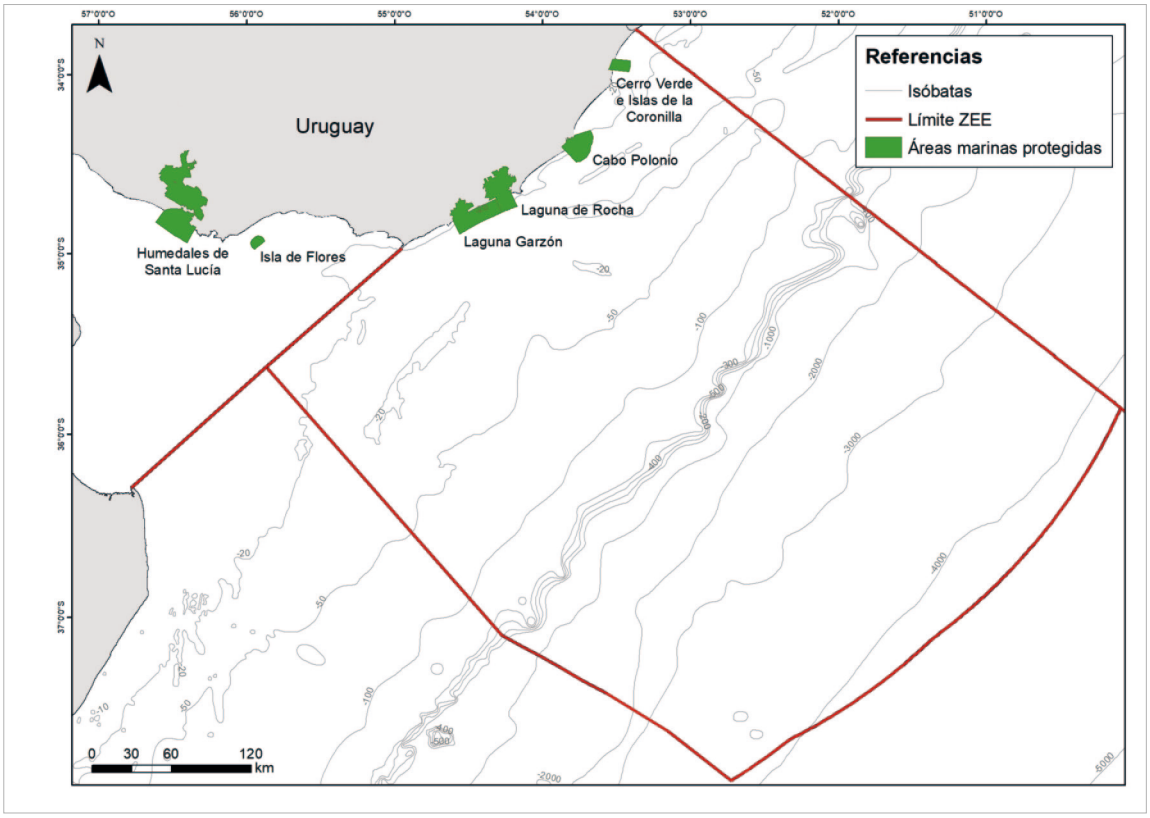


Figura 2: Áreas protegidas ingresadas al SNAP. Se destaca su ubicación principalmente costera en referencia a la extensión de la jurisdicción marina nacional.

El proceso requerido para el ingreso de un área protegida al SNAP se rige por el Decreto n.º 052/05 (Poder Ejecutivo, 2005a), que reglamenta la Ley n.º 17.234 (Poder Legislativo, 2000a). En este decreto se establecen los procedimientos para el ingreso de un área protegida al sistema y se habilita a cualquier sector de la sociedad a realizar las propuestas.

Sin embargo, se debe considerar el hecho de que la definición de áreas protegidas aisladas, más allá de la superficie que abarquen, difícilmente pueda cumplir con objetivos de conservación representativos de los ecosistemas y aspectos centrales de la biodiversidad de una ZEE. Por ello es importante considerar, desde el inicio de la planificación de

las estrategias de conservación, el diseño de un sistema propiamente dicho de áreas dispuestas en una red representativa de ambientes, ecosistemas y hábitats, a distancias que permitan una interconectividad larval y de la biota en general entre ellas (National Research Council, 2001; Airamé *et al*., 2003; Roberts *et al*., 2003; Asaad *et al*., 2017). De esta forma, y con medidas y reglas de uso claras, se aseguraría la protección y la conservación de las comunidades de organismos que conforman los ecosistemas, y también se permitiría que mantengan las funciones, los procesos y los servicios que prestan (Palumbi *et al*., 2009).

Por último, se deben considerar como la aproximación más novedosa a la conservación de la biodiversidad marina las alternativas de gestión vinculadas a AMP dinámicas para cuando los objetivos de conservación de las áreas son esencialmente megafauna, que realiza grandes migraciones o tiene gran movilidad (Pons *et al*., 2022). La aplicación de este tipo de estrategias podría ser abordada en el contexto de los planes de manejo de las AMP y su zonificación, pudiendo establecerse ventanas espaciales y temporales de manejo: por ejemplo, restricciones en las actividades de exploración sísmica, el esfuerzo pesquero o el tránsito marítimo en épocas clave de mayor presencia o concentración de estas especies.

Priorización de la biodiversidad marina y sitios destacados para la conservación

Tanto para cumplir con el objetivo del diseño de una red de AMP y alcanzar las metas propuestas de cobertura de protección del mar uruguayo como para las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) y otros procesos claves a nivel ministerial, como la planificación espacial marina, se busca avanzar en un análisis sistemático de la biodiversidad marina que informe sobre los sitios destacados para la conservación, para ser incluidos en el SNAP o para ser especialmente contemplados en las EIA o en el diseño de políticas de uso del espacio marino nacional. Para ello es necesario del trabajo en coordinación con otros actores que tienen competencias en el espacio marino, así como con los especialistas vinculados a la generación de información sobre biodiversidad marina. En este sentido, se requiere profundizar el conocimiento con información actualizada y validada científicamente, que permita la identificación de estos sitios con prioridad para conservar —que presenten ambientes o especies vulnerables y ecológicamente relevantes—, además de establecer compromisos nacionales e internacionales para la implementación de las estrategias diseñadas.

Antecedentes nacionales de procesos de identificación de sitios prioritarios para la conservación

Existe un conocimiento histórico acumulado del medio marino, generado a partir de cruceros de investigación internacionales y nacionales enfocados en especies de interés comercial, campañas científicas oceanográficas, material e información colectada de las pesquerías, colecciones científicas y, más recientemente, el generado a partir de estudios de línea de base y observación a bordo en los buques de exploración de hidrocarburos.

FREPLATA fue el primer proyecto surgido como una iniciativa de carácter binacional de la República Argentina y la República Oriental del Uruguay, con el objetivo de prevenir y mitigar la degradación de los recursos transfronterizos del Río de la Plata y su frente marítimo, sobre la base de los acuerdos vigentes entre los dos países. En este sentido, en el marco del *Análisis de diagnóstico transfronterizo* (FREPLATA, 2005) se reunió la información disponible, se generaron campañas de investigación específicas para cubrir vacíos de información y se realizó una evaluación ecológica, que, como resultado, desarrolló una propuesta de 7 áreas acuáticas prioritarias que representan los valores de conservación definidos en ese momento (Brazeiro *et al*., 2003). Asimismo, Brazeiro y Defeo (2006) retomaron estos antecedentes y los generados para la zona costera y propusieron unos 17 "sitios costeros y acuáticos prioritarios para la conservación de la integridad biológica del Río de la Plata y Frente Marítimo". Posteriormente, para el ámbito costero Defeo *et al*. (2009) y Horta (2012) presentan un análisis de priorización espacial para la conservación que destaca 11 AMP costeras y propone una estrategia de gestión pesquera basada en los ecosistemas, que incluye el involucramiento y la participación de los pescadores.

A su vez, en el marco de la exploración de hidrocarburos en la ZEEU promovida por ANCAP, se publicó un libro elaborado por investigadores de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (Udelar) (ANCAP-Facultad de Ciencias, 2014) que recopila y organiza la información producida para el margen continental uruguayo.

Ante la necesidad de evaluar las actividades de exploración de hidrocarburos en la ZEEU, en el marco del proceso de autorización ambiental previa, la entonces Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), dependiente del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), actual Ministerio de Ambiente, conformó un grupo de trabajo interno, el Grupo Offshore (Resolución de Dirección Nacional n.º 0393/014), para generar pautas técnicas ambientales para la prevención, la evaluación y el control de las actividades a realizarse en la ZEEU, entre otros. En este contexto, se definieron elementos de relevancia ecológica (ERE) (MVOTMA, 2016), desarrollándose mapas de distribución de las prioridades de conservación como material de apoyo para la evaluación de proyectos de búsqueda de hidrocarburos, y se hizo un análisis preliminar de superposición espacial de la información, reconociendo zonas de mayor integración de los ERE identificados. El proceso de identificación de los ERE incluyó la revisión y consideración de más de

200 publicaciones científicas que consisten en artículos de revistas arbitradas, publicaciones en libros nacionales e internacionales, informes técnicos y tesis de grado y posgrado. Asimismo, se realizó un taller de expertos con la participación de grupos de investigación de la Facultad de Ciencias, el Centro Universitario Regional del Este (CURE), investigadores independientes, observadores científicos a bordo y técnicos de la DINAMA, especializados en cada uno de los elementos identificados. Esto se integró en un sistema de información geográfica en el que se mapeó la distribución conocida de los ERE y se realizó un análisis espacial preliminar de priorización ecológica aplicando el método de análisis multicriterio por combinación lineal ponderada.

Posteriormente, y antes de su aprobación, se realizó una difusión y puesta de manifiesto público por un período de 20 días hábiles (desde el 29 de agosto de 2017), con el fin de que las diferentes partes interesadas tomarán conocimiento de las áreas y los elementos de relevancia ecológica y pudieran realizar las apreciaciones que consideraran convenientes. La puesta de manifiesto fue notificada a ANCAP, al Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), a la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), a la División Medio Ambiente del Ministerio de Relaciones Exteriores y la Delegación Uruguaya a la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), y al Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) y la Prefectura Nacional Naval, del Ministerio de Defensa Nacional. Finalmente, se recibieron comentarios de ANCAP, técnicos independientes, grupos de investigadores de Facultad de Ciencias y la DINARA.

Entre los ERE reconocidos, se identificaron y mapearon 7 según sus características físicas (elementos destacados de la columna de agua y estructuras geomorfológicas del fondo) y 8 biológicos (organismos vivos o grupos de organismos). En la columna de agua se destacaron las principales zonas frontales, formadas por el encuentro de masas de aguas de distintas procedencias. En el lecho se destacaron: el talud continental (límite de la plataforma entre los 200 y 1.000 m de profundidad de agua); cañones submarinos (conductos erosivos transversales al talud); *pockmarks* (depresiones en forma de cráter asociadas a migraciones agua de alta temperatura o hidrocarburo); elevaciones o montes (*mounts*); formaciones arrecifales coralinas (formadas por corales de aguas profundas); y sustratos duros y biogénicos que integran fondos de tosca, restingas de piedra; y arrecifes de mejillones y vieira (*Zygochlamys patagonica*). Los ERE biológicos fueron la merluza (*Merluccius hubbsi*), principal recurso pesquero de altura; los esciénidos corvina rubia y pescadilla, por ser los principales recursos pesqueros costeros; y el cangrejo rojo (*Chaceon notialis*), recurso explotado en el talud continental, de importancia comercial y ecosistémica. También fueron considerados grupos de especies predadores tope de importancia internacional para su conservación, tales como los otáridos lobo fino sudamericano y león marino, tiburones pelágicos (explotados comercialmente), tortugas, aves marinas y cetáceos. Se asume que en estos ERE se representan las principales especies con

distribución conocida y estudiada, que, o bien son recursos de relevancia socioeconómica para el país, o especies bandera (carismáticas), o con problemas de conservación reconocida (por ejemplo, por la IUCN o para Uruguay, en Soutullo *et al*., 2013), para cuyos ciclos de vida esta región significa un hábitat importante (como zona de alimentación, reproducción o cría).

En el marco de ese trabajo se detectó la necesidad de contar con información vinculada a la conservación de la biodiversidad para la toma de decisiones, que nutra el proceso de evaluación de las autorizaciones ambientales de actividades y proyectos, así como para el desarrollo de planes de conservación en la ZEEU. Es así que la identificación de los ERE fue un insumo para los procesos de evaluación de impacto ambiental (MVOTMA, 2017).

Recientemente, en los trabajos realizados por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Argentina (INIDEP, 2020), Marín *et al*. (2020, 2021b) y Limongi *et al*. (2023) se llevan adelante análisis y sistematización de información biológica y de los usos y actividades que se realizan en el territorio marino que aportan varios insumos de interés y recomendaciones a considerar en el proceso de trabajo de priorización para la conservación. A su vez, en Gianelli *et al*. (2023) se hace una evaluación de la sensibilidad ecológica al cambio climático de las principales especies que son recursos pesqueros en la región del sur de Brasil, Uruguay y el norte de Argentina. Se evidencia en ese trabajo la necesidad de anticiparse a los cambios ambientales que se predicen para esta región y considerar en las estrategias de conservación los potenciales efectos sobre los ecosistemas marinos y sus comunidades.

Actualización de la información marina disponible y avances en la identificación de sitios prioritarios para la conservación

Con el objetivo de seguir profundizando en la información sobre prioridades de conservación del espacio marino y nutrir procesos ministeriales de interés nacional (figura 3), a solicitud del Ministerio de Ambiente (Resolución Ministerial n.º 520/022), en el año 2022 se conformó un grupo de trabajo técnico (GTT) integrado por técnicos de las instituciones que tienen competencias en la gestión del espacio marino (DINARA y SOHMA). Se prevé la incorporación de técnicos de otras instituciones públicas con competencia o que estén trabajando en el medio marino de Uruguay, como la Udelar y el Museo Nacional de Historia Natural.

Con el fin de actualizar la información recabada previamente en el marco de la identificación de los ERE, desde una mirada de zonas o sitios destacados para la conservación, el GTT implementó una consulta a técnicos, investigadores y especialistas en temas marinos de las propias instituciones y de la Udelar. El ámbito espacial de la consulta se definió desde la zona del límite de intrusión salina al Río de la Plata (Nagy *et al*., 1997) hasta el límite divisorio del lecho del Río de la Plata y la franja de 5 M de la costa uruguaya, al este hasta el límite territorial con Brasil y hacia el sur hasta el límite de la ZEE a 200 M de la costa (figura 3).

En la consulta se solicitó a los expertos que identificasen en este ámbito espacial los sitios que, según su especialidad, resultasen de importancia para la conservación, justificando su respuesta mediante bibliografía (por ejemplo, zonas de reproducción, cría, alimentación, procesos ecológicos, endemismos). Esta instancia aportó a la actualización de bibliografía y la identificación de sitios que no habían sido considerados previamente en el marco de los antecedentes, y permitió de forma precautoria delimitar zonas que deben ser especialmente valoradas para la toma de decisiones del Ministerio de Ambiente en planes de conservación de la biodiversidad, incluyendo la creación de AMP y los procesos de evaluación de impacto ambiental, entre otros (figura 2).

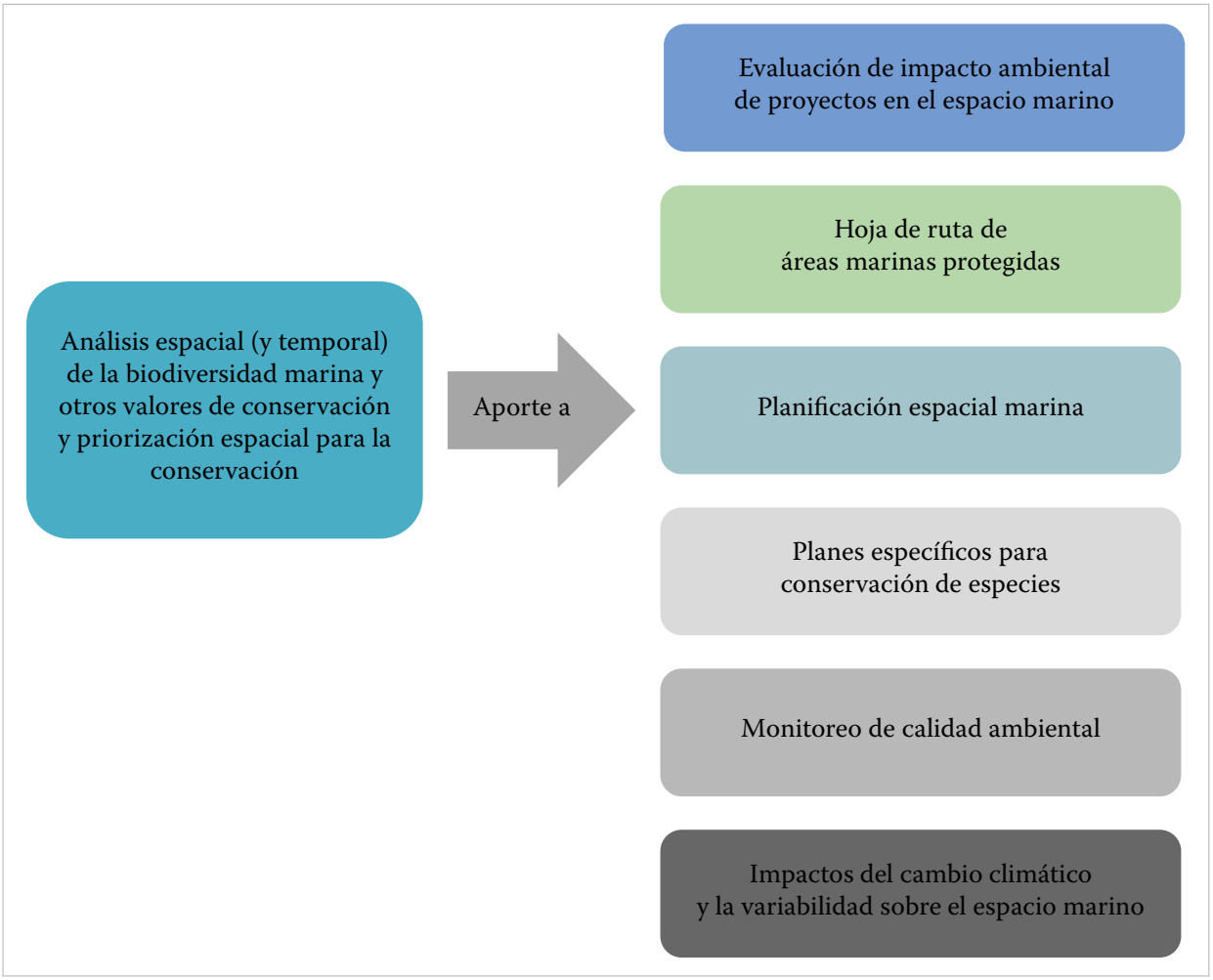


Figura 3: Procesos del Ministerio de Ambiente a los que informa la estrategia de priorización espacial para la conservación.

La consulta a especialistas y técnicos de la DINARA y el SOHMA e investigadores de la Udelar se desarrolló durante los meses de octubre y noviembre de 2022. Como resultado, se recibieron aportes de 10 unidades de investigación, tanto de la Udelar como de la DINARA, con la participación y los aportes de 22 especialistas (tabla 2).

Tabla 2: Cantidad de técnicos que participaron de la consulta realizada entre octubre y noviembre de 2022 para la definición de sitios destacados, cuantificados por especialidad e institución (nótese que algunas instituciones presentaron más de una especialidad).

Especialidad	Cantidad de especialistas	Cantidad de instituciones
Condrictios	1	1
Ecosistemas bentónicos	5	3
Ecosistemas pelágicos	5	1
Fitoplancton	1	1
Mamíferos marinos	2	2
Tortugas marinas		1
Oceanografía	1	1
Oceanografía física	5	1
Oceanografía pesquera	1	1
Tecnología pesquera	1	1
Tecnología pesquera - planificación espacial marina	1	1
Total	23	4

Sitios de particular relevancia para la conservación en el territorio marino uruguayo

Como resultado de este proceso de trabajo, a partir de la síntesis de la información recabada, se destacaron de forma preliminar ocho sitios para ser considerados por su particular relevancia para la conservación. Estos sitios representan distintas zonas que se integran a los principales ambientes marinos definidos por Brazeiro *et al*. (2003) y Limongi *et al*. (2023), en el ámbito de estudio definido. Representan, a su vez, elementos identificados en la bibliografía, que pueden definirse espacialmente por su ubicación geográfica y que por sus características particulares contemplan e integran aspectos ecológicos asociados a la biodiversidad (por ejemplo, hábitats) o a la presencia de especies singulares destacadas a escala local o regional, que los vuelven de prioridad para su conservación. Además, se identificaron zonas con dinámicas particulares asociadas a procesos oceanográficos y ecológicos de gran relevancia ecosistémica (como zonas frontales asociadas a la reproducción, la cría y la

alimentación de fauna marina), que deben ser consideradas, además, junto con otras herramientas espacio-temporales de gestión.

Los sitios identificados se presentan en la figura 4 y cada uno de ellos es descrito a continuación, siguiendo la numeración con la que aparecen en la figura:

1. El **Banco Inglés** (Lat. S 35°13'23,626", Long. O 55°53'22,369"), ubicado en la región estuarina, es una formación principalmente arenosa de muy baja profundidad (<2 m) que se encuentra a 40 km al SE de Montevideo en el RdlP. Sus dimensiones alcanzan 18 km en sentido longitudinal (N-S) y 4 km en su parte más ancha (W-E), y la profundidad en los alrededores alcanza los 11 m, por lo que el cambio abrupto de profundidad (de 11 m a <2 m) es especialmente singular en la zona (Marín *et al*., 2021). Se forma a partir de un afloramiento rocoso rodeado de grandes volúmenes de arena (83 km^2), que en ocasiones particulares queda con su parte más elevada expuesta sobre la superficie. Es de interés ecológico por proporcionar hábitat a moluscos bentónicos (Carranza y Rodríguez, 2007) y alimento y refugio a especies de peces demersales y bentónicas. Además, es especialmente destacado no sólo por su valor ecológico, sino también por su valor histórico cultural, por ser símbolo característico del arribo al puerto de Montevideo en la navegación, responsable de numerosos naufragios y varamientos, por lo que fue cartografiado desde los inicios de su navegación (Bertocchi Morán, 2013, citado en Marín *et al*., 2021). Se requiere para este sitio avanzar en el conocimiento de la fauna asociada y es necesaria la colecta de muestras *in situ* y con mayor resolución espacial y temporal.

2. La **Isla e islote de Lobos y entorno sumergido**, ubicados en la región de plataforma costera a 5 M de la costa de Maldonado (Lat. S. 35°1'24,547", Long. O. 54°52'57,307"), constituyen un conjunto de formaciones rocosas que en buena parte afloran a la superficie. En la isla mayor, de unas 43,5 ha aproximadamente, residen, en altos números de individuos, colonias permanentes de lobos (*Arctocephalus australis*) y leones marinos (*Otaria flavescens*). Estimaciones recientes indican que en la costa uruguaya nacen unos 60.000 cachorros de lobo fino y más de 2.800 leones marinos anuales, que se reparten en 4 sitios reproductivos (DINARA, 2022). La isla e islote de lobos albergan buena parte de estas poblaciones (aproximadamente el 60% de la población de lobo fino reside en estas islas, más de 70.000 individuos y cerca de 9.000 leones marinos; Franco-Trecu, 2015; Crespo y De Oliveira, 2021; Crespo *et al*., 2021). A su vez, el intermareal y submareal rocoso es un sitio de concentración de bancos de mejillones (principalmente *Mytilus* sp.), especie bioingeniera que genera hábitat para los invertebrados bentónicos (por ejemplo, caracol *Stramonita brasiliensis*) y peces (por ejemplo, sargo, *Diplodus argenteus*, blénidos). La fauna bentónica de los fondos no consolidados próximos y también presentes en el área ha sido poco explorada; el sustrato principal es de fango (limos y arcillas provenientes del Río de la Plata), en el que habitan grupos de especies con distintas funciones tróficas (detritívoros, suspensívoros, omnívoros) y predominan poliquetos (*Kimbergonuphis* spp.). Los bivalvos *Ennucula uruguayensis*, *Corbula patagonica*, *Malletia cumingii*, *Macoploma tenta* y la almeja blanca *Proteopitar patagonicus* (*Pitar rostratus*), el caracol de tapita (*Buccinanops cochlidium*),

el gusano sipuncúlido (*Phascolion* sp.), el cangrejo *Libinia spinosa*, el langostino *Pleoticus muelleri* y el camarón *Artemesia longinaris*, también son comunes en estos fondos (Cachés, 1980; Scarabino, F., 2023, comunicación personal). Esta zona es importante en la ruta de migración de la ballena franca austral, que se aproxima a estas costas en búsqueda de refugio para el descanso y el cuidado de sus crías (Costa *et al*., 2005, 2007; Danilewicz *et al*., 2017). Si bien no se destaca esta zona por ello, transitan y se alimentan orcas (*Orcinus orca*), por encontrarse una gran disponibilidad de potenciales presas (Iriarte, 2006). Este sitio, además, posee un especial valor cultural e histórico, ya que aún persisten las edificaciones que se utilizaban para la faena de lobos y leones marinos, que operaron entre mediados de 1873 hasta el año 1991, cuando fueron prohibidas (DINARA, 2019)estamos presentando el Boletín 2018, el cual compila la información generada durante los años 2016-2018. Con la presente publicación se pretende dar continuidad a la serie histórica de información de estadística pesquera que genera la institución y dar un panorama general de su evolución A la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos le corresponde la orientación, el fomento y el desarrollo, en todos sus aspectos, de las actividades relacionadas con el aprovechamiento responsable de los recursos pesqueros y acuícolas, de los ecosistemas que los contienen y de las industrias derivadas, tanto a nivel público como privado. Es el organismo responsable de regular y promover la utilización sustentable de los recursos pesqueros y de la acuicultura mediante una pesca responsable y un procesamiento que satisfaga las normas higiénico sanitarias y de calidad a fin de lograr el máximo provecho posible de los recursos acuáticos disponibles. A los efectos de cumplir con los cometidos y la misión institucional, la divulgación de la información estadística, que comprende tanto la producción como el comercio, es de suma importancia. El presente trabajo se ha podido realizar gracias a la capacidad técnica y el aporte de muchos de los funcionarios de la institución y a la posibilidad que nos ha brindado el proyecto DINARA-PNUD ("Fortalecimiento de las capacidades técnicas y de funcionamiento de la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos". A su vez, dadas las características de estos fondos y afloramientos rocosos, en estas islas ocurrió a lo largo de la historia una importante cantidad de naufragios de barcos, motivo por el cual se emplaza un faro desde el año 1858. En Vaz Ferreira (1950) se cita a Del Peso Blanco (1911), indicando que "desde 1876 hasta 1911 hubo allí alrededor de setenta naufragios", haciendo manifiesta la peligrosidad para la navegación de los alrededores.

3. Los **fondos rocosos** particularmente destacados son los denominados **Restinga del Pez Limón**, ubicados entre los 20 y 40 m de profundidad en el RdlP exterior (Lat. S 35°43'01.98"; Long. O 54°28'04.09"). Allí se concentran especies de peces de importancia ecosistémica y de valor comercial (por ejemplo, pez limón, *Seriola lalandi*; mero, *Acanthistius brasilianus*; chernia, *Polyprion americanus*; besugo, *Pagrus pagrus*) (Martínez *et al*., 2010). Estas especies buscan refugio y alimento en los invertebrados de varios grupos que se fijan a las rocas o habitan asociados a ellas. Cerca de estas formaciones, a aproximadamente 35 M al NW, se distingue el fondo de rocas denominado **Bajo San Jorge** (Lat. S. 35°16'12.0"; Long. O

55°06'18.0"). Este sitio es también especialmente valorado por pescadores deportivos y artesanales en busca de meros (*Epinephelus marginatus*, *Acanthistius* spp.), pargos (*Umbrina canosai*), besugo o pargo rosado (*Pagrus pagrus*), brótola (*Urophycis brasiliensis*), pez limón, entre otros. Se requiere establecer estudios específicos para conocer su biodiversidad y características ecológicas, pues recientemente fueron realizados registros fotográficos donde se aprecia una singular diversidad de invertebrados bentónicos, que refleja la relevancia de estos ambientes para el desarrollo de especies bioingenieras que se fijan al sustrato duro, como múltiples especies de ascidias, poríferos, anémonas, estrellas y otra fauna de importancia, como peces criptobénticos de arrecife rocosos (por ejemplo, blénidos), así como ovicápsulas de varias especies de peces cartilaginosos (por ejemplo, rajiformes) que también suelen fijarse en estos sustratos.

4. El **pozo de fango** (Lat. S 34°47'21"; Long. O 53°33'45") se encuentra en la región de plataforma costera y ocurre en un paleovalle de descarga del RdlP paralelo a la costa uruguaya, denominado Canal Oriental, en una zona de depósitos de sedimentos finos (limosos, Burone *et al*., 2018). Este sitio es importante por tener las condiciones adecuadas como hábitat de fauna bentónica de interés ecológico y pesquero (Scarabino, 2021). A 50 km de La Paloma la profundidad supera los 50 m, con discontinuidades abruptas en algunas zonas. La presencia en abundancias significativas de moluscos gasterópodos y otras especies bentónicas ha motivado el interés de extracción por distintas pesquerías específicas que no operan desde mediados de los años noventa por bajos rendimientos, probablemente por ocurrencia de sobreexplotación. Las principales especies bentónicas en estos fondos son el caracol negro (*Pachycymbiola brasiliana*), el caracol fino (*Zidona dufresnei*), el caracol bola (*Tonna galea*), la almeja blanca (*Pitar rostratus*) y los lenguados (*Paralichthys* spp.) (Scarabino, 2021), y es, además, una potencial zona de reproducción (Arena *et al*., 1993; INIDEP, 2020). Asimismo, junto con el sitio a continuación, es una zona de particular relevancia para especies costeras de tiburones y rayas incluidas en el plan nacional de acción regional para la conservación y la pesca sustentable de los condrictios del área del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (CTMFM, 2018). Por otro lado, este sitio reviste un valor cultural, pues allí (11 M al sur del Cabo Polonio) ocurrió el hundimiento del buque de la Armada Nacional ROU 32 Valiente, en el año 2000, tras colisionar con un carguero provocando la pérdida de 11 de sus tripulantes. Esta fue una de las mayores tragedias en la historia de la Armada Nacional, por lo que este sitio podría considerarse con valor histórico patrimonial.

5. Los **fondos con concentración de moluscos de especial interés** (Lat. S 34°55'24,751"; Long. O 53°11'13,204") son fondos de arena y fango, un hábitat de importancia por haberse identificado una concentración de especies de moluscos de interés socioeconómico, cultural y científico (Scarabino, 2021), principalmente por la presencia de bancos de mejillones de profundidad (*Mitylus* sp.), ostra (*Ostrea tehuelchus*), almejas (*Dallacordia manueli* y *Panopea abbreviata*), la vieira tehuelche (*Aequipecten tehuelchus*), pulpos (*Octopus tehuelchus* y *O. vulgaris*), caracoles (*Zidona dufresnei, Pachicymbiola brasiliana,*

Adelomelon beckii, Tonna galea y *Monoplex parthenopeus*), argonautas, calamares y cangrejos ermitaños (*Dardanus insignis*). Este sitio, en conjunto con el pozo de fango, constituye un sitio de especial relevancia para especies costeras de condrictios. Allí se encuentran altas concentraciones de gatuzo (*Mustellus schmitti*) y angelito (*Squatina Guggenheim*), principalmente entre octubre y febrero. El tiburón sarda (*Carcharias taurus*) se concentra allí durante el verano, junto al chucho (*Myliobatis* spp.) y la guitarra grande (*Pseudobatos horkelii*). En este sitio se ha registrado la presencia de neonatos de sarda, tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), tiburón gatopardo (*Notorynchus cepedianus*) y tiburón marrón o cobrizo (*Carcharhinus brachyurus*). Especies como el gatuzo, el angelito y la guitarra grande son endémicas del sur de Brasil, Uruguay y la plataforma norte Argentina) y presentan baja tasa reproductiva (Doño, 2015; Silveira *et al*., 2018). Asimismo, esta zona es destacada por presentar concentraciones importantes de lenguados (*Paralichthys* spp.) y en ella incluso existió una pesquería dirigida en este recurso (Arena *et al*., 1993; Marín *et al*., 2020). Allí también ocurren importantes concentraciones de juveniles de anchoíta (*Engraulis anchoita*), especie muy importante como alimento de la merluza (*Merluccius hubbsi*), y pescadilla (*Cynoscion guatucupa*), segundo recurso pesquero costero del país.

6. La **zona de concentración de juveniles y de cría permanente de merluza (*Merluccius hubbsi*) en la ZEEU** es considerada un hábitat de relevancia ecológica para esta y otras especies acompañantes (como papamoscas, *Nemadactylus bergi*), constituyendo una zona de relevancia socioeconómica nacional, pues se trata de uno de los principales productos pesqueros. Históricamente ha sido bien fundamentada la elevada abundancia de juveniles de merluza en el área, sumada a la presencia de un área de concentración de adultos para su reproducción durante el otoño. Desde los inicios de su explotación pesquera (a mediados de los ochenta) ha existido una fuerte presión sobre este recurso (Otero y Verazay, 1988; Villarino *et al*., 2000). En la actualidad, la biomasa total calculada para el *stock* de la ZCPAU se encuentra por debajo del 40% de su biomasa estimada para mediados de los años ochenta, al comienzo de su explotación pesquera (CTMFM, 2020). Si bien los últimos estudios indican que estos valores se encuentran en recuperación con los niveles de pesca recientes (CTMFM, 2020), se considera elemental aportar a la protección de esta zona con medidas efectivas que protejan de otros potenciales usos que puedan perjudicar a la especie. La CTMFM, como ámbito binacional, es responsable de la administración conjunta de las pesquerías desarrolladas en la ZCPAU desde el año 1992, realizando campañas de evaluación estacional del recurso enfocadas en determinar las áreas de concentración de las tallas inmaduras de esta especie. Desde entonces, en estas zonas se establecen vedas temporales de pesca. Se determinó como indicador del área al polígono resultante de la superposición espacial de las vedas históricas establecidas entre los años 1996 y 2009, establecidas a partir de campañas de evaluación, según Horta y Nion (2011) (ver MVOTMA 2016). En este sitio, además, asociados al fondo existen bancos de vieira (*Zigochlamys patagonica*). La vieira es una especie de molusco bivalvo que forma bancos sobre fondos de arena y fango entre

los 70 y 135 m de profundidad (Waloszek, 1991; Defeo y Brazeiro, 1994; Gutiérrez y Defeo, 2003). La especie presenta 2 picos de distribución en las latitudes 36°20' S y 36°50' S, donde fue objeto de pesca por la flota uruguaya entre los años 2000 y 2010, por medio de arrastre de fondo. Las variaciones espaciales se encuentran íntimamente relacionadas con el quiebre de plataforma cerca de la isóbata de los 100 m, donde la abundancia es mayor. El límite norte de distribución podría relacionarse con una disminución en la calidad del hábitat debido a temperaturas mayores a 9 °C (superior al rango de tolerancia de la especie) asociadas con la influencia del agua subtropical (Gutiérrez *et al*., 2008). Esta área ha sido destacada previamente para su conservación (Brazeiro *et al*., 2003; MVOTMA, 2016) debido a la relevancia de los bancos de moluscos como especie bioingeniera que proporciona hábitat propicio para el reclutamiento de varias especies con estadios planctónicos, así como para especies ovíparas de elasmobranquios, cuyos huevos se adhieren a las formaciones (Mabragaña *et al*., 2002). En esta región ocurre la zona de intrusión de la Corriente subantártica de Malvinas (Manta *et al.*, 2022), que, como se ha mencionado, es rica en nutrientes y favorece la producción primaria.

7. El talud continental es de especial relevancia para la conservación, por ocurrir allí una gran heterogeneidad de hábitats de características geomorfológicas singulares que generan una importante diversidad de ambientes bentónicos. La zona destacada se extiende desde los 200 m de profundidad hasta los 1.000 m aproximadamente, por presentar la mayor pendiente. En esta zona ocurren procesos hidrodinámicos de elevada energía con consecuencias en la resuspensión de nutrientes y sedimentos (Burone *et al*., 2021 y referencias citadas allí). Además, en ella se encuentran las cabezas (estructura inicial) de 7 cañones submarinos y *pockmarks* de hasta 40 m de profundidad y 400 m de diámetro, que se asocian a ambientes quimiosintéticos no explorados, entre otros potenciales ecosistemas singulares (por ejemplo, *cold seeps* o "emanaciones frías", Carranza, A., 2023, comunicación personal). Cabe mencionar que está confirmada la presencia del poliqueto vestimentífero *Lamellibranchia victori* (Mañe-Garzón y Montero, 1985; Carranza, A., comunicación personal), el cual es indicador de este tipo de ambientes. Las cabezas de los cañones se asocian a la formación de montículos de corales arborescentes (dominados por la especie *Desmophyllum pertusum y* otros por *Bathelia candida;* Carranza *et al*., 2012 ,2021; Masello *et al*., 2021). Los esqueletos de carbonatos formados por los corales proveen hábitats complejos utilizados por muchas especies como lugares de cría, alimentación o refugio (Husebø *et al*., 2002; Costello *et al*., 2005). En estos ambientes se encuentra asociada una diversidad biológica comparable a la presente en arrecifes de aguas someras, por lo cual son reconocidos como puntos calientes o *hotspots* de diversidad (Jensen y Frederiksen, 1992; Henry y Roberts, 2007). Asimismo, existen otras estructuras en forma de elevaciones o montes submarinos, no necesariamente formadas por material biogénico, que deben ser exploradas (MVOTMA, 2016). De manera adicional, el área presenta beneficios adicionales para las pesquerías por potencialmente brindar disponibilidad de alimento y refugio a megarreproductores de peces de interés comercial (como merluza, abadejo y

merluza negra, *Dissostichus eleginoides*). La importancia de la conservación de los arrecifes formados por *Desmophyllum pertusum* (Linneus, 1758) es cada vez más reconocida, tanto por su rol en el ambiente marino como debido a su vulnerabilidad (Freiwald *et al*., 2004). La diversidad biológica encontrada en los arrecifes de aguas profundas puede ser hasta 3 veces superior a la encontrada en los fondos circundantes (ICES, 2004). En este sitio, entre los 250 y 500 m se registra una zona con 85% de presencia de hembras ovígeras y hembras mudando de la especie *Chaceon notialis* (cangrejo rojo), que es un crustáceo de importante interés comercial (Masello, 2010; Gutiérrez *et al*., 2011; Masello y Defeo, 2016). Asociada a esta especie, se reconoce la presencia de otras especies de crustáceos de relevancia ecológica (como langostas *Thymops birsteini* y centollas *Lithodes* spp.), por ser hábitat de reproducción, cría y alimentación (Horta, 2006; INIDEP, 2020). Esta zona es importante para otras especies que se encuentran asociadas a estos fondos de morfología compleja y son objeto de presión pesquera, como rouget (*Helicolenus dactylopterus*), chernia (*Polyprion americanus*) y meros (*Acanthistius* spp.). Además, existen importantes registros de orcas (*Orcinus orca*) y cachalotes (*Physeter macrocephalus*) asociados a las pesquerías de palangre pelágico, que también se concentran para la captura de atunes (principalmente *Thunnus albacares*, *T. alalunga*, y *T. obesus*), pez espada (*Xiphias gladius*) y grandes tiburones (azul, *Prionace glauca*; moro, *Isurus oxyrinchus*; martillos, *Sphyrna* spp.; tiburones marrones, *Carcharhinus* spp.) (Domingo *et al*., 2015).

8. Los **cañones submarinos** son conductos erosivos a través de los cuales los sedimentos son transportados desde la plataforma hacia el océano profundo, determinando la formación de corrientes de turbidez. Presentan elevadas tasas de mezcla en su interior, las cuales pueden ser hasta 1.000 veces mayores que las del océano abierto. En ellos ocurren procesos hidrodinámicos particulares, como las corrientes que atraviesan los cañones y dan lugar a procesos turbulentos de *downwelling* (hundimientos de aguas superficiales) y *upwelling* (surgencias de aguas profundas), favoreciendo elevadas tasas de productividad primaria con efectos que se transfieren en cascada a toda la trama trófica (Allen y Durrieu de Madron, 2009). Dentro de los cañones, la biomasa y abundancia de especies pueden ser hasta 15 veces mayor que en las áreas circundantes a las mismas profundidades. En este sentido, los cañones pueden considerarse *hotspots* de diversidad debido a la gran diversidad de megafauna y las elevadas tasas de endemismo (Danovaro *et al*., 2010). Se han identificado 7 sistemas de cañones insertos en el talud continental uruguayo, los cuales, de sur a norte, se llaman, según Hernández-Molina *et al*. (2016): Río de La Plata, Montevideo, Piriápolis, José Ignacio, La Paloma, Cabo Polonio; y Punta del Diablo. Estos cañones alcanzan anchos de hasta 6 km y profundidades de hasta 800 m y en algunos de ellos se observan megadeslizamientos de sedimentos (Hernández-Molina *et al*., 2016; Rodríguez *et al*., 2022). Es muy poca o casi nula la información de la biodiversidad asociada a estos cañones.

Estos sitios fueron considerados en el marco de la Resolución Ministerial n.º 1152/022 (Ministerio de Ambiente, 2022b) como parte de una estrategia preliminar para la conservación de la biodiversidad en el espacio

marino nacional. En esta norma se brinda un carácter oficial a la identificación de estos sitios de particular relevancia para la conservación y se les brinda la prioridad para que sean tenidos especialmente en cuenta en las evaluaciones de impacto ambiental, así como en otras políticas y acciones a cargo del Ministerio de Ambiente. A su vez, se establece la prioridad para avanzar en el ingreso al SNAP para los sitios: Isla de Lobos e islote y entorno sumergido, zona de concentración de juveniles y de cría permanente de merluza en la ZEEU y talud continental.

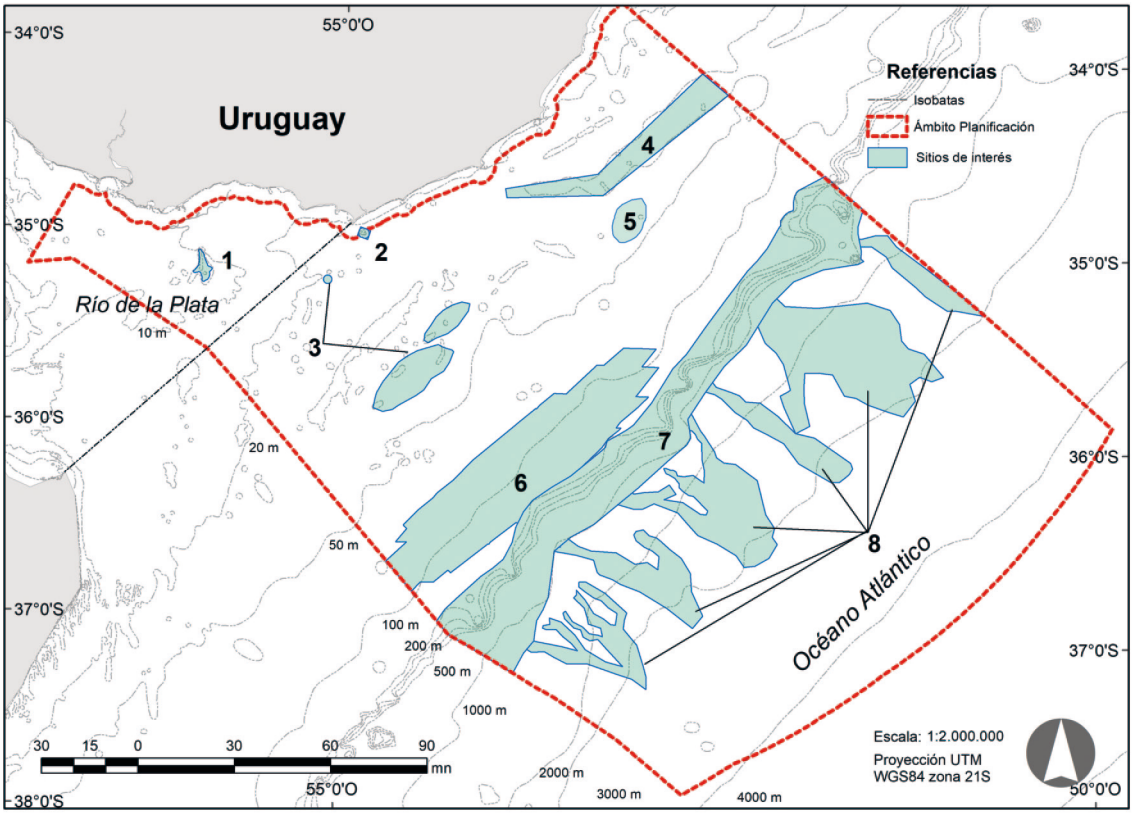


Figura 4: Sitios de interés para la conservación marina. 1) Banco Inglés; 2) Isla de Lobos; 3) fondos rocosos; 4) pozo de fango; 5) fondos con concentración de moluscos de interés; 6) área de cría permanente de merluza; 7) margen continental y talud; 8) cañones submarinos. Se muestran como referencia los límites políticos del mar territorial y del Río de la Plata. En rojo se indica el ámbito de planificación considerado en este trabajo.

Discusión general

Los ecosistemas marinos son elementales para el bienestar presente y futuro y requieren de su valoración nacional e internacional y su urgente cuidado (Lubchenco y Gaines, 2019; Davison *et al*., 2023). Para avanzar en el diseño y el establecimiento de estrategias de gestión integral de conservación de la biodiversidad marina (entendida como ecosistemas, geoformas de interés, especies, hábitats y procesos claves) y del uso sostenible de los recursos naturales es preciso su identificación y caracterización, con base en la mejor información posible. De esta manera, se podrán establecer medidas o estrategias de gestión y manejo basadas en ciencia.

En el ámbito marino en Uruguay existe un conocimiento histórico acumulado generado a partir de diversas fuentes que requiere ser puesto en valor y, por encontrarse mayoritariamente disperso, ser recopilado y analizado de forma integrada. Para ello también se requiere de articulaciones interinstitucionales y del esfuerzo conjunto de las instituciones que generan y analizan información sobre este espacio.

Los resultados preliminares de este proceso permitieron avanzar en una primera aproximación a la priorización espacial para la conservación, mediante la identificación de las áreas geográficas que requieren ser objeto de conservación y el establecimiento de medidas de gestión específicas (como la Resolución Ministerial n.º 1152/2022). Sin embargo, se requiere continuar con los procesos de ingreso de las áreas ya priorizadas y con el desarrollo de la integración espacial y la priorización sistemática, para lograr el diseño de una red de AMP que represente la heterogeneidad de ambientes y hábitats marinos.

Si bien los antecedentes disponibles resaltan la importancia de la región y permitieron identificar sitios que cumplen con las condiciones y necesidades para ser protegidos y conservados, se espera que, a medida que se avance en el proceso de priorización para la conservación, surjan nuevos sitios a considerar por su alta sensibilidad y vulnerabilidad a las actividades existentes y proyectadas a futuro (como exploración de hidrocarburos, minerales, eólica marina, transporte marítimo y pesca), así como ante el cambio climático y la contaminación. En este sentido, se requiere aplicar estrategias adaptativas de gestión (Salafsky *et al*., 2001), una constante revisión y actualización de la información y un análisis integrado más profundo, con evaluaciones *in situ* caso a caso.

Por otro lado, cabe agregar que para la mayor parte de los componentes de la biodiversidad marina de Uruguay la conservación no se puede limitar exclusivamente a una superficie determinada, dada su dinámica temporal y espacial (por ejemplo, zonas frontales y surgencias). Existen grupos de especies o procesos que se desarrollan en extensas zonas y a distintas profundidades de la columna de agua, por lo que se requiere de otras aproximaciones y consideraciones para su gestión. En este sentido, se identifica la necesidad de desarrollar una política de Estado vinculada a la conservación de los ecosistemas, procesos y especies marinas, que permita el desarrollo sostenible de las actividades de forma planificada y compatible con los requerimientos ecosistémicos.

Para ello, debe incorporar ámbitos de intercambio y participación de actores en todas las escalas. Asimismo, debe complementarse con el desarrollo de la investigación marina y la promoción de estrategias de generación de conocimiento y monitoreo de los ecosistemas, las especies y su funcionamiento ecológico. Esta política debe apoyar y promover el diseño y la implementación de diferentes estrategias complementarias de conservación de la biodiversidad del espacio marino, tales como los planes de acción para la conservación de especies (Domingo *et al*., 2015; CTMFM, 2018), el manejo ecosistémico de pesquerías (FAO, 2015), la inclusión de medidas de mitigación de efectos sobre la biodiversidad mediante el proceso de evaluación de impacto ambiental a proyectos a desarrollar en el ambiente marino, y la selección y delimitación de áreas marinas protegidas, así como la incorporación de otras medidas de conservación basadas en áreas que sean complementarias (CBD, 2018), el desarrollo de ámbitos de consulta y participación, y el establecimiento de bases para abordar una estrategia de planificación espacial marina (Ehler y Douvere, 2009).

A su vez, resulta muy relevante el hecho de que la ZEEU no se encuentra aislada y muchos de sus valores de conservación se distribuyen más allá de los límites políticos, por lo que, si se busca una efectividad en las estrategias de conservación aplicadas a nivel nacional, deben generarse acuerdos y estrategias en el ámbito del Atlántico Sudoccidental (Brasil y Argentina) e internacional, en el caso de áreas o medidas de conservación fuera de la jurisdicciones nacionales, máxime con el Acuerdo para la Conservación de la Biodiversidad en aguas Fuera de Jurisdicción Nacional (BBNJ, por sus siglas en inglés) (Naciones Unidas, 2023b).

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Horta, S., M. Ríos, R. Trinchín y Y. Marín, 2024, Estrategias para la conservación de la biodiversidad marina en Uruguay, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 183-211, doi: 10.70952/a8827tmuc2-5

Parte 3
Recursos

Capítulo 3.1
Sistemas petroleros del margen continental uruguayo

Intervención gráfica de fotografía del buque de perforación Noble Venturer (IMO: 9633563), cortesía de la empresa Noble Corp. En el año 2016 el Venturer perforó el pozo Raya X-1 *offshore* Uruguay, que marcó un récord mundial en profundidad de agua para pozos de exploración petrolera (3.404 metros).

Capítulo 3.1
Sistemas petroleros del margen continental uruguayo

Héctor de Santa Ana,[1] Bruno Conti,[2]
Ethel Morales[3] y Rodrigo Novo[2]

[1] *Subgerencia General de Asuntos Estratégicos, ANCAP*

[2] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

[3] *Instituto de Ciencias Geológicas (ICG), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

Introducción[1]

Las acumulaciones de petróleo o gas son ocurrencias naturales de hidrocarburos que se desarrollan en el subsuelo de las cuencas sedimentarias en determinadas condiciones geológicas. Son procesos lentos, que se prolongan a lo largo de millones de años y requieren la generación, expulsión y migración de petróleo o gas de una roca generadora (rica en materia orgánica) y su posterior entrampamiento en un reservorio (roca generalmente porosa y permeable que almacena el hidrocarburo). Para que se produzca una acumulación de hidrocarburos, debe estar presente en la cuenca un conjunto de elementos con ciertas características, así como ocurrir una serie de procesos con una determinada temporalidad.

La noción de sistema petrolero fue introducida en la industria en los setenta, en un momento de gran acumulación de conocimientos sobre la formación de yacimientos de hidrocarburos en las cuencas sedimentarias. Sin embargo, hasta principios de la década de los noventa este concepto no contaba con un criterio de aplicación unificado y era subutilizado por la comunidad científica. Fueron Magoon y Dow, (1994) quienes efectuaron la organización y la clasificación de estos conocimientos y definieron el concepto de sistema petrolero. Este refiere al conjunto de elementos y procesos geológicos esenciales para la existencia de una acumulación de petróleo o gas, presente en un momento y un espacio geográfico específicos. Se lo denomina "sistema" porque existe una interdependencia entre los elementos y procesos para generar la acumulación. La presencia de hidrocarburos en una cuenca, por mínima que sea, permite probar la existencia de un sistema petrolero (Magoon y Beaumont, 1999). La puesta en práctica del concepto de sistemas petroleros en una cuenca sedimentaria es utilizada en la exploración de hidrocarburos, en la evaluación de recursos

1 Los autores agradecen a ANCAP por el apoyo, así como por los datos cedidos para la realización de este trabajo.

prospectivos y en la investigación científica en general. Los cuatro elementos esenciales que componen un sistema petrolero son: la roca generadora, la roca reservorio, la trampa y el sello. Por su parte, los procesos geológicos de un sistema petrolero involucran la formación de una trampa y la generación, migración y acumulación de hidrocarburos.

Las empresas de exploración o producción de hidrocarburos adquieren datos geofísicos y geológicos, en tierra o en mar, para comprender la geología y los sistemas petroleros de una cuenca sedimentaria, así como también los tipos de modelos exploratorios (*plays*) y prospectos que en ellas se desarrollan. Un prospecto refiere a una estructura en el subsuelo de una cuenca sedimentaria, de origen estructural, estratigráfico o mixto, que puede ser mapeada con base en datos geofísicos (por ejemplo, sísmicos) y que podría acumular hidrocarburos en cantidades comercialmente explotables (Magoon y Dow, 1994).

En este capítulo se discutirán las características que presentan los sistemas petroleros de la región costa afuera (*offshore*) de Uruguay y el potencial prospectivo de sus cuencas para contener acumulaciones comerciales de hidrocarburos.

Antecedentes exploratorios

Las cuencas del *offshore* de Uruguay han suscitado el interés de compañías de exploración de hidrocarburos desde la década de los setenta. Durante el período comprendido entre 1970 y 1982 las actividades exploratorias se concentraron en las áreas de aguas poco profundas de las cuencas Punta del Este y Pelotas, con la realización de 6 campañas de adquisición de datos sísmicos 2D (totalizando 11.147 km lineales) y la perforación de dos pozos exploratorios (Lobo x-1 y Gaviotín x-1) en aguas rasas (próximos a los 50 m) de la Cuenca Punta del Este, en el año 1976, por parte de la empresa estadounidense Chevron. Ambos pozos fueron declarados "secos", es decir, no se encontraron hidrocarburos en el objetivo marcado (prospecto). Este resultado afectó la percepción sobre el potencial petrolífero de las cuencas *offshore* de Uruguay por varias décadas.

El segundo "impulso" exploratorio en las cuencas costa afuera se desarrolló en el período comprendido entre 2007 y 2018. A instancias de dos rondas de licitación organizadas por la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), lanzadas en 2009 y 2011, se adjudicaron 10 áreas a 7 compañías internacionales para la exploración y la producción de hidrocarburos en el mar territorial uruguayo (Blánquez y Ferro, 2019). Durante este período la inversión en exploración en el *offshore* de Uruguay aumentó exponencialmente (Ferro *et al*., 2020) y se recabó una gran cantidad de datos geofísicos y geológicos que incluyeron aproximadamente 40.000 km de sísmica 2D (figura 1a) y 41.000 km^2 de sísmica 3D (figura 1b), lo que representa una cobertura en datos sísmicos 3D de un tercio del territorio marítimo de nuestro país hasta las 200 M. Este volumen de datos sísmicos constituye un hito para una cuenca de frontera, término con el que se conoce a las cuencas que no cuentan con descubrimientos de hidrocarburos. Por su parte, en el año 2016 se perforó en aguas profundas de la Cuenca Pelotas el pozo exploratorio Raya x-1, por parte de la empresa francesa TOTAL, pozo que, finalmente,

también fue declarado "seco". Vale la pena destacar que este pozo constituyó en su momento el récord mundial de profundidad de lámina de agua (3.404 m de batimetría), recientemente superado por un pozo en aguas profundas en Angola (Beaubouef, 2020).

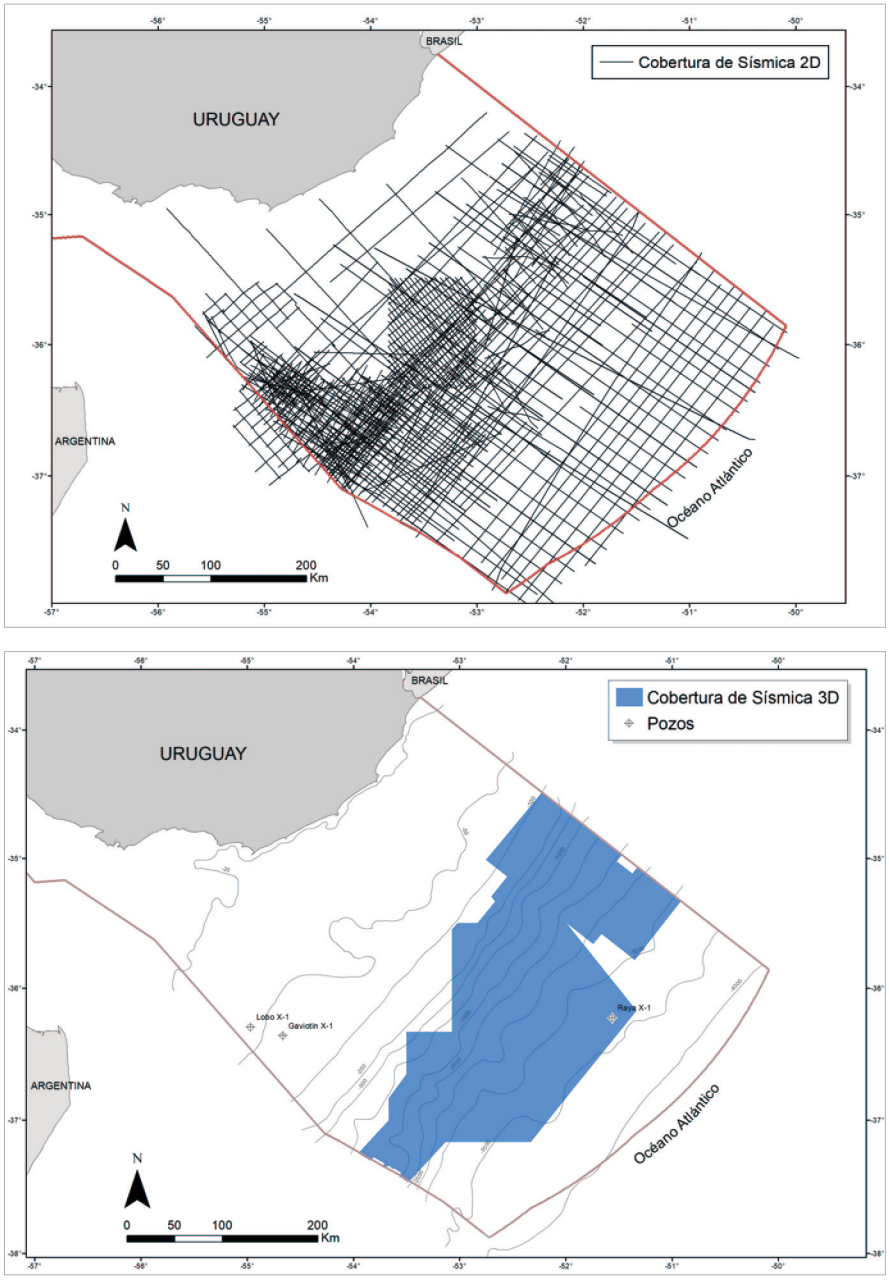


Figura 1: Margen continental uruguayo y su cobertura sísmica a) 2D y b) 3D y ubicación de pozos exploratorios.

Si bien durante esta segunda fase exploratoria tampoco se encontraron acumulaciones de petróleo o gas, la gran base de datos adquirida permite comprender de mejor manera la geología, la evolución tectónica y estratigráfica y los sistemas petroleros que componen a estas cuencas, así como identificar diversos *plays* y decenas de prospectos que aún permanecen sin ser perforados. Cabe indicar que, en contrapartida a la gran cantidad de datos sísmicos adquiridos en el margen continental uruguayo, la cantidad de pozos exploratorios realizados hasta el momento (tres en total) es insuficiente para evaluar el potencial hidrocarburífero de estas cuencas, lo que las convierte en subexploradas.

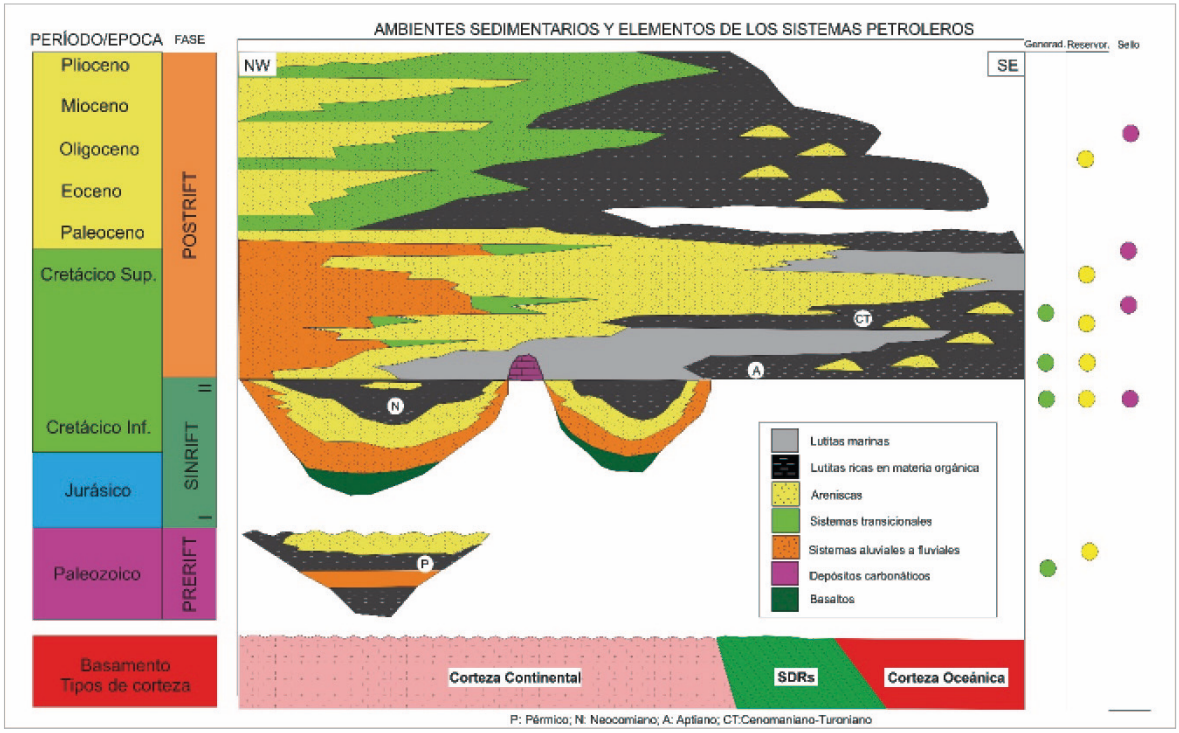


Figura 2: Columna estratigráfica que muestra los principales elementos de los sistemas petroleros del offshore *de Uruguay.*

Sistemas petroleros del margen continental uruguayo

Tomando como base los criterios definidos por Magoon y Dow (1994), los sistemas petroleros aquí presentados son de tipo especulativo y están fundamentalmente basados en los trabajos realizados por el equipo de Exploración y Producción de ANCAP, trabajos técnicos realizados por las empresas petroleras que exploraron el *offshore* de Uruguay y artículos científicos publicados sobre la temática. Un sistema petrolero especulativo es aquel en el que la existencia de la roca generadora o de la acumulación de hidrocarburos es postulada enteramente sobre

la base de evidencia geológica o geofísica (Magoon y Dow, 1994).

Para el margen uruguayo se definen cuatro sistemas petroleros especulativos asociados a distintas fases evolutivas y secuencias sedimentarias (figura 2):

- Sistema petrolero marino de la fase *pre-rift*
- Sistema petrolero lacustre de la fase *syn-rift*
- Sistema petrolero marino de la fase *post-rift* (Cretácico-Cretácico)
- Sistema petrolero marino de la fase *post-rift* (Cretácico-Cenozoico)

Para un mayor detalle sobre la evolución tectónica y las características estratigráficas y geológicas de cada una de estas fases geológicas ver el capítulo 2.2 de este libro.

Sistema petrolero marino de la fase *pre-rift*

Este sistema petrolero se desarrolla en los sectores proximales de las cuencas Punta del Este y Pelotas (figura 3a), donde se preservan registros sedimentarios paleozoicos correspondientes a la fase *pre-rift* que se apoyan sobre la corteza continental. Estos registros se correlacionan con unidades geológicas que afloran y se distribuyen en el subsuelo de la Cuenca Norte (porción uruguaya de la Cuenca Paraná). De esta forma, el tramo final del pozo Gaviotín x-1 atravesó 139 m de areniscas y lutitas pérmicas correspondientes a la fase *pre-rift* (Veroslavsky *et al*., 2003; Ucha *et al*., 2004). Esta secuencia se preserva en la base de depocentros aislados, asociados fundamentalmente a estructuras de tipo *hemi-graben* (fosas), y su espesor puede alcanzar los 4 km.

Las rocas generadoras esperadas en este sistema petrolero corresponden a dos secuencias que incluyen lutitas marinas, ricas en materia orgánica, cuya presencia en la Cuenca Norte está comprobada a través de afloramientos y perforaciones (De Santa Ana y Ucha, 1994; De Campos *et al*., 1998; Milani y Zalán, 1999; Milani *et al*., 2000; De Santa Ana y Gutiérrez, 2000; Pángaro *et al*., 2016). La primera de estas comprende lutitas marinas devónicas de la Formación Cordobés, que, según datos de la Cuenca Norte, contienen querógeno tipo II con valores de contenido orgánico total (COT) de hasta 4% (De Santa Ana y Ucha, 1994). La otra secuencia está constituida por lutitas oleígenas artinskianas (Pérmico temprano) de la Formación Mangrullo, depositadas en un ambiente marino restricto, que, según datos de la Cuenca Norte, contiene querógeno tipo I y alcanza valores de contenido orgánico total de 13,5% (De Santa Ana y Gutiérrez, 2000). Si bien estas lutitas presentan excelentes valores de contenido orgánico, se encuentran inmaduras, o en el inicio de la ventana de petróleo, en la Cuenca Norte. Sin embargo, dado el caso de que estas lutitas estén preservadas en las cuencas *offshore*, se espera que se encuentren sobremaduras, debido al mayor soterramiento al que están sometidas, que en algunos sectores supera los 7.000 m.

Las principales rocas reservorios de este sistema se corresponderían con areniscas fluviodeltaicas del Pérmico inferior, correlacionables con la Formación Tres Islas, así como con areniscas eólicas del Pérmico superior, correlacionables con la Formación Buena Vista (Veroslavsky *et al*., 2003).

Por su parte, las rocas sello estarían constituidas por lutitas marinas del Pérmico (por ejemplo, formaciones Cerro Pelado, Paso Aguiar, Fraile Muerto y Yaguarí, todas presentes en la Cuenca Norte), así como por basaltos del Cretácico inferior que cubren las secuencias pérmicas (Morales *et al*., 2017b).

Las trampas geológicas identificadas para este sistema son de tipo estructural, asociadas a procesos de deformación compresional y extensional que afectaron a la secuencia paleozoica en esta región. De esta forma, se han interpretado en secciones sísmicas anticlinales y bloques fallados como los *plays* de la secuencia *pre-rift*.

Los principales riesgos geológicos que se atribuyen a este sistema petrolero están asociados a la presencia y las características de la roca generadora (potencialmente sobremadura), así como a la calidad del reservorio.

Sistema petrolero lacustre de la fase *syn-rift*

Este sistema petrolero se distribuye fundamentalmente en la Cuenca Punta del Este (figura 3b) y está asociado al desarrollo de sistemas continentales generados en el interior de *hemi-grabens* controlados por fallas normales de dirección NW-SE (sector proximal) y NE-SW (sector distal).

Las rocas generadoras esperadas en este sistema petrolero corresponden a lutitas ricas en materia orgánica depositadas en ambientes lacustres durante el Neocomiano (Morales *et al*., 2017b). Los pozos exploratorios que atravesaron la secuencia *syn-rift* en la Cuenca Punta del Este (Lobo x-1 y Gaviotín x-1) no atravesaron niveles ricos en materia orgánica. Cabe mencionar que estos pozos fueron localizados en los altos (pilares tectónicos) de un *hemi-graben*, sin alcanzar su depocentro. Por su parte, la interpretación de datos sísmicos y los modelos geológicos de sistemas lacustres permiten inferir la presencia de espesos paquetes lutíticos ubicados en la porción central de los *hemi-grabens*. Esta roca generadora ha sido probada en la Cuenca Orange, ubicada en el margen conjugado africano (*offshore* de Sudáfrica y Namibia). El pozo AJ-1, perforado en la porción sudafricana de la Cuenca Orange en 1988, atravesó un nivel de lutitas lacustres hauterivianas de la sección *syn-rift*, que alcanzó valores de contenido orgánico total de 10% (Paton *et al*., 2007).

Los reservorios principales de este sistema se corresponderían con depósitos de areniscas fluviodeltaicas intercalados con los niveles lutíticos lacustres (Morales *et al*., 2017b). Cabe mencionar que el pozo AJ-1 encontró petróleo liviano (36° API) en este tipo de reservorios (Africa Energy Corporation, 2021).

Por su parte, las rocas sello estarían representadas por los mismos niveles de lutitas lacustres que componen la roca generadora, intercalados con los reservorios mencionados anteriormente (Conti *et al*., 2017).

Las principales trampas geológicas identificadas para este sistema son de tipo estratigráfico y estructural, representadas por abanicos aluviales y lacustres, acuñamientos y bloque fallados y rotados (Morales *et al*., 2017b).

Este sistema petrolero tiene como principal riesgo la presencia y la calidad de la roca

generadora que, si bien ha sido reconocida en sísmica, no fue perforada por los pozos que alcanzaron la secuencia *syn-rift* (Conti *et al*., 2017).

Sistemas petroleros marinos de la fase *post-rift* (Cretácico-Cretácico)

Estos sistemas petroleros especulativos se distribuyen fundamentalmente en los sectores distales de las cuencas Punta del Este y Pelotas del *offshore* de Uruguay y están asociados a la distribución de dos potenciales rocas generadoras de la fase *post-rift* cretácica.

La principal roca generadora que se propone para la fase *post-rift* corresponde a lutitas marinas aptianas (figura 3c). Estas constituyen la primera transgresión marina en las cuencas *offshore* de Uruguay (Morales *et al*., 2017b; Conti *et al*., 2017), durante la apertura del océano Atlántico, asociadas al primer evento anóxico global del Cretácico (OAE-1). La presencia y la calidad de la secuencia aptiana como roca generadora de clase mundial han sido probadas en diversas perforaciones en el Atlántico Sur (por ejemplo, Bray *et al*., 1998; Paton *et al*., 2007). De hecho, los enormes descubrimientos de hidrocarburos (Venus y Graff) realizados recientemente en la Cuenca Orange (*offshore* de Namibia) están asociados a una roca generadora aptiana (Hedley *et al*., 2022). Según datos de perforaciones de dicha cuenca, las lutitas aptianas presentan un promedio de contenido orgánico total de 2% y un querógeno de tipo II (Bray *et al*., 1998). Cabe aclarar que esta secuencia no ha sido perforada aún en el *offshore* de Uruguay, ya que el único pozo exploratorio que está ubicado en una posición distal (Raya x-1) no alcanzó los sedimentos cretácicos (Morales *et al*., 2020). Sin embargo, ha sido identificada en secciones sísmicas en todo el *offshore* uruguayo (Morales *et al*., 2017b; Conti *et al*., 2017), con espesores de hasta 1.000 m, duplicando en algunos sectores los alcanzados en el margen africano.

Otra roca generadora con potencial de generación en la fase *post-rift* cretácica corresponde a lutitas marinas del Cenomaniano-Turoniano (figura 3d), asociadas al segundo evento anóxico global del Cretácico (OAE-2), y que, según datos de la Cuenca Orange, alcanza valores de contenido orgánico total de hasta 5% (Bray *et al*., 1998). Esta potencial roca generadora no es fácilmente identificable en secciones sísmicas del *offshore* de Uruguay como la secuencia aptiana, debido a que presenta un espesor reducido (potencialmente menor a los 50 m). Por otro lado, según Morales *et al*. (2017b), tendría un potencial de preservación mayor en la Cuenca Pelotas que en la Cuenca Punta del Este, debido a la dilución clástica causada por el alto suministro de sedimentos en esta última.

Los reservorios principales de estos sistemas estarían representados por areniscas asociadas a canales y sistemas de abanicos de fondo de cuenca del Cretácico inferior y superior (Conti *et al*., 2017; Morales *et al*., 2017b).

Los sellos corresponderían exclusivamente a lutitas marinas asociadas a eventos transgresivos del Cretácico superior y el Paleoceno, intercalados con los niveles de reservorio (Conti *et al*., 2017).

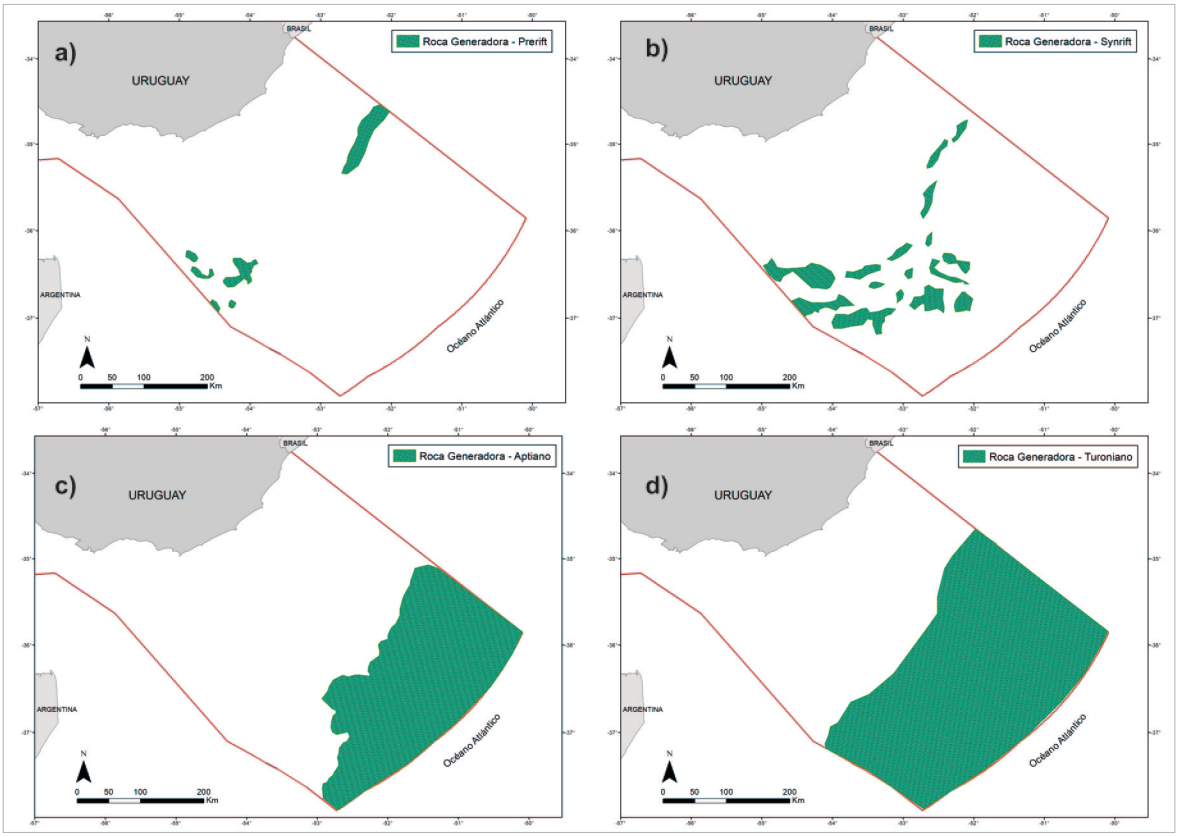


Figura 3: Distribución de las potenciales rocas generadoras del pre-rift *(a),* syn-rift *(b), aptiana (c) y cenomaniana-turoniana (d) en el* offshore *de Uruguay. En el caso del* pre-rift *se indican las zonas de mayor probabilidad de desarrollo de la roca generadora asociada a los principales depocentros.*

Las principales trampas geológicas identificadas para estos sistemas son de tipo estratigráfico y mixto, asociadas a sistemas de canales, turbidíticos, progradaciones deltaicas y acuñamientos (Gristo *et al.*, 2022).

Se identifica la integridad y la efectividad de las trampas como el principal riesgo geológico de estos sistemas (ANCAP, 2020).

Sistema petrolero marino de la fase *post-rift* (Cretácico-Cenozoico)

Este sistema petrolero se distribuye en los sectores distales de las cuencas Punta del Este y Pelotas del *offshore* de Uruguay y está asociado a la distribución de las rocas generadoras de la fase *post-rift* cretácica, mencionada antes. Asimismo, se entiende que la roca generadora del Cenomaniano-Turoniano (Cretácico superior) tendría más posibilidades de alimentar de hidrocarburos los reservorios cenozoicos por su proximidad vertical, en la columna sedimentaria, a los reservorios cenozoicos. De esta forma, la principal diferencia con respecto al sistema anterior radica en que los reservorios corresponderían a la fase *post-rift* cenozoica, representados principalmente por areniscas depositadas en abanicos de fondo de

cuenca del Eoceno y el Oligoceno. El objetivo perforado por el pozo Raya x-1 de la Cuenca Pelotas consistió en una arenisca turbidítica del Oligoceno con un espesor de 135 m y una porosidad promedio de 24% (ANCAP, 2020), que no contenía hidrocarburos.

Los sellos para este sistema corresponderían a lutitas marinas asociadas a transgresiones del Eoceno y el Mioceno (ANCAP, 2020). El pozo Raya x-1 atravesó más de 2.000 m de lutitas antes de alcanzar el reservorio.

Las principales trampas geológicas identificadas para este sistema son de tipo estratigráfico, asociadas a sistemas de canales o turbidíticos (Morales *et al*., 2017b).

Se identifica la presencia y la efectividad de las vías de migración que conectan a las generadoras del Cretácico con los reservorios cenozoicos como el principal riesgo asociado a este sistema (Conti *et al*., 2017; Morales *et al*., 2020).

Evidencias de hidrocarburos

Si bien hasta el momento no se han encontrado acumulaciones de hidrocarburos en las cuencas *offshore* de Uruguay, existen diversas evidencias, indirectas y directas, que permiten inferir su ocurrencia.

Entre las evidencias, o indicadores, indirectas, es decir, inferidas a través de métodos geofísicos como el sísmico o los registros de pozos, se incluyen chimeneas de gas, anomalías de amplitud, anomalías de resistividad, cruce de los registros de pozo de densidad-neutrón, entre otros.

Por su parte, los indicadores directos de la presencia de hidrocarburos están asociados a análisis geoquímicos y petrográficos realizados en muestras de los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1, así como a análisis geoquímicos realizados en muestras de fondo marino.

Evidencias indirectas

Una de las principales evidencias indirectas de la presencia de hidrocarburos identificadas en secciones sísmicas del *offshore* de Uruguay está asociada al reconocimiento de estructuras de escape de fluidos o "chimeneas de gas". Estas son estructuras disruptivas, de carácter difuso, que se extienden verticalmente por centenas de metros y presentan anomalías de amplitud asociadas (Singh *et al*., 2016). Las chimeneas de gas identificadas conectan las unidades cretácicas potencialmente generadoras con reservorios del Cretácico superior y estarían asociadas a fallas que permiten la migración de hidrocarburos a través del subsuelo (figura 4 a).

A su vez, en secciones sísmicas, se pueden observar otras evidencias indirectas de la potencial presencia de hidrocarburos, tales como anomalías de amplitud de distinto tipo, presentes en un potencial reservorio (figura 4 b). En este sentido, se observan "puntos brillantes" (*bright spots*), polaridad inversa, anomalías AVO (*amplitud versus offset*), entre otras.

Los datos de electromagnetismo 3D adquiridos en el *offshore* de Uruguay, particularmente en la Cuenca Punta del Este, muestran otra interesante evidencia indirecta de la presencia de hidrocarburos relacionada con

anomalías de resistividad en el subsuelo (figura 4 c). De esta forma, fueron detectadas algunas anomalías de alta resistividad que coinciden espacialmente con potenciales trampas geológicas identificadas en secciones sísmicas. Los altos valores de resistividad del subsuelo en estos sitios específicos pueden estar indicando la presencia de un reservorio cargado con petróleo o gas, ya que los hidrocarburos se caracterizan por presentar altas resistividades (Senger *et al.*, 2021).

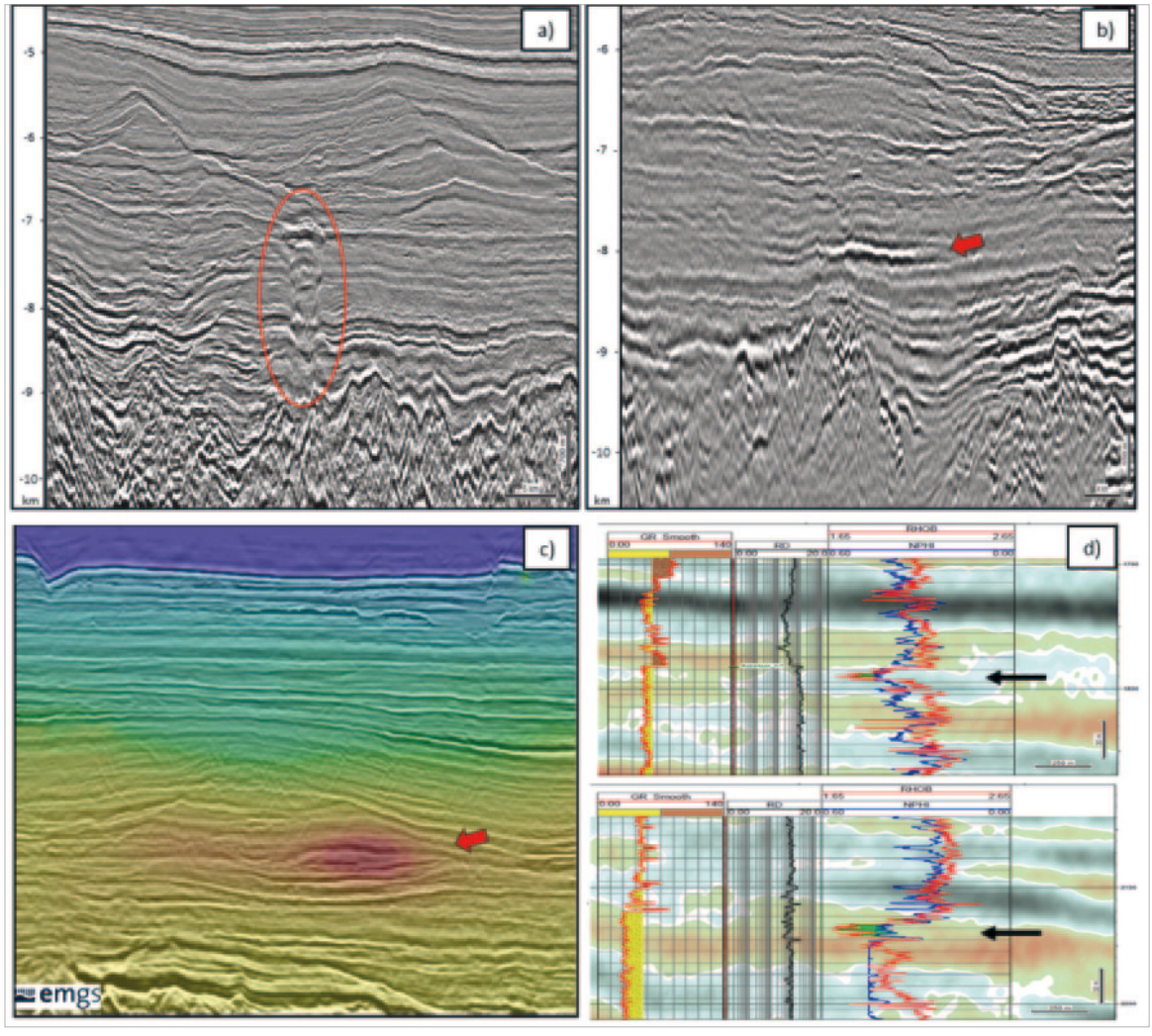


*Figura 4: Evidencias indirectas de hidrocarburos: a) "chimenea" de gas en sección sísmica de la Cuenca Punta del Este; b) sección sísmica de la Cuenca Punta del Este que muestra anomalía de amplitud asociada a un reservorio (flecha roja); c) anomalías de resistividad en sección sísmica de la Cuenca Punta del Este (el rojo indica altas resistividades); d) cruzamiento de los registros (*logs*) densidad (rojo) y neutrón (azul) para un tramo del pozo Gaviotín x-1. Las flechas negras indican el cruzamiento asociado a niveles con gas.*

Adicionalmente, un ejemplo de evidencia indirecta de la presencia de gas en las cuencas está asociado al cruce de los registros de pozo de densidad y neutrón. Cabe mencionar que el registro de densidad en un pozo mide la densidad de electrones en la formación geológica, es un indicativo de su densidad en general y permite estimar el valor de su porosidad. Por su parte, el registro de neutrón mide principalmente la concentración de hidrógeno de una formación, relacionado con la presencia de agua o hidrocarburos en los poros. De este modo, el registro de neutrón es también utilizado como un indicativo de la porosidad de la formación. La diferencia de respuesta del registro de neutrón para formaciones que contienen agua o petróleo típico es pequeña. Sin embargo, la presencia de gas incrementa la porosidad aparente del registro de densidad y disminuye la porosidad aparente del registro de neutrón, generando un cruzamiento de los registros asociados a la presencia de gas en la formación. El pozo Gaviotín x-1 registra al menos dos cruzamientos de los registros densidad-neutrón en la sección cretácica, asociados a niveles métricos de areniscas (figura 4 d).

Evidencias directas

- La principal evidencia directa de la presencia de hidrocarburos en el *offshore* de Uruguay proviene de los estudios geoquímicos de inclusiones fluidas realizados en muestras de los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1 (Tavella y Wright, 1996). En dicho trabajo se indica que extensas secciones de ambos pozos presentan inclusiones fluidas tanto de gas como de petróleo. Es importante mencionar que las inclusiones fluidas refieren a pequeñas cantidades de hidrocarburos entrampadas en la estructura cristalina de la roca durante su generación y posterior migración. Por otra parte, en 2011 se realizó un nuevo estudio de inclusiones fluidas utilizando técnicas avanzadas de análisis, en el cual se examinaron más de 1.000 muestras de ambos pozos. Como resultado, fueron detectadas abundantes inclusiones fluidas de gas y petróleo liviano (figura 5) en las secuencias del *syn-rift* y el *post-rift* (Soto *et al*., 2015). Las inclusiones fluidas corresponden a petróleo liviano (densidad de 32° API), parafínico, no biodegradado, de probable origen lacustre, mientras que las inclusiones de gas mostraron altos valores de etano y metano.
- Asimismo, estudios geoquímicos realizados en muestras de fondo marino en la región de aguas profundas de las cuencas Punta del Este y Pelotas también demuestran la presencia de hidrocarburos termogénicos. Según estos estudios, los hidrocarburos migraron desde la roca generadora o los reservorios hasta la superficie de la cuenca como microfiltraciones. Las microfiltraciones refieren a concentraciones anómalas de hidrocarburos volátiles o semivolátiles presentes en suelos, sedimentos o agua, únicamente reconocidas mediante análisis geoquímicos. El principal proceso de migración de los hidrocarburos en las microfiltraciones está asociado al movimiento ascendente, por flotabilidad, de flujos gaseosos a través de rocas con alta permeabilidad (por ejemplo, reservorios y *carrier beds*) y por imbibición a través de rocas con baja permeabilidad (por ejemplo, sellos y rocas generadoras).

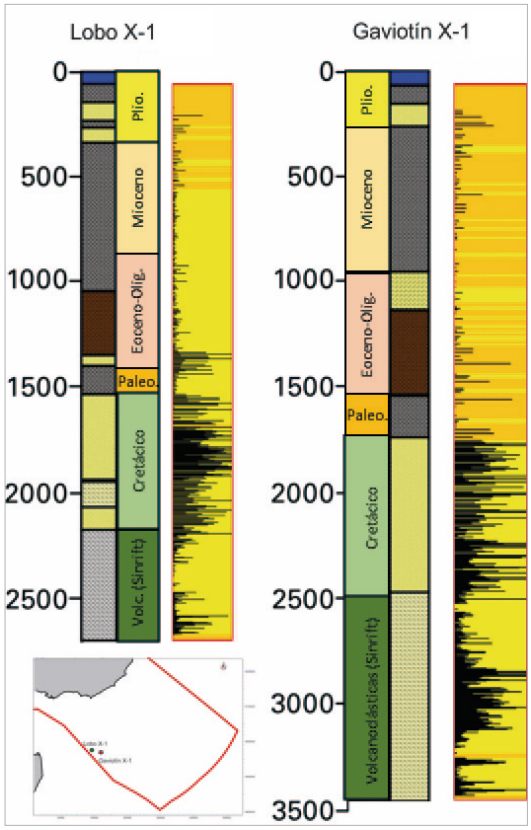


Figura 5: Presencia de inclusiones fluidas de gas termogénico (metano) en la columna estratigráfica de los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1.

Modelos exploratorios

Una de las grandes ventajas para la exploración de hidrocarburos que presentan las cuencas del *offshore* de Uruguay, respecto a otras cuencas de frontera de la región y el mundo, es la gran cantidad de cobertura sísmica, en especial de sísmica 3D.

El análisis de los datos sísmicos por diferentes equipos técnicos a lo largo de los años ha permitido reconocer decenas de prospectos ubicados en aguas someras (150 m) a ultraprofundas (4.000 m). Estos prospectos corresponden a diversos modelos exploratorios o *plays* que están asociados a las distintas fases y secuencias sedimentarias que constituyen el relleno de las cuencas (*pre-rift*, *syn-rift* y *post-rift*).

Modelos exploratorios de la fase *pre-rift*

Los modelos exploratorios asociados a la fase *pre-rift* no han sido testeados hasta el momento en el *offshore* de Uruguay y se desarrollan en el sector proximal de las cuencas Punta del Este y Pelotas, sobre corteza continental, a batimetrías inferiores a los 200 m. Es en ese sector donde se preserva la secuencia *pre-rift* paleozoica, principalmente en la base de depocentros mesozoicos, pudiendo alcanzar espesores de 1.500 m y soterramientos de hasta 7 km.

Cabe indicar que esta secuencia, habiéndose depositado antes de la fragmentación de Gondwana, presenta un importante componente de deformación compresiva posiblemente asociado a la orogénesis tardiherciniana (De Santa Ana *et al.*, 2006). En ese sentido, las situaciones exploratorias son de tipo estructural y corresponden fundamentalmente a anticlinales con cierre en las cuatro direcciones (figura 6a) y bloques rotados y fallados.

Modelos exploratorios de la fase *syn-rift*

Los modelos exploratorios de la fase *syn-rift* se desarrollan exclusivamente en la Cuenca Punta del Este desde aguas someras (50 m) a profundas (3.000 m). Es en ese sector donde

se desarrolla la secuencia *syn-rift*, asociada al relleno de *hemi-grabens* que alcanzan espesores de 3.000 m y soterramientos de hasta 6.000 m. En esta secuencia los *plays* identificados son de tipo estructural y estratigráfico. Los *plays* de tipo estructural de la fase *syn-rift* corresponden a bloques rotados y fallados que generan *hemi-grabens* y pilares tectónicos (*horsts*). Estos "altos" o pilares tectónicos fueron los objetivos exploratorios que justificaron la locación de los pozos Lobo x-1 y Gaviotín x-1, los cuales presentaron inclusiones fluidas de petróleo y gas (Soto *et al*., 2015).

Por su parte, los *plays* estratigráficos de la fase *syn-rift* no han sido testeados y están fundamentalmente asociados al desarrollo de abanicos aluviales o lacustres en el interior de los *hemi-grabens* (figura 6b) y que presentan acuñamiento o truncamiento contra una superficie erosiva. Estos abanicos se intercalan con niveles lutíticos lacustres que actuarían a la vez como roca generadora y sello lateral y superior. Cabe mencionar que este tipo de prospecto estratigráfico fue probado en forma exitosa en el margen conjugado (Cuenca Orange, en el *offshore* de Sudáfrica), pero aún se mantiene sin perforar en el *offshore* uruguayo.

Modelos exploratorios de la fase *post-rift*

Debido a la extensa distribución de la secuencia *post-rift* en todo el *offshore* de Uruguay, se reconocen *plays* desde aguas someras a ultraprofundas, tanto en Cuenca Punta del Este como en Cuenca Pelotas. La mayoría de los *plays* identificados son de tipo estratigráfico y, en menor medida, mixtos.

Si bien los principales *plays* en la fase *post-rift*, así como en las otras fases de las cuencas, están asociados a reservorios siliciclásticos, se han identificado en secciones sísmicas situaciones exploratorias que podrían corresponder a construcciones carbonáticas aisladas, ubicadas en la base de la secuencia *post-rift* cretácica. Estas construcciones carbonáticas (figura 6c) se identifican exclusivamente en aguas profundas de la Cuenca Punta del Este, habiéndose depositado sobre los pilares tectónicos de *hemi-grabens* durante el Albiano (Conti *et al*., 2016) y posteriormente recubiertas por lutitas del Cretácico superior. Este *play*, no probado en el *offshore* de Uruguay, presenta analogías con el descubrimiento en el prospecto Libra de la Cuenca de Santos (Brasil). Libra es uno de los mayores descubrimientos de petróleo del *offshore* brasilero y consiste en un reservorio carbonático de la fase *syn-rift* de edad albiana, formado por coquinas y microbialitos (Petersohn *et al.*, 2013). Según Petersohn *et al.* (2013), la trampa se desarrolla cuando los carbonatos son depositados en altos estructurales de la secuencia *rift* y posteriormente recubiertos por un sello que, en este caso, corresponde a espesas capas de sal.

Adicionalmente, se identifican como *plays*, estructuras del tipo *drapes*, en la base del *post-rift* (figura 6d), que tienen apariencia de anticlinal pero que no se forman por deformación tectónica. Su génesis está asociada a procesos de compactación diferencial alrededor de estructuras preexistentes, generalmente altos de basamento.

Los *plays* de mayor distribución en las secuencias *post-rift* están relacionados con sistemas de canales y abanicos de fondo

de cuenca (turbiditas), que se desarrollan en el sector distal del margen, a partir del Cretácico temprano, para diversas secuencias cretácicas y cenozoicas. Este *play* de la secuencia oligocénica fue atravesado por el pozo Raya x-1 en 2016. La ausencia de hidrocarburos en él puede deberse a la dificultad de carga del reservorio, debido a la escasez de vías de migración (fallas) en la fase *post-rift* que permitan conectar las rocas generadoras cretácicas con los reservorios cenozoicos.

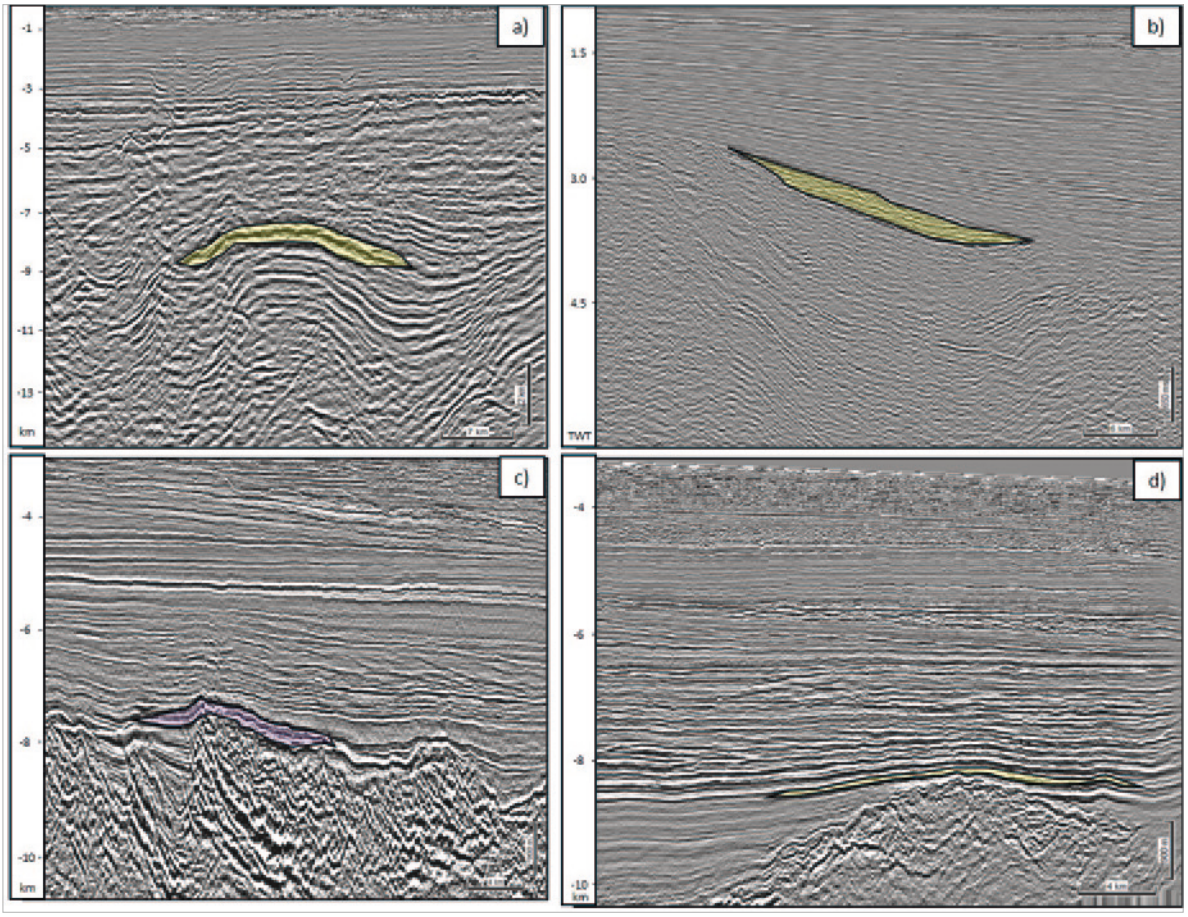


Figura 6. Secciones sísmicas con ejemplos de los distintos tipos de plays *evaluados (en amarillo y violeta): a) anticlinal; b) abanico lacustre; c) construcción carbonática; y d)* drapes.

Por su parte, los sistemas turbidíticos de la fase *post-rift* cretácica (figura 7b) no han sido perforados en nuestras cuencas y permanecen como las situaciones exploratorias más atractivas, ya que la cercanía entre la roca generadora y el reservorio facilitaría el abastecimiento y la carga. Sumado a ello, a fines de 2021 y principios de 2022 se realizaron dos importantes hallazgos de petróleo y gas en el margen conjugado africano,

más precisamente en aguas profundas de la Cuenca Orange del *offshore* de Namibia. Estos descubrimientos de hidrocarburos se realizaron en turbiditas del *post-rift* cretácico, específicamente del Aptiano-Albiano, y sistemas de canales del Coniaciano-Santoniano (Beckman, 2022; Van der Spuy y Sayidini, 2022). Estos hallazgos permiten reducir el riesgo geológico a nivel de *play* de las turbiditas y los canales submarinos cretácicos en la región. En el apartado siguiente se discutirán con mayor detalle las analogías entre la Cuenca Orange, del margen oeste africano, y las cuencas *offshore* de Uruguay, así como sus implicancias en el potencial petrolero. Por su parte, en la secuencia cretácica *post-rift* también se reconocen sistemas transicionales con configuración progradante de tipo sigmoidal, asociados a sistemas deltaicos, que en ocasiones presentan anomalías de amplitud (figura 7b).

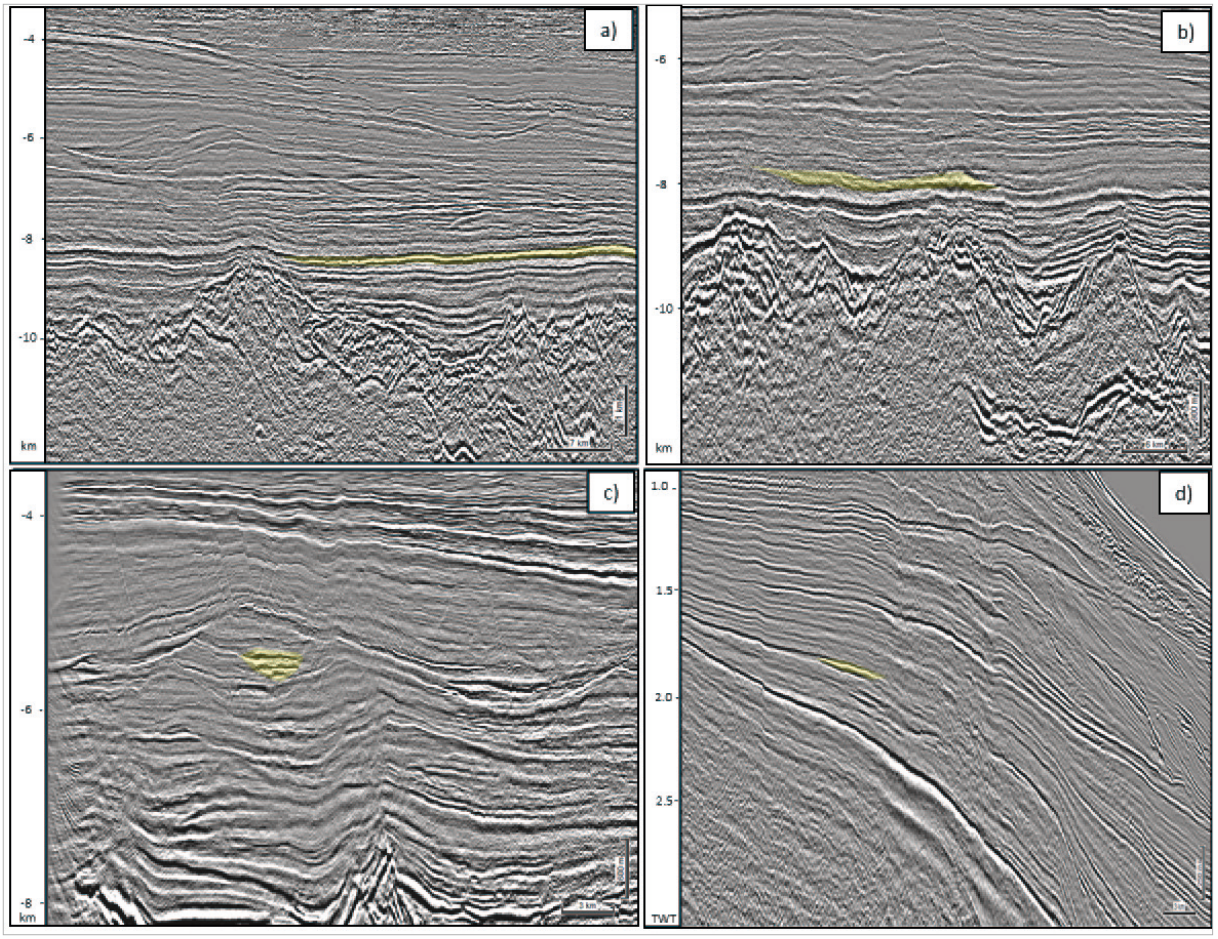


Figura 7. Secciones sísmicas con ejemplos de los distintos tipos de plays *evaluados (en amarillo): a) abanico submarino (turbidita); b) delta progradante; c) canal submarino; y d) acuñamiento.*

Asimismo, en el Cretácico tardío se desarrollan sistemas mixtos turbidíticos-contorníticos debido a la interacción de los procesos gravitacionales con corrientes de contorno (ver capítulo 2.1 de este libro). En los valles de estos sistemas contorníticos se desarrollan sistemas de canales que constituyen otro *play* muy atractivo en el Cretácico (figura 7c).

Finalmente, hacia el tope del *post-rift* cretácico se identifican como *play* acuñamientos (*pinchouts*) de esta secuencia sobre el Alto de Polonio, en aguas someras (figura 7d). Las unidades que se acuñan estarían constituidas por areniscas de sistemas continentales y transicionales, recubiertas por un sello regional representado por lutitas marinas transgresivas del Paleoceno.

Analogías con el margen oeste africano

Se define como márgenes conjugados a un conjunto de márgenes pasivos, hoy localizado en distintas placas tectónicas separadas por corteza oceánica, que en el pasado estuvieron unidos a través del sistema de *rifting* que precedió a la ruptura continental (Peace y Welford, 2020). De esta forma, las cuencas Punta del Este y Pelotas del *offshore* de Uruguay y la Cuenca Orange del *offshore* de Sudáfrica y Namibia, localizadas a ambos lados del océano Atlántico, comparten una génesis en común (figura 8), así como diversas características geológicas y paleogeográficas. Estos rasgos en común cobran particular importancia con relación a los sistemas petroleros y el potencial hidrocarburífero de las cuencas, teniendo en cuenta que en la Cuenca Orange ha habido descubrimientos de petróleo y gas, mientras que aún no se han descubierto acumulaciones en el margen continental uruguayo.

Si bien la Cuenca Orange no había sido particularmente prolífica con relación a acumulaciones de hidrocarburos respecto a otras cuencas del Atlántico, se han realizado descubrimientos de gas y petróleo desde la década de 1970. Hasta 2021, habían sido descubiertos 8 campos de gas que excedían el tamaño mínimo de 5 millones de barriles de petróleo equivalente y 30 BCF (*billion cubic feet*) de gas (IHS, 2009). Entre ellos se encuentran los campos gasíferos Kudu (Namibia) e Ibhubesi (Sudáfrica), que han mostrado dificultades para su desarrollo y producción (Offshore Technology, 2024). Sin embargo, los recientes y significantes descubrimientos de petróleo y gas a fines de 2021 y principios de 2022 en los pozos Venus y Graff, en aguas profundas de la Cuenca Orange (Namibia), revitalizaron el interés exploratorio, convirtiendo a esta cuenca en una provincia petrolera emergente y en el centro de atención de la actividad petrolera en los próximos años.

El pozo Venus, ubicado en una zona de 3.000 m de lámina de agua, descubrió petróleo liviano en un nivel de arenisca de 84 m de espesor, asociado a una trampa estratigráfica constituida por una turbidita del Aptiano con cierre contrarregional y un soterramiento del reservorio de 3.200 m (Hedley *et al.*, 2022). Según estimaciones primarias, las reservas de Venus pueden ascender a los 3.000 millones de barriles recuperables (Beckman, 2022), convirtiéndolo en un yacimiento gigante.

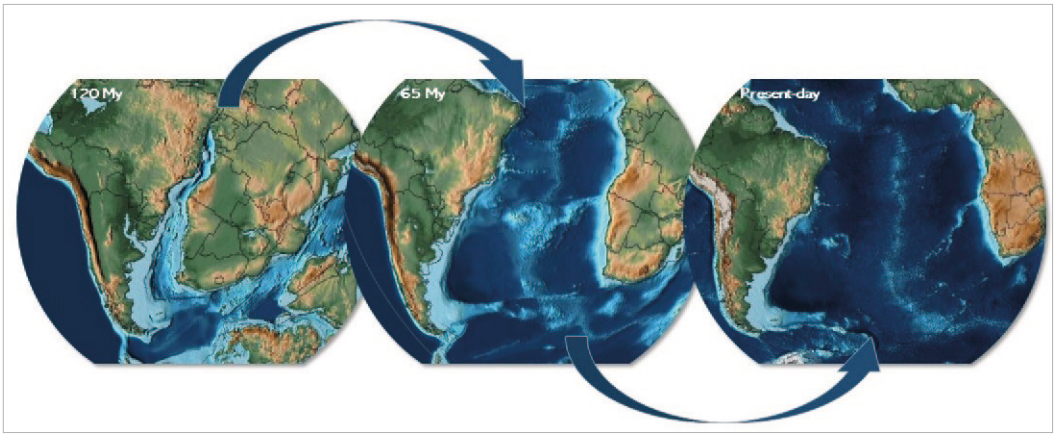


Figura 8. Reconstrucción paleogeográfica de Gondwana Occidental que muestra la génesis en común de las cuencas del margen offshore *de Uruguay y la Cuenca Orange del* offshore *de Sudáfrica y Namibia. Adaptado de Scotese (2014).*

Por su parte, el pozo Graff-1, ubicado en una zona de 2.000 m de lámina de agua, descubrió petróleo liviano en un nivel de arenisca de 60 m de potencia, asociado a una trampa estratigráfica constituida por un sistema de canales del talud del Campaniano-Santoniano, con un soterramiento del reservorio de 2.500 m (Beckman, 2022).

Para el caso de Venus, la roca generadora responsable de la acumulación son las lutitas hemipelágicas del Barremiano-Aptiano, asociadas a la primera transgresión marina de la cuenca, que se encuentran posiblemente en la ventana de petróleo tardía (Hedley *et al.*, 2022). Asimismo, según estos autores no es posible determinar si el reservorio de Graff-1 fue cargado con hidrocarburos de la generadora del Barremiano-Aptiano o del Cenomaniano-Turoniano, que también está presente en la región y se encuentra en la ventana de petróleo.

Estos descubrimientos presentan importantes analogías con prospectos identificados en las cuencas *offshore* de Uruguay, con implicancias directas en su potencial petrolero, principalmente en lo que refiere a la presencia y la calidad de las rocas generadoras cretácicas y a la efectividad de las trampas estratigráficas, ya que ambos factores fueron probados al otro lado del Atlántico.

Recursos prospectivos y su potencial desarrollo

Se entiende como recursos prospectivos las cantidades estimadas de hidrocarburos en una fecha determinada, que son potencialmente recuperables de acumulaciones no descubiertas, mediante la ejecución de proyectos de desarrollo futuros (SPE, 2007).

La Jefatura de Exploración y Producción de la Gerencia de Transición Energética de ANCAP viene realizando la evaluación de recursos prospectivos de hidrocarburos para las cuencas *offshore* de Uruguay desde el año 2020 (Gristo *et al.*, 2022). Según Gristo *et al.*

(2022), actualmente se cuenta con un inventario de más de 40 prospectos en las cuencas *offshore* de Uruguay que fueron identificados tanto por el equipo técnico de ANCAP como por las empresas petroleras que tuvieron actividad exploratoria en los últimos 15 años.

Los prospectos seleccionados para ser evaluados se localizan en un rango amplio de batimetrías (180 a 3.400 m) y comprenden la gran mayoría de los modelos conceptuales (*plays)* descriptos con anterioridad: anticlinales de la secuencia *pre-rift*, abanicos lacustres de la secuencia *syn-rift*, construcciones carbonáticas aisladas, *drapes*, deltas progradantes, canales submarinos, abanicos submarinos (turbiditas) y acuñamientos de la fase *post-rift*.

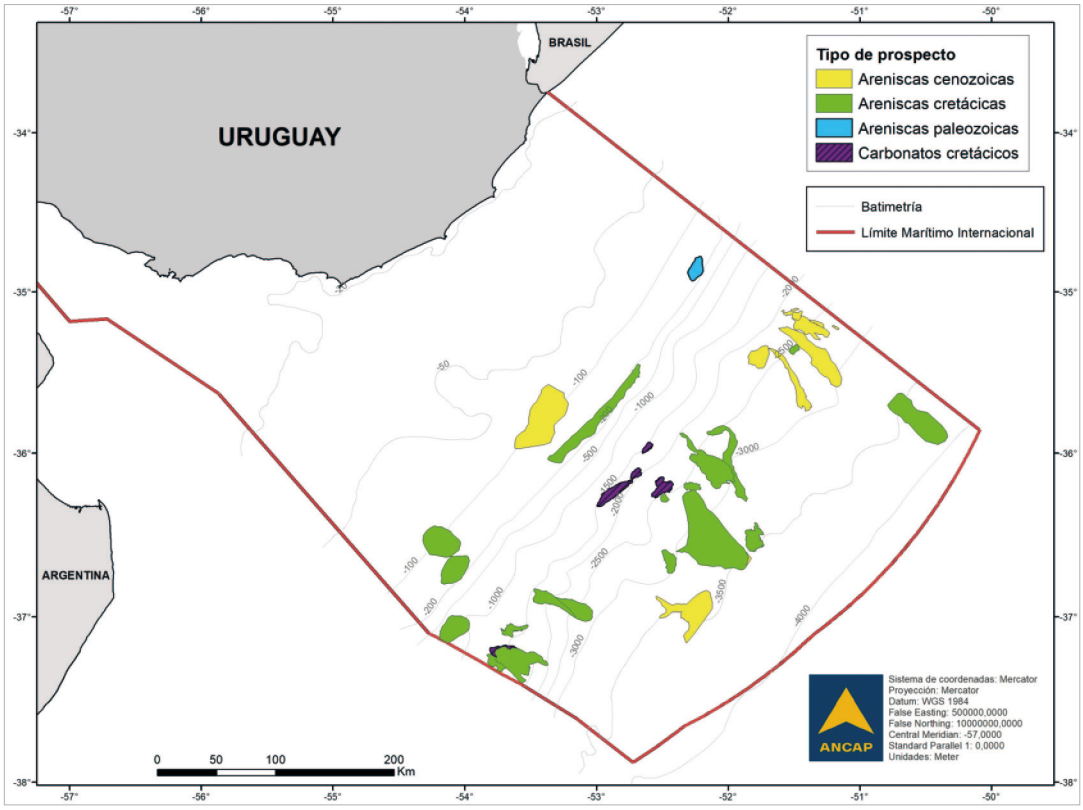


Figura 9: Mapa de ubicación de los prospectos evaluados.

Una vez identificado y mapeado cada prospecto con los datos sísmicos se realiza el cálculo del volumen de recursos (petróleo o gas) para cada uno, aplicando las ecuaciones volumétricas o fundamentales (Cronquist, 2001; Wright, 2015). Estas ecuaciones dan como resultado una recuperación final estimada (EUR, por su sigla en inglés), bajo ciertas suposiciones fundamentalmente vinculadas al reservorio, como el tipo de fluido, la saturación de agua, la porosidad y la permeabilidad, entre otras. Gristo *et al.* (2022) utilizaron métodos probabilísticos con el objetivo de incorporar las incertidumbres en los

datos de entrada para el cálculo de recursos, definiendo cada variable en la ecuación de volumen de recursos con la consideración de su probabilidad de ocurrencia. De esta forma se obtienen estimaciones de EUR expresadas como percentiles: optimista (P10), mejor estimado (P*mean*) y conservador (P90), y se define su función de densidad de probabilidad (PDF, *probability density function*) por el mejor ajuste a los datos disponibles.

En el período 2019-2023 ANCAP evaluó 37 prospectos *offshore* Uruguay (figura 9), obteniendo un volumen de recursos prospectivos de petróleo y gas de 30.082 MMBOE (millones de barriles equivalentes de petróleo) (Gristo, P., 2024, comunicación personal). Los volúmenes reportados no están afectados por el riesgo geológico o comercial (*unrisked*), pero un trabajo publicado recientemente estima una probabilidad de éxito geológico de entre 3 y 23% en los prospectos *offshore* Uruguay (Conti *et al*., 2023).

Estos resultados están sujetos a incertidumbres vinculadas a los datos utilizados para la definición de las variables y parámetros de cálculo, ya que varios de ellos no están disponibles para las cuencas de Uruguay. Por lo cual, las incertidumbres inherentes se han administrado definiendo parámetros y variables con base en datos disponibles de descubrimientos y campos en producción de cuencas sedimentarias análogas, en particular del Atlántico Sur.

Consideraciones finales

La actividad exploratoria de hidrocarburos en las cuencas *offshore* de Uruguay comenzó en la década de 1970 y continuó de forma intermitentemente en las siguientes décadas, con períodos de muy poca actividad (décadas de 1980-1990 y principios de 2000) y otros de actividad intensa (2007-2018). Como resultado de ese proceso, se cuenta con una gran cantidad de datos sísmicos 2D y 3D que representan un tercio de la superficie total del *offshore* hasta las 200 M, lo que constituye un récord para una cuenca de frontera en la región sur del Atlántico. De todas formas, las cuencas *offshore* de Uruguay aún se encuentran subexploradas, con sólo 3 pozos exploratorios en un área de 125.000 km^2 (hasta las 200 M). A modo de ejemplo, se tuvieron que perforar 200 pozos exploratorios en el Mar del Norte antes del primer descubrimiento comercial de petróleo en 1969 (Carstens, 2011).

Los datos sísmicos revelan un enorme potencial petrolero asociado a una variedad de *plays* identificados en las distintas fases de relleno de las cuencas (*pre-rift*, *syn-rift* y *post-rift*). Asimismo, estas cuencas aún presentan un alto riesgo geológico para encontrar acumulaciones comerciales de hidrocarburos debido a la falta de modelos exploratorios comprobados y de datos directos de las rocas generadoras (características, contenido orgánico, madurez, espesor, etc.) y otros elementos del sistema petrolero (calidad del reservorio, sello).

Por su parte, existen diversas evidencias directas (por ejemplo, inclusiones fluidas de gas y petróleo) e indirectas (como chimeneas de gas) que confirman la generación y la expulsión de hidrocarburos en las cuencas del margen continental uruguayo, como resultado de la presencia de, al menos, un sistema petrolero con una roca generadora activa.

En relación con los modelos exploratorios y prospectos identificados, son dominantes los de tipo estratigráfico y dentro de ellos predominan los sistemas de canales y abanicos de fondo de cuenca (turbiditas) de la fase *post-rift*. Estos prospectos, en particular, presentan una fuerte analogía con los recientes descubrimientos (Venus y Graff) del *offshore* de Namibia asociados a la efectividad de estas trampas para acumular hidrocarburos, reduciendo el riesgo geológico específicamente para este tipo de *play*.

Asimismo, la distribución y el espesor de las rocas generadoras, la presencia de vías de migración, el desarrollo de reservorios y trampas estratigráficas similares a las testeadas por los pozos Venus y Graff-1, y la presencia de espesos sellos regionales (Paleoceno), convierten a las secuencias de la fase *post-rift* cretácica en las más prospectivas.

En síntesis, se puede afirmar que la diversidad de modelos exploratorios, la cantidad de prospectos identificados (más de 40), el volumen de recursos prospectivos evaluados hasta el año 2022 (más de 27.000 millones de barriles equivalentes de petróleo), así como los recientes descubrimientos de petróleo en el margen conjugado de Namibia, ubican a las cuencas del *offshore* de Uruguay entre las regiones de frontera exploratoria más promisorias del Atlántico Sur para los próximos años.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: De Santa Ana, H., B. Conti, E. Morales y R. Novo, 2024, Sistemas petroleros del margen continental uruguayo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 215-236, doi: 10.70952/a8827tmuc3-1

Capítulo 3.2
Hidratos de gas

Imagen generada por Gemini Advanced (2024). Representa la combustión espontánea del gas liberado por un clatrato expuesto a las condiciones de temperatura y presión de la superficie.

Capítulo 3.2
Hidratos de gas

Juan Tomasini[1]

[1] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

Introducción[1]

Los hidratos de gas natural son sólidos cristalinos formados por gas natural (mayoritariamente metano) y agua, que son estables en condiciones termobáricas dadas por altas presiones y bajas temperaturas (Max *et al.*, 2006). Es así que estos hidratos se encuentran en sedimentos por debajo de grueso permafrost en regiones del ártico, así como en el subsuelo de la mayoría de los márgenes continentales donde las profundidades de agua son superiores a 500 m (National Research Council, 2010). Se trata de un tipo de acumulación de hidrocarburos no convencional (Shmakov, 2019).

Aunque las estimaciones globales del volumen total de metano en forma de hidratos se encuentran aún en debate, se reconoce que sería de 2 a 10 veces mayor a las reservas de gas natural convencional técnicamente recuperables. El reconocimiento de la existencia de tan importantes recursos aún no explotados significó un fuerte incentivo para la investigación internacional con el objetivo de determinar las cantidades de metano que pueden ser producidas de forma técnicamente segura, ambientalmente compatible y económicamente competitiva a partir de estas acumulaciones no convencionales (National Research Council, 2010).

Si bien existen diversas líneas de investigación respecto a los hidratos de gas en general, así como específicamente respecto a los hidratos de gas natural, tales como su rol paleoclimático o desde un punto de vista de riesgos geológicos asociados, este capítulo se centra en el potencial como recurso energético y en particular en lo que tiene que ver con el mar territorial uruguayo, donde han sido identificados a partir de métodos geofísicos.

Como alternativa futura al petróleo y en especial al carbón como fuente de energía, el uso de gas natural tendrá el efecto de reducir las emisiones de CO_2 y es por esto el combustible fósil de preferencia durante la transición energética hacia fuentes renovables.

En este trabajo se resumen los principales avances en lo que respecta a la investigación de hidratos de gas natural en Uruguay, incluyendo desde su identificación,

1 Se agradece a todos los coautores de los distintos trabajos referidos a hidratos de gas en el *offshore* de Uruguay por sus valiosos aportes en el desarrollo de casi dos décadas de investigación en el tema. En especial a Héctor de Santa Ana, Nelson Ucha, Luciano Gutiérrez, Gerardo Veroslavsky, Ethel Morales, Luis Latrónica, Larisa Machado, Matías Soto, Santiago Ferro, Pablo Gristo, Bruno Conti, Josefina Marmisolle y Pablo Rodríguez.

caracterización y cuantificación hasta la evaluación de su potencial para la producción de gas natural.

Identificación

El primer indicio de la ocurrencia de hidratos de gas en secciones sísmicas de reflexión se da a través del BSR (*bottom simulating reflector*). La presencia de este se debe al importante cambio de la impedancia acústica entre los sedimentos que contiene hidratos y los sedimentos que contienen gas libre (Sloan, 1998). Esto origina una respuesta sísmica en la forma de un reflector paralelo al reflector del fondo marino y de polaridad inversa a la polaridad de este.

La existencia de un BSR es generalmente un buen indicio de la presencia de gas atrapado debajo de la base de la zona de estabilidad de hidratos (GHSZ, por sus siglas en inglés). Esto implica que los hidratos están presentes, ya que el gas libre (el cual tiene una tendencia a subir) existe inmediatamente debajo y en contacto con la zona donde se convertiría a hidrato. La coincidencia de la profundidad del BSR con la extrapolación teórica de las condiciones presión/temperatura que definen la base del límite de estabilidad de hidratos y los muestreos de hidratos realizados debajo de BSR mostrando la existencia de gas por debajo dan confianza respecto a que este indicador sísmico indica efectivamente la presencia de hidratos de gas (Max *et al*., 2006).

Por otro lado, los hidratos de gas natural también pueden estar presentes, aunque no se asocien a un BSR bien definido, especialmente cuando flujos de gas se concentran en zonas angostas (fallas), como ocurre en algunas regiones del Golfo de México. No es posible la estimación del volumen de hidratos a partir del BSR, debido a que la reflexión brinda datos sólo de las condiciones en la interfase gas / hidrato de gas, donde pequeñas variaciones en el contenido de gas libre pueden afectar fuertemente las características del BSR (Max *et al*., 2006).

Tipos de depósitos de hidratos de gas

Los hidratos de gas se forman si el gas natural y el agua coexisten en condiciones de elevada presión y baja temperatura que satisfacen las condiciones de estabilidad del hidrato. Muchos tipos de depósitos de hidratos han sido formados dependiendo de los lugares donde el gas natural y agua coexistieron y de los volúmenes de agua y gas suministrados. A la fecha, se han confirmado tres tipos de depósitos de hidratos en subsuelo: reservorios del tipo poroso, reservorios del tipo naturalmente fracturado y depósitos de nódulos masivos de hidratos.

De estos, son los de tipo poroso los que revisten interés desde el punto de vista de su potencial para ser explotados comercialmente. A su vez, los reservorios de hidratos del tipo poroso se clasifican en varios grupos, según las condiciones de la existencia de hidrato, gas libre y agua libre (Moridis *et al*., 2009).

Si suficiente gas metano es suministrado al medio poroso en las condiciones de estabilidad del hidrato, el cual se encuentra entre capas impermeables tales como capas de arcillas, el hidrato se forma a lo largo del reservorio. Los espacios porales son llenados con

hidrato y pequeñas cantidades de agua que pueden no tener contacto con gas natural (clase 3: reservorios confinados). La mayoría de los reservorios de hidratos descubiertos en la fosa oriental de Nankai, Mallik y Mt. Elbert se categorizan en este tipo de reservorio de hidratos de metano.

Por otro lado, si cantidades significativas de gas son suministradas al medio poroso donde la parte superior se encuentra en las condiciones de estabilidad de hidrato y la parte inferior en condiciones de disociación, se formarán hidratos en la parte superior del reservorio, mientras que el gas libre se acumula en la zona inferior. Este tipo de reservorio con gas libre por debajo es llamado reservorio clase 1. El campo Messoyakha en Rusia y la formación Sagavanirktok en Alaska son ejemplos típicos de este tipo de reservorios. Si no es suministrado el suficiente gas o si el gas subyacente en reservorios clase 1 es disipado luego de migrar, será agua libre lo que esté por debajo del reservorio de hidrato (reservorio clase 2). Una parte de los reservorios en la fosa oriental de Nankai y en Mallik son de esta clase.

Además de estas tres clases de reservorios de hidratos, en Moridis *et al*. (2009) se clasifican los depósitos de hidratos que contienen hidratos dispersos en capas de barro como reservorios clase 4.

Producción de gas a partir de hidratos

Dado que el hidrato de gas es un sólido en condiciones de reservorio, no es capaz de fluir, por lo que, para la producción de gas a partir de él es necesario que ocurra un cambio de fase (sólido-gas). Este cambio de fases es característico de este tipo de reservorios en particular y es una de las mayores diferencias respecto a la producción "directa" de gas natural en reservorios convencionales. Adicionalmente, ya que la disociación del hidrato es una reacción endotérmica, la temperatura del reservorio disminuye mientras se da la disociación y producción de gas.

Es por esto que los métodos de producción se basan en el desplazamiento de las condiciones del reservorio respecto a las condiciones de estabilidad del hidrato (Moridis *et al*., 2009). Los métodos estudiados se basan en la desestabilización por inyección de fluidos calientes, la despresurización y la inyección de inhibidores de formación. Asimismo, métodos como la generación de puntos calientes por combustión *in situ* o inyección de CO_2 también han sido estudiados (White y Mcgrail, 2008).

Los estudios de aplicabilidad de estos métodos en diferentes tipos de depósitos de hidratos de gas mostraron que la disociación inducida por la despresurización parece ser la estrategia más prometedora para todas las clases de depósitos (Moridis *et al*., 2009). En 2007, se realizó una prueba de corta duración utilizando la herramienta de registro de pozo MDT de Schlumberger's, en Mount Elbert (norte de Alaska). Además, otras pruebas a largo plazo, como la realizada en Mallik-Canadá en 2007 y 2008 (Dallimore *et al*., 2012) y en Alaska North Slope durante 2011 y 2012 (Boswell *et al*., 2016), han demostrado la viabilidad del método de despresurización para la producción de gas y, por primera vez, a partir de hidratos de metano marinos en 2013 en la costa de Japón (Konno

et al., 2017), con un segundo ensayo en abril de 2017 (Wang *et al*., 2023). Asimismo, también se realizaron ensayos de producción de gas a partir de hidratos de gas marinos en el Mar de China Meridional en mayo de 2017 (Li *et al*., 2017) y en febrero de 2020 (Wang *et al*., 2023).

Dadas las características únicas de los depósitos de hidratos de gas natural (en aguas ultraprofundas, pero con reservorios relativamente poco profundos de 1,2 km o menos y con temperaturas inferiores a 30 °C), no se necesitan buques perforadores de alta capacidad como los utilizados en reservorios convencionales de petróleo y gas. Es por esto que se deben explorar nuevas perspectivas (Johnson y Max, 2017), como unidades de perforación poco profundas como MARUM-MeBo (Freudenthal y Wefer, 2013). El desarrollo de tecnologías hacia este tipo de soluciones "livianas" puede conducir al desarrollo comercial de los hidratos de gas natural (Max y Johnson, 2016).

Simulación de reservorios de hidratos de gas

Las simulaciones numéricas para estimar la respuesta de los reservorios de hidratos a su desestabilización constituyen un método de bajo costo que aporta a la planificación, la ejecución y el estudio de los resultados de los ensayos de producción en campo (Myshakin *et al*., 2017). La evaluación del potencial de producción de gas a partir de hidratos implica la interacción de procesos acoplados complejos que ocurren durante la reacción de disociación y que no pueden ser resueltos por modelos analíticos para largos períodos de tiempo, por lo tanto, la simulación numérica es prácticamente la única herramienta que permite evaluar el potencial de los yacimientos de hidratos de gas para la producción de gas (Moridis *et al*., 2009).

La simulación del comportamiento de los reservorios que contienen hidratos de gas implica la solución de una compleja combinación de ecuaciones acopladas para el transporte de fluidos, calor y masa (Wilder *et al*., 2008). Los simuladores deben manejar situaciones multifásicas y multicomponentes y, debido a que el hidrato de gas es una fase sólida, al igual que el hielo, deben tener en cuenta la posibilidad de formación y desaparición de fases sólidas. Estas fases sólidas tienen un efecto importante en las permeabilidades relativas del yacimiento y las presiones capilares, afectando así el movimiento de fluidos (Moridis *et al*., 2009).

Los simuladores numéricos de reservorios de hidratos de gas han evolucionado significativamente en los últimos años, principalmente debido a la disponibilidad de información detallada del reservorio de hidratos de gas adquirida mediante programas de perforación en todo el mundo, lo que ha llevado a una mejor caracterización (Boswell *et al*., 2017).

Contexto geológico y oceanográfico de las cuencas *offshore* de Uruguay

El margen continental uruguayo está ubicado entre las latitudes 34-38° S y entre las longitudes 50-56° W. Con un área de aproximadamente 130.000 km^2, presenta tres cuencas: Punta del Este, Pelotas y Oriental del Plata. Estas cuencas se generaron por la

fragmentación y ruptura del supercontinente Gondwana y la posterior apertura del océano Atlántico (Morales *et al*., 2017a; Soto *et al*., 2011). En la actualidad, el margen continental se caracteriza por la importante entrada de grandes cantidades de sedimentos del Río de la Plata (Giberto *et al*., 2004) y por fuertes corrientes de contorno (Hernández-Molina *et al*., 2016).

En el *offshore* de Uruguay, diferentes corrientes y masas de agua coexisten desempeñando un papel importante para la presencia de hidratos considerando las condiciones de salinidad, temperatura y presión, así como la erosión y el depósito de sedimentos. La compleja interacción entre varias corrientes afecta los procesos sedimentarios y la morfología de la margen. Grandes complejos depositacionales contorníticos, que incluyen varios tipos de características sedimentarias erosivas y deposicionales, son creados por la existencia de fuertes corrientes de contorno (Hernández-Molina *et al*., 2016). Estos procesos a lo largo del talud coexisten e interactúan con procesos sedimentarios gravitacionales relacionados con una serie de canales submarinos.

Identificación de hidratos de gas en Uruguay

En Uruguay, el primer trabajo sobre hidratos de gas en el país fue realizado por De Santa Ana *et al*. (2004), donde se reconoció la presencia de los BSR y se estimó su distribución en área y espesores, lo que permitió realizar una estimación de su potencial. Posteriormente, la presencia de hidratos basada en esta caracterización sísmica en los datos adquiridos en la zona de estudio fue reportada en Neben *et al*. (2005), Tomasini *et al*. (2011b), Gray (2014) y Lavis *et al*. (2017). Asimismo, recientemente Rodríguez *et al*. (2022) calcularon el gradiente geotérmico somero basado en las profundidades del BSR interpretado en el *offshore* de Uruguay.

En la figura 1 se muestra la máxima área de hidratos de gas considerando la envolvente de la interpretación de BSR en el *offshore* de Uruguay.

Si bien los BSR representan la indicación más confiable de la existencia de hidratos de gas en el área de estudio, altas concentraciones de metano y oxidación anaeróbica de metano en los primeros metros de sedimentos también sugieren su existencia (Hensen *et al*., 2003).

La generación y migración de hidrocarburos en el *offshore* de Uruguay ha sido confirmada a través de análisis de inclusiones de fluidos (Barclay *et al*., 2000), reconocidas en las secuencias *syn-rift* y *post-rift* de pozos perforados en el *offshore* (Tavella y Wright, 1996). En 2008, se identificaron potenciales escapes de fluidos a la superficie del mar (*oil slicks*) por imágenes satelitales (De Santa Ana *et al*., 2008a, 2009) y procesamientos *post-stack* especiales para la identificación de chimeneas de gas (Meldahl *et al*., 2001) realizados en secciones sísmicas 2D mostraron perturbaciones verticales de la señal sísmica. Estas provienen de zonas profundas y se interpretan como caminos de migración de hidrocarburos, sugiriendo el origen termogénico de los gases que llegan a los niveles reservorios de hidratos de gas (Tomasini *et al*., 2010).

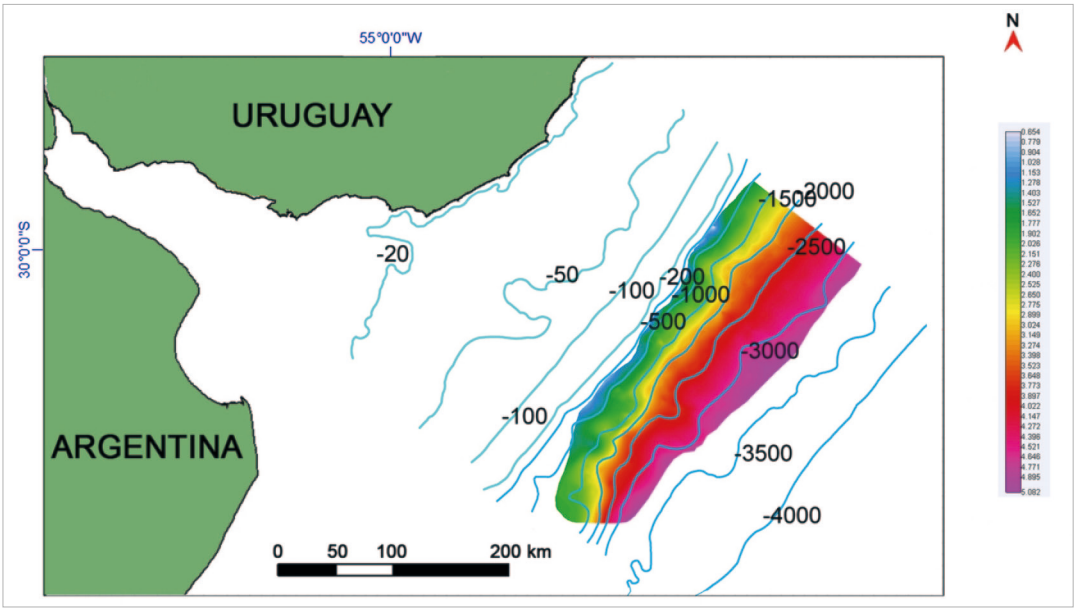


Figura 1: Máxima área de hidratos de gas, considerando la envolvente de la interpretación de BSR en el offshore *de Uruguay. Fuente: Tomasini* et al*. (2011a).*

Caracterización del gas formador de hidratos en Uruguay

Los hidrocarburos que forman los hidratos de gas pueden tener un origen tanto biogénico como termogénico. La mayoría de los hidratos de gas que han sido recuperados contienen gas metano como componente principal. Sin embargo, hidratos de gas que incluyen una gran cantidad de etano y propano también se encuentran ocasionalmente. Por ejemplo, los hidratos de gas recuperados de sedimentos del talud continental en el Golfo de México contienen metano con concentraciones de etano hasta un 12% en volumen (Brooks *et al*., 1986; Sassen y Macdonald, 1997). Se estima que el origen de estos gases es termogénico, basado en la gran cantidad de hidrocarburos pesados tales como etano y propano. Durante estos procesos termogénicos, los hidrocarburos se habrían formado mediante la disociación térmica de la materia orgánica a altas temperaturas y grandes profundidades (Sassen y Macdonald, 1997).

Las condiciones de equilibrio para los hidratos de gas dependen de la composición del gas formador de hidratos (GFH). La curva de estabilidad de las fases puede ser desplazada por la adición de algún componente al GFH o por el cambio del porcentaje de componentes del GFH. Por ejemplo, la curva de estabilidad se desplaza con la adición de hidrocarburos pesados como etano, propano y butano, los cuales son normalmente encontrados en el gas natural.

Mayores presiones o menores temperaturas son requeridas para la formación de hidratos en la presencia de impurezas disueltas. De

esta forma, soluciones de agua salada, incluyendo agua de mar, inhiben la formación de hidratos. La presencia de hidrocarburos pesados del gas natural tiene el efecto contrario, incrementando la zona de estabilidad del hidrato de metano mediante la formación de hidratos mixtos o compuestos. En este sentido, estos hidrocarburos pesados promueven la formación de hidratos (Max *et al*., 2006).

En el trabajo de Tomasini *et al*. (2012b) se realiza un análisis en el que se calcularon los valores de temperatura y presión en la base de la zona de estabilidad de hidratos de gas de dos sitios específicos del *offshore* de Uruguay, para luego compararlos con los valores de temperatura y presión de equilibrio que se corresponden con distintos gases formadores de hidratos.

Como resultado, se indica que el análisis termodinámico de las condiciones de equilibrio sugiere que el gas formador de hidratos en ambos casos podría ser metano. Específicamente, en el sitio de mayor profundidad también hay probabilidad de que contenga otros hidrocarburos gaseosos como etano.

La existencia de hidrocarburos pesados apoya la teoría del origen termogénico de los gases que forman los hidratos (Tomasini *et al*., 2010). Luego de este análisis queda en evidencia que la composición de estos gases puede variar dependiendo de la ubicación. En ese sentido, es de esperar una composición rica en hidrocarburos pesados en áreas cercanas a chimeneas de gas provenientes de zonas profundas.

Cuantificación del recurso de hidratos de gas en Uruguay

La cuantificación del recurso hidratos en Uruguay tiene como antecedentes los resultados presentados por De Santa Ana *et al*. (2004), que mostraron una estimación del recurso en sitio de 86 TCF de gas en condiciones normales. El trabajo de De Santa Ana *et al*. (2008b) revisa estos resultados y llega a estimar 141 TCF de gas en sitio considerando el gas libre asociado.

Posteriormente, en Tomasini *et al*. (2012a) se realiza una estimación de los volúmenes recuperables de gas a partir de hidratos, empleando el enfoque del sistema petrolero y métodos probabilísticos de manera de reflejar la incertidumbre de los datos empleados.

La mencionada cuantificación del recurso de hidratos de gas en el *offshore* de Uruguay se basó en las interpretaciones de la zona de estabilidad, cuyos resultados fueron publicados en Tomasini *et al*. (2011a).

A partir de los datos de sísmica de reflexión y de acuerdo a la profundidad de los BSR interpretados, se estimó el espesor de la zona de estabilidad, así como el factor geométrico de corrección.

Para el cálculo de los volúmenes de recuperables finales (*estimated ultimate recovery*, EUR) se empleó un factor de recuperación entre 30% y 60%, según Kurihara *et al*. (2011).

El valor medio de EUR resulta en 144 TCF, siendo P90 = 59 TCF y P10 = 248 TCF, tal como se muestra en la figura 2. En este

análisis el volumen de gas libre que pudiera estar atrapado debajo del hidrato no fue cuantificado.

Las tecnologías actuales permiten la producción a partir de depósitos de hidratos de gas utilizando enfoques convencionales sólo para reservorios arenosos (Moridis *et al.*, 2009). En ese sentido, el trabajo de Tomasini (2017) se centró en encontrar los prospectos de hidratos de gas que potencialmente correspondan a reservorios de alta calidad.

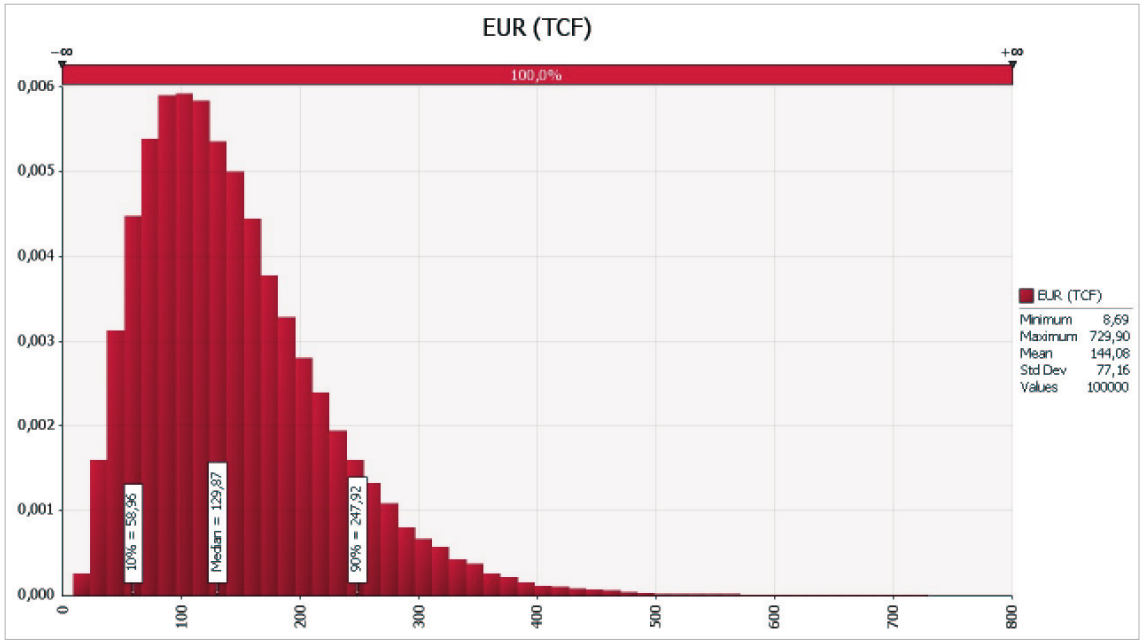


Figura 2: Estimación de volúmenes recuperables de gas en condiciones estándar a partir de reservorios de hidratos de gas en el offshore *de Uruguay. Adaptado de Tomasini* et al. *(2012a).*

Para esto se interpretó sísmica 3D existente en el *offshore* de Uruguay identificando las áreas donde el BSR se puede interpretar con alta confianza (HCA, por sus siglas en inglés). Para cada una de estas HCA se interpretó el contexto geológico y tipo de depósitos de manera de evaluar la calidad esperada del reservorio para cada cuerpo interpretado dentro de la GHSZ. Para la interpretación de la porción somera de la GHSZ se tomó como referencia el trabajo de Hernández-Molina *et al.* (2016). Se identificó un total de 46 zonas de interés en seis tipos diferentes de depósitos: 1) complejos de transporte de masa, 2) *drift* contorníticos, 3) terrazas contorníticas, 4) progradaciones de plataforma a talud, 5) relleno de canal y 6) turbiditas. Estas zonas se ubican en profundidades de agua de entre 500 y 3.500 m y la profundidad de BSR varía entre 100 y 550 m debajo del fondo marino. A partir de esta información y considerando la calidad de reservorio esperada para los distintos tipos de depósitos, se construyó un *ranking* de prospectos y se seleccionaron los

dos mejor posicionados para la realización de análisis volumétricos, cuyos resultados se presentan en Tomasini *et al.* (2023).

Los resultados de los análisis en estos prospectos indican recursos prospectivos con valores medios de volúmenes recuperables de 4.299 millones de m^3 std y 1.360 millones de m^3.[2] Considerando que Uruguay importó en 2023 un total de 86,6 millones de m^3 (MIEM, 2024) de gas natural, los volúmenes recuperables de los prospectos evaluados equivalen a aproximadamente 50 y 15 años del consumo actual de Uruguay respectivamente.

Evaluación del potencial productivo de los hidratos de gas en Uruguay

Utilizando herramientas de simulación numérica de reservorios, Tomasini y Stephen (2020) estudiaron el potencial productivo de dos prospectos de hidratos seleccionados del *offshore* de Uruguay.

En el mencionado trabajo se utilizó HydrateResSim (NETL, 2017), que es un simulador de código abierto escrito en FORTRAN95/2003 y desarrollado en el Lawrence Berkeley National Laboratory (Moridis *et al.*, 2005a). Se basa en la familia de códigos TOUGH2 para la simulación del comportamiento de sistemas geológicos con hidratos. El código puede modelar la liberación de gas no isotérmica, el comportamiento de fases y el flujo de fluidos y calor en condiciones comunes de acumulaciones naturales de hidrato de metano.

Los dos prospectos seleccionados para la aplicación de estudios de simulación numérica fueron el HP11-A y HP25. Estos prospectos corresponden posiblemente a depósitos turbidíticos del Plio-Pleistoceno, ubicados a aproximadamente 1.850 y 788 m de profundidad de agua respectivamente. El espesor bruto del reservorio en las ubicaciones seleccionadas para el pozo a simular para los prospectos HP11-A y HP25 es de 60 y 64 m respectivamente. Se interpreta que el prospecto HP25 tiene un área de aproximadamente 31 km^2, mientras que el prospecto HP11-A tiene un área de aproximadamente 20 km^2. En la figura 3 se muestran secciones sísmicas 3D en los mencionados prospectos.

Para la construcción del modelo de reservorio se tomaron como base analogías de prospectos similares, como el del primer ensayo de producción realizado en Japón. Asimismo, se corrieron varios escenarios tanto en lo que respecta al modelo geológico como respecto a la permeabilidad y la saturación de hidratos.

Basándose en prospectos análogos de la literatura que describen depósitos turbidíticos que contienen hidratos de gas, el modelo geológico para los prospectos seleccionados se consideró como finas capas de arena intercaladas con capas de limo arcilloso con un grosor variable desde unos pocos centímetros hasta unos pocos metros.

Para cada prospecto seleccionado, se creó un perfil litológico para un pozo hipotético considerando capas de 0,2 m. Para cada capa, se asignaron varias litofacies basadas en simulaciones de Monte Carlo con una función de densidad de probabilidad discreta y probabilidades de 70% para arena y de 30% para

2 Volumen de gas expresado en condiciones estándar.

lodo. Estos valores se seleccionaron considerando la relación "neto/bruto" de depósitos tipo turbidíticos como el informado en el ensayo de Japón (Fujii *et al.*, 2015).

La geometría seleccionada para el modelado en este trabajo corresponde a una grilla radial RZ 2D con simetría axial. Se considera que el radio del pozo (rw) es de 0,10 m (Su *et al.*, 2010; Moridis *et al.*, 2013) y el radio externo (re) de 250 m (Moridis *et al.*, 2013). Para el caso base, la dirección radial se dividió en 50 celdas de acuerdo con una grilla logarítmica con las primeras ocho celdas de 0,25 m (Moridis *et al.*, 2005b). En la dirección vertical, el dominio de simulación incluyó más de 140 m de sedimentos de cobertura hasta el lecho marino y más de 200 m de sedimentos infrayacentes dependiendo del prospecto (figura 4). Los sedimentos supra- e infrayacentes (considerados como capas "lodo" en el modelo) se dividieron logarítmicamente en 10 capas desde el espesor de 0,2 m. Asimismo, las capas más superiores e inferiores se consideraron con un grosor de 0,001 m y se establecieron en condiciones fijas de Dirichlet. Pueden encontrarse más detalles sobre el modelo, escenarios, sensibilidades y simulaciones realizadas en Tomasini y Stephen (2020).

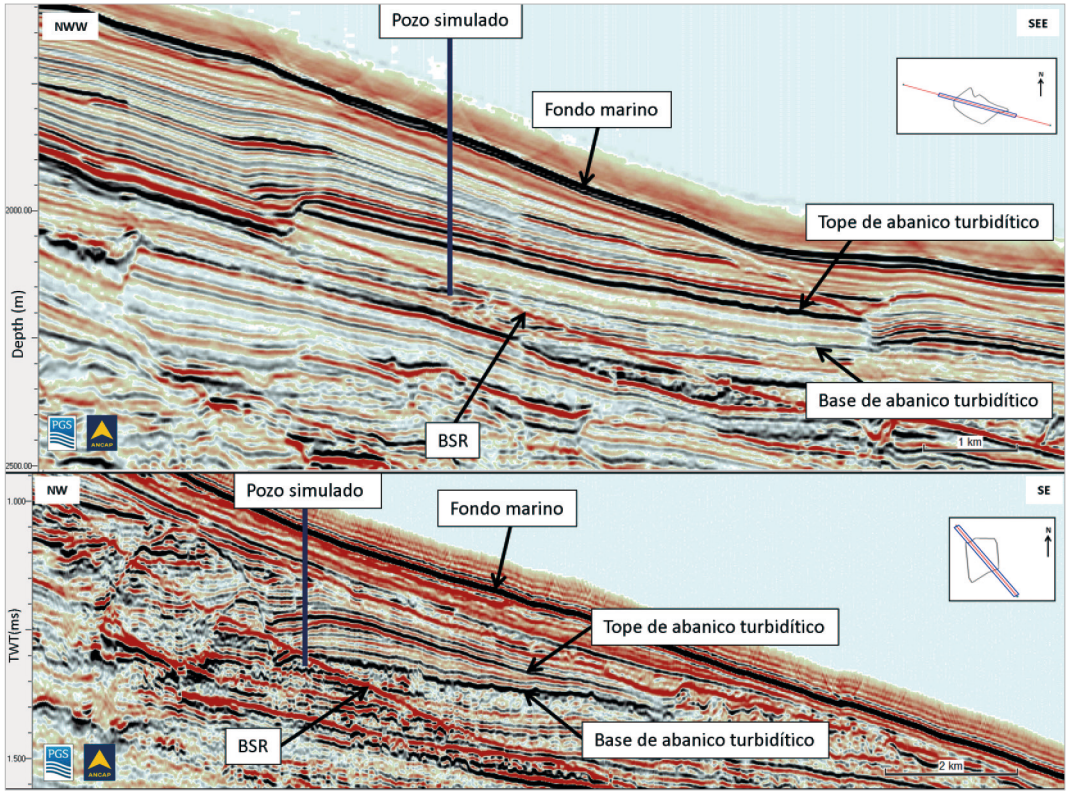


Figura 3: Secciones sísmicas mostrando los prospectos HP11-A (a) y HP25 (b). Profundidad en m TVDss en (a) y en TWT (ms) en (b). Adaptado de Tomasini, (2017). Se agradece a PGS y ANCAP por su permiso para publicar estas imágenes sísmicas.

Para la posición de pozo seleccionada, los prospectos estudiados fueron clasificados como depósitos clase 3, sin embargo, considerando la profundidad relativa del intervalo de reservorio con respecto a la base de la GHSZ, los prospectos podrían ser clasificados como un caso mixto con clase 2 (o incluso clase 1) en la región aguas arriba (donde el BSR cruza la base del lóbulo turbidítico). Teniendo esto en cuenta, es probable que la producción y el comportamiento del reservorio con la despresurización sean diferentes entre estas dos regiones a largo plazo si los fluidos debajo de la base de GHSZ (gas o agua, dependiendo de la clase) alcanzan el intervalo de completación. Sin embargo, la estrategia de completación considerada en este trabajo en cuanto a la distancia entre el fondo de la completación y la base de GHSZ evita la desestabilización de las capas de hidratos inferiores.

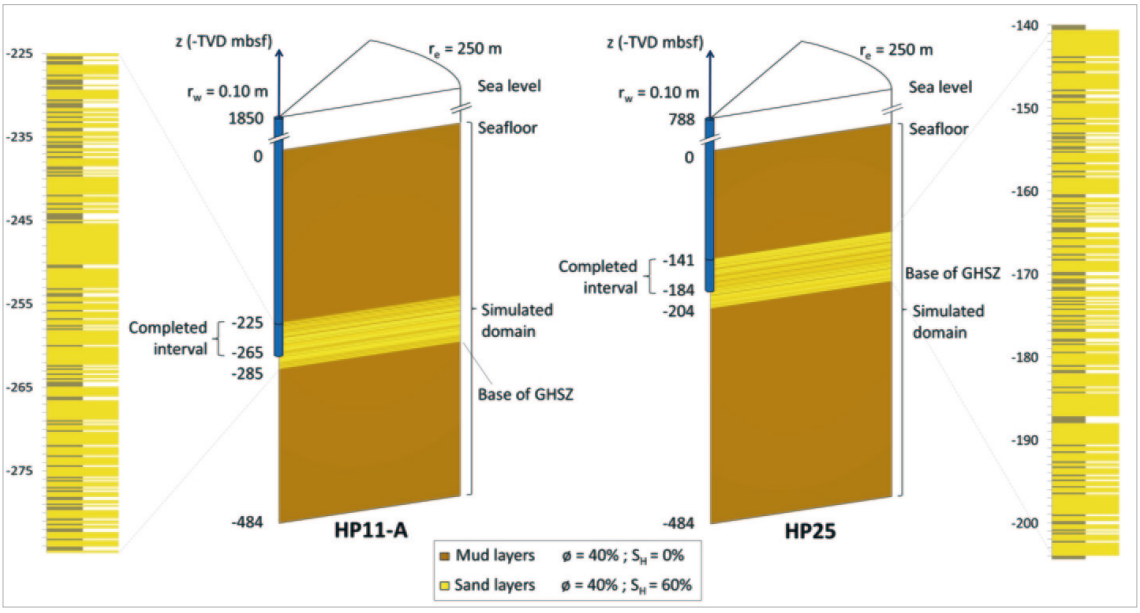


Figura 4: Esquema de los depósitos de hidratos simulados (los espesores corresponden al caso base). Fuente: Tomasini y Stephen (2020).

De acuerdo con los resultados de Tomasini y Stephen (2020), la simulación de ensayos de producción a corto plazo de 60 días para los dos prospectos seleccionados indica valores promedio de tasa de liberación de gas de 34.100 m^3/d y 6.700 m^3/d, respectivamente, para los prospectos HP11A y HP25. Estos resultados se encuentran en el orden de los valores de tasa de producción de gas de los ensayos de producción reales realizados en depósitos de hidrato en diferentes cuencas *offshore* en años recientes (Wang *et al.*, 2023).

Al comparar el comportamiento del reservorio en términos de la tasa de liberación de gas, el prospecto más profundo (HP11A, a

1850 m de profundidad) sería un mejor candidato para la producción que el más somero (HP25, a 787,5 m de profundidad). Esta diferencia se atribuye a las condiciones termobáricas particulares de cada prospecto y especialmente a la temperatura del yacimiento, que es más alta en el prospecto más profundo (HP11-A), lo que proporciona una fuente adicional de calor para la reacción endotérmica de disociación en comparación con la temperatura del reservorio en el prospecto HP25.

Entre los varios casos simulados en Tomasini y Stephen (2020) se incluyó el de reservorio formado por capas de arena de distinta permeabilidad y su respuesta a la despresurización en el largo plazo para el prospecto HP11A. Los resultados indican una tasa de liberación promedio de aproximadamente 68.500 m^3/d a lo largo de más de 8 años, tal como puede observarse en la figura 5. Si bien estos valores son mucho menores a las tasas de producción en reservorios convencionales de gas natural, de todas maneras resultan de interés considerando las importaciones actuales de gas natural del país, las cuales ascienden a aproximadamente 240.000 m^3/d en 2022 según el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM, 2024). Estos resultados indican que sólo se necesitarían unos pocos pozos en un solo prospecto de hidratos para satisfacer las importaciones actuales de gas del país. El potencial de este prospecto es aún mayor considerando que permite aproximadamente 80 pozos con un radio de 250 metros como el simulado en este trabajo.

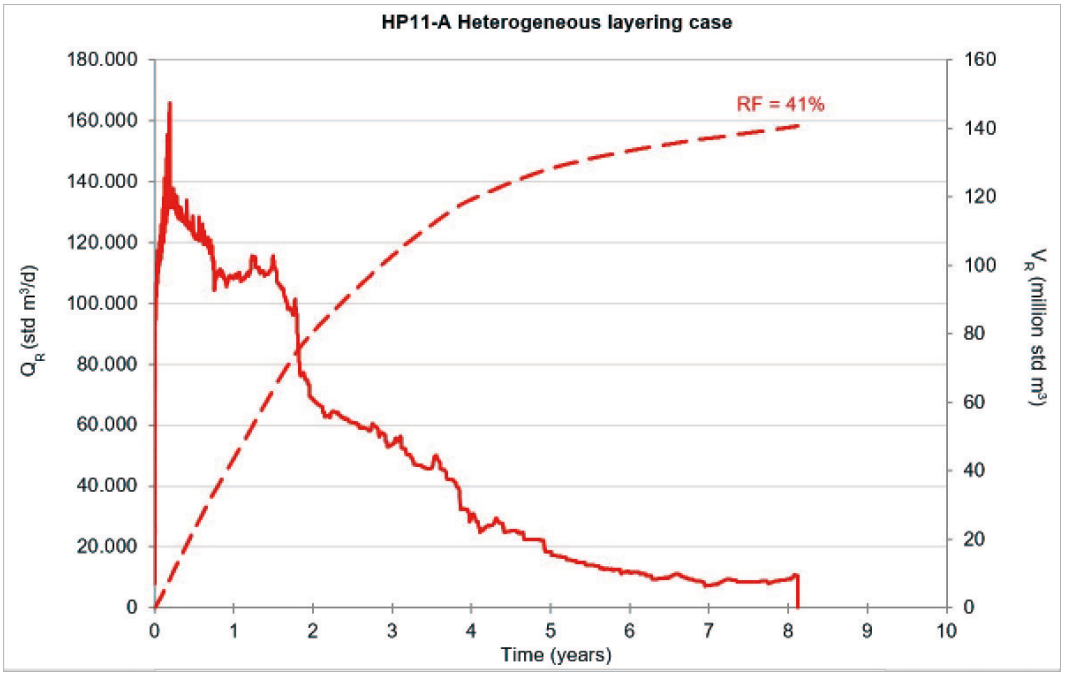


Figura 5: Resultados de la simulación para un pozo en el prospecto HP11-A en el caso de capas heterogéneas. Se muestra tasa de liberación de gas (Q_R), volumen de gas liberado (V_R) y factor de liberación (R_F). Fuente: Tomasini y Stephen (2020).

Resumen

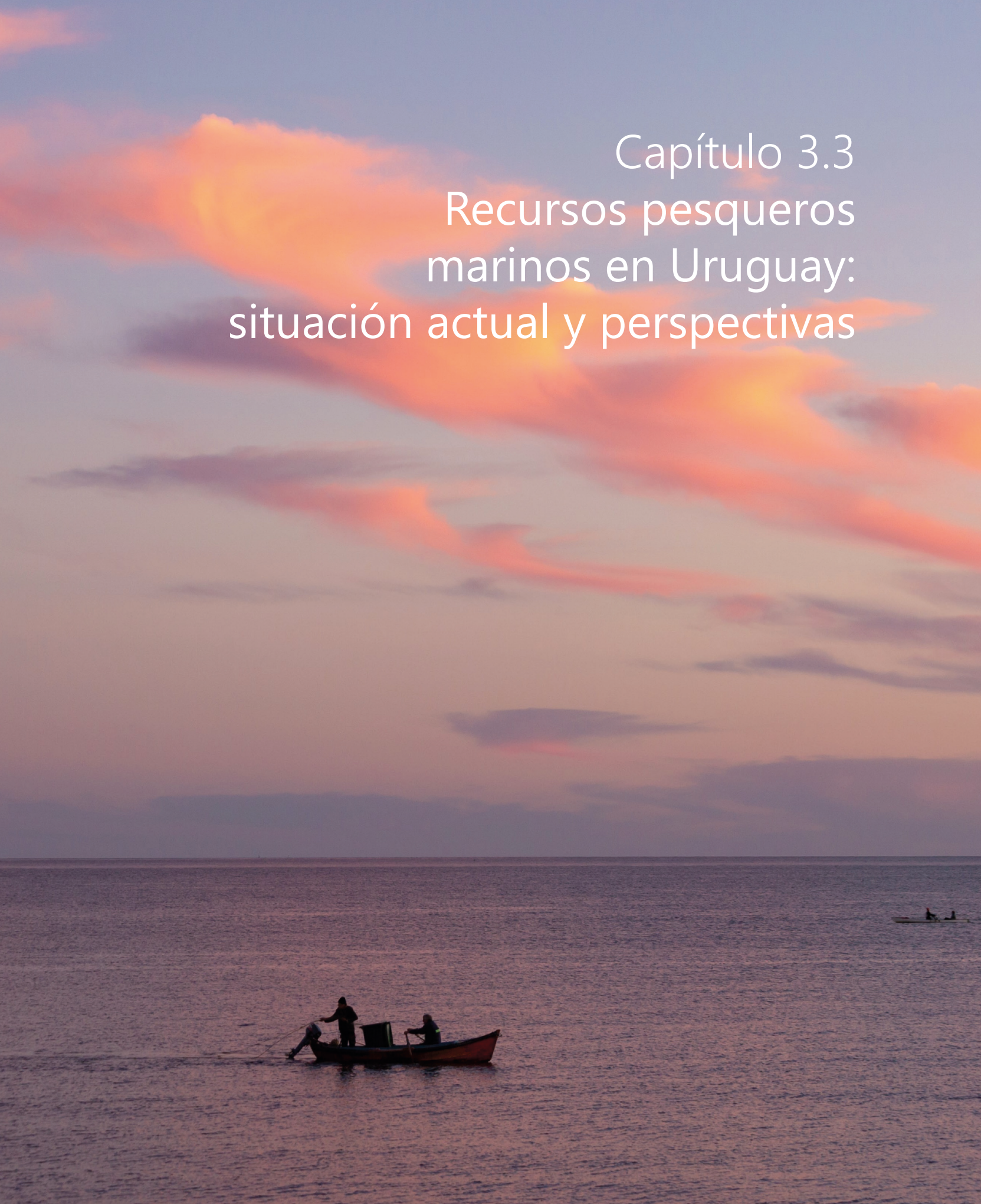
A partir de métodos geofísicos se ha determinado que Uruguay cuenta con reservorios no convencionales de gas natural que si bien cubren una superficie considerable de su zona económica exclusiva, será sólo en ciertas localizaciones donde revistan interés económico desde el punto de vista de su eventual explotación. Estos prospectos están asociados a formaciones de alta permeabilidad con altas saturaciones de hidratos, contando Uruguay con varios identificados y ranqueados.

En el mundo ya se han comenzado a realizar ensayos de producción a partir de este tipo de reservorios en ambientes marinos, no siendo aún posible su explotación comercial debido a desafíos tales como bajas tasas de producción, rango de recuperación limitado y cortos períodos de producción estable. Una vez sorteadas estas barreras, los análisis realizados para los prospectos de hidratos en el *offshore* de Uruguay indican que sólo se necesitarían unos pocos pozos en un solo prospecto para satisfacer todo el consumo actual de gas natural del país.

El gas natural es el combustible fósil de preferencia durante la transición energética hacia fuentes renovables debido a sus bajas emisiones de CO_2 durante su uso en comparación con el petróleo o el carbón. Dadas las características únicas de los depósitos de hidratos de gas natural en lo que respecta a bajas profundidades de sedimentos, no se requieren buques perforadores de alta capacidad como los utilizados en reservorios convencionales de petróleo y gas. Existe, entonces, una oportunidad para que Uruguay sustituya sus importaciones de gas natural por una fuente autóctona con una menor huella de carbono, reforzando así su liderazgo en la transición energética.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Tomasini, J., 2024, Hidratos de gas, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 237-251, doi: 10.70952/a8827tmuc3-2



Capítulo 3.3
Recursos pesqueros marinos en Uruguay: situación actual y perspectivas

Fotografía de Margarita González Rodríguez-Villamil (margamegpics@gmail.com).

Capítulo 3.3
Recursos pesqueros marinos en Uruguay: situación actual y perspectivas

Yamandú Marín,[1] Omar Defeo,[2] Sebastián Horta,[2]
Julio Chocca[1] y Nazarena Beretta[3]

[1] *Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca*

[2] *Unidad de Desarrollo de Ciencias del Mar (UNDECIMAR), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

[3] *Maestría en Manejo Costero Integrado del Cono Sur, Programa de Posgrado MCISUR, Centro Universitario Regional del Este*

Introducción[1]

Con una cobertura de más del 70% del planeta, los océanos impulsan los sistemas mundiales que hacen de la Tierra un lugar habitable para el ser humano, desde la producción de oxígeno, agua potable y alimentos, hasta el soporte de la economía y el comercio o la regulación del clima según el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14 (Naciones Unidas, 2018). Se estima que 775 millones de personas dependen de los ecosistemas marinos para su sustento y que la nutrición de 525 millones de personas en el mundo depende, en alto grado, de esos ecosistemas (Selig *et al*., 2019).

Este contexto es especialmente relevante en América del Sur, que es considerada una de las áreas más productivas del mundo y con una porción significativa de la biodiversidad marina global (Tambutti y Gómez, 2020). De un total mundial de 80 millones de toneladas producidas por la pesca de peces, crustáceos y moluscos, América del Sur alcanzó 10 millones de toneladas en 2019, de las cuales 1,7 millones fueron extraídas del Atlántico Sudoccidental (FAO, 2019).

1 Gran parte del material gráfico de este capítulo fue elaborado a partir de información proporcionada por la DINARA y su presentación fue autorizada por el director general, Dr. Jaime Coronel, y la directora técnica, Lic. Patricia Grunwaldt. Algunos apartados fueron generados a partir de la tesis de Maestría en Manejo Costero Integrado del Cono Sur de Nazarena Beretta. Parte de la distribución de las especies y el estado de conservación y propuestas de protección fueron aportados por la tesis Doctorado en Ciencias Ambientales (Facultad de Ciencias, Universidad de la República) de Sebastián Horta. Para resumir tan amplia diversidad de temas fue imprescindible la contribución de varios especialistas, en particular: Fabrizio Scarabino, Arianna Masello, Leticia Burone, Ignacio Gianelli, Florencia Doño y Gabriela Vélez-Rubio. A todos ellos nuestro reconocimiento. Los mapas fueron generados específicamente para este trabajo. Las imágenes fueron tomadas por Julio Chocca (5a, 5b, 5c, 5d, 6c, 6e, 7b, 7c, 7e), Sebastián Horta (2d), Vicente Alfageme (6b, 6f), Pablo Troncoso (6d), Rodrigo Forselledo (5c, 6a) y Nazarena Beretta (4d).

La producción pesquera mundial se ha estabilizado en las últimas décadas y las señales de deterioro de las pesquerías han ido en aumento (FAO, 2019), también en el caso de América del Sur (Defeo y Vasconcellos, 2020). Este deterioro sostenido afecta a la biodiversidad y a los ecosistemas marinos que sustentan esas pesquerías, lo cual genera la necesidad de revisar la gestión de los recursos pesqueros y promover la conservación y el uso sostenible de los océanos. En este contexto, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluyen una meta sobre la vida marina (Meta 14), enfocada, entre otros, en prevenir y reducir la contaminación, proteger los ecosistemas marinos y costeros, reglamentar eficazmente la explotación pesquera, aumentar los conocimientos científicos y mejorar la conservación y el uso sostenible de los océanos (Naciones Unidas, 2018).

De acuerdo con el Convenio sobre Diversidad Biológica, por recursos biológicos se entienden los recursos genéticos, los organismos o partes de ellos, las poblaciones o cualquier otro tipo del componente biótico de los ecosistemas de valor o utilidad real o potencial para la humanidad (Naciones Unidas, 2023a). Otras definiciones se refieren a "especies marinas acuáticas vivas, disponibles y accesibles, incluidas las especies anádromas y catádromas durante su vida marina" (RAE, 2022; Naciones Unidas *et al.*, 2005). La definición incluye una enorme gama de entidades que abarca desde megafauna hasta moléculas orgánicas complejas y contiene dos grandes conceptos: las entidades en sí mismas (organismos, poblaciones) y la noción de valor o utilidad para las personas cuando están "disponibles y accesibles".

Enumerar las especies marinas y asignar un valor de utilidad variable a lo largo del tiempo es difícilmente abordable en un solo documento, lo cual también aplica para el espacio marino de Uruguay. Desde la centralidad de la pesca y la caza acuática de fines del siglo XIX a la consideración de recursos hidrobiológicos y ecosistemas, la normativa uruguaya mantiene una fuerte impronta de lo pesquero como actividad principal de utilización de los recursos.

Existen antecedentes de aprovechamiento de especies costeras para consumo humano desde la época prehispánica (Inda *et al.*, 2006; Buc, 2017). Por ejemplo, lobos marinos y ballenas fueron un recurso comercial importante en el Uruguay de los siglos XVII a XX y actualmente depositarios de otros valores imbuidos de un mayor grado de espiritualidad. A su vez, muchos organismos que no tienen una utilidad comercial directa reconocida son parte fundamental del funcionamiento de los ecosistemas, pueden actuar como indicadores ecosistémicos robustos en la detección de impactos antropogénicos y, a la vez, permiten el desarrollo de otras especies o forman parte de la identidad y el patrimonio (Scarabino, 2021).

La investigación sobre especies nuevas o ya conocidas, así como el desarrollo tecnológico, sigue abriendo nuevas fronteras, incluyendo el interés en biomateriales generados por organismos marinos para aplicaciones médicas, farmacéuticas e industriales (Barzkar, 2020; Khrunyk *et al.*, 2020; Wan *et al.*, 2021). Ya sea para consumo, uso industrial, ornamental o como parte del patrimonio cultural, la identificación de una especie como "recurso" es, entonces, además de tan

diversa como las comunidades disponibles, variable a lo largo del tiempo y en su valoración social y económica.

En este capítulo se repasan las características más salientes de los recursos biológicos en aguas uruguayas comprendidas entre la zona costera y la zona más profunda del océano Atlántico bajo jurisdicción nacional. Asimismo, se detallan algunas de las especies explotadas más representativas y la forma en que se han aprovechado a través de diferentes formas de extracción.

Cabe señalar que este contenido resume información sobre las especies y su distribución, así como actividades pesqueras. Con relación a las especies, las fuentes consultadas incluyeron: a) publicaciones en revistas científicas de alcance regional e internacional, informes de proyectos, tesis de grado y posgrado; b) taxonomía con base en World Register of Marine Species (WORMS)[2] y distribución con base en registros incluidos en bases de datos internacionales, en particular FishBase[3]; c) campañas de investigación en aguas uruguayas realizadas por los barcos del ex Instituto Nacional de la Pesca (INAPE) y la actual DINARA, con red de arrastre de fondo entre 1976 y 2018; y d) datos provistos por observadores científicos del Laboratorio de Tecnología Pesquera (DINARA) en embarcaciones comerciales de Uruguay. La información sobre actividades pesqueras y "métier" procede de referencias enumeradas en Marín *et al*. (2020).

2 Disponible en https://marinespecies.org/

3 Disponible en https://fishbase.se

Área de estudio y procedencia de la información

El área de estudio seleccionada para describir los recursos biológicos es el océano Atlántico, con especial énfasis en la zona comprendida entre la línea de costa y el límite exterior de la plataforma continental. Si bien pone el foco en este sector, son muy pocos los recursos que se circunscriben a él: las especies tienen una distribución más amplia que trasciende estos límites y la capacidad de Uruguay de utilizar estos recursos ha aumentado por medio de acuerdos internacionales. En este sentido, se hará mención también al Río de la Plata y a una zona más extendida en el océano Atlántico, contenida en la zona común de pesca argentino-uruguaya (ZCPAU).

La jurisdicción de Uruguay sobre los espacios marinos abarca parte de un ambiente de transición entre el dominio fluvial de los ríos Uruguay y Paraná y el océano Atlántico. El Río de la Plata es un espacio compartido con Argentina, al igual que la administración de los recursos pesqueros en la ZCPAU con la vigencia del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (1973). En el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Naciones Unidas, 1982), Uruguay ha declarado 12 millas marinas (M) de mar territorial a partir de la línea de base y una zona económica exclusiva (ZEE) hasta 200 M, y ha definido su extensión de la plataforma (figura 1, capítulo 1.4). La plataforma incluye aguas costeras (*ca.* 50 m de profundidad) y el talud continental en la zona de mayor pendiente, caracterizada por un cambio abrupto entre las isóbatas de 200 m y 1.500

m, pero que en su extensión total abarca entre los 180 m y 4.500 m (Burone *et al.*, 2021). A la altura del borde exterior de la plataforma continental transcurre la convergencia subtropical de las corrientes cálida de Brasil y fría de Malvinas (Acha *et al.*, 2004; Manta *et al.*, 2022). Estas condiciones dinámicas de múltiples transiciones (fluvial-estuario-océano, de profundidad, temperatura y salinidad de masas de agua contrastantes), con condiciones altamente productivas, donde la fauna es abundante, diversa y heterogénea, hacen que esta zona sea de particular relevancia pesquera (Ciotti *et al.*, 1995; Ortega y Martínez, 2007; Jaureguizar *et al.*, 2016).

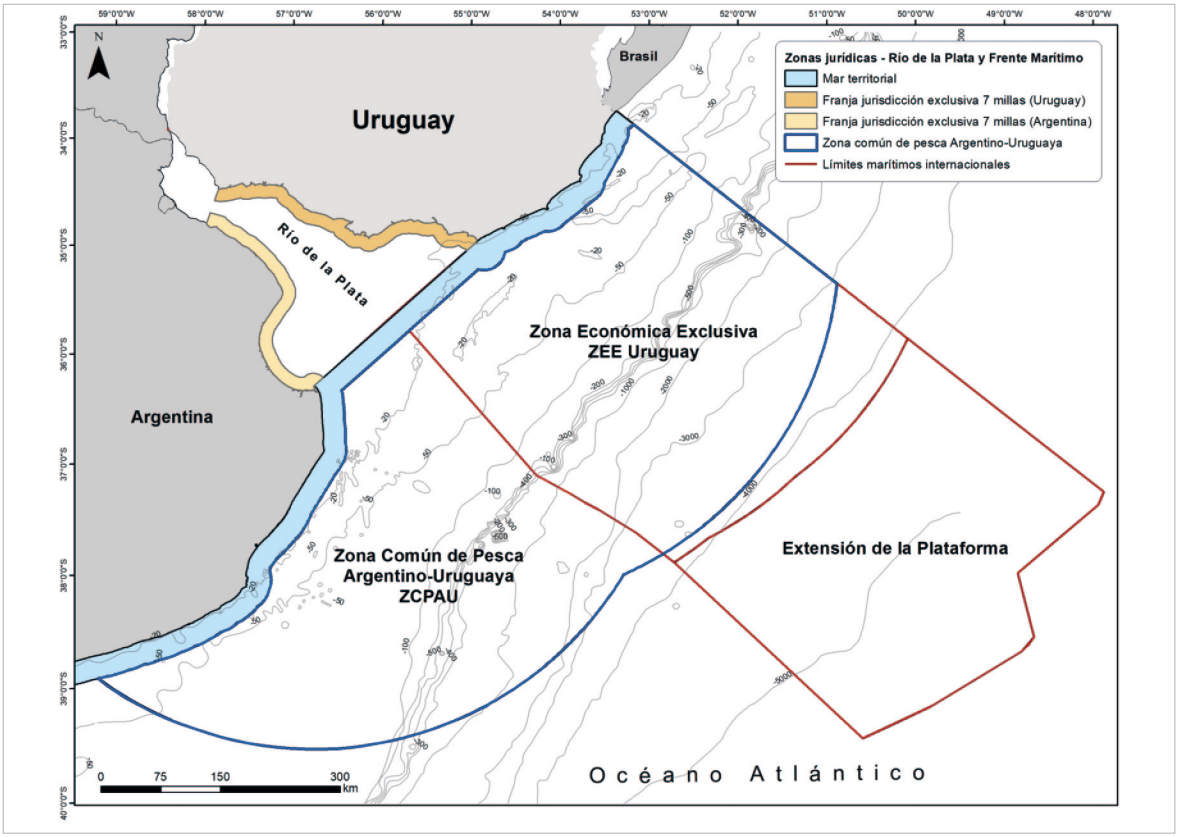


Figura 1. El área de estudio para este capítulo fue el océano Atlántico desde la línea de base hasta la extensión de la plataforma, incluyendo el mar territorial (12 M) y la ZEE (200 M). A partir del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, firmado con Argentina en 1973, muchas especies son explotadas en la ZCPAU.

Simplificando la heterogeneidad de los ambientes antes señalados, se describen aspectos de las comunidades biológicas, usos y actividades humanas en la franja oceánica entre Punta del Este y Barra del Chuy, tomando como base cinco zonas sobre la costa del océano Atlántico: la zona litoral, que comprende la línea de costa y el espejo de agua

hasta 5 m de profundidad; la zona costera, entre 5 y 50 m de profundidad; la plataforma continental (entre 50 y 200 m de profundidad); el talud y la elevación continental (200 a 4.500 m); y las planicies abisales (profundidad > 4.500 m).

La distribución de las especies

Litoral

El litoral oceánico alterna playas, puntas rocosas, lagunas, desembocaduras de cursos de agua e islotes costeros, ambientes múltiples en la interfase tierra-mar donde se desarrollan comunidades faunísticas adaptadas a cambios de salinidad. Este sistema se encuentra influenciado por la descarga del Río de la Plata en el océano Atlántico, que genera un gradiente ambiental de oeste a este, en términos de salinidad y turbidez. Esta situación dinámica constituye una barrera biogeográfica natural para varias de las especies que se distribuyen en nuestro litoral (Defeo *et al*., 2011).

Las características ambientales determinadas por este gradiente determinan una importante diversidad de especies de invertebrados bentónicos estuarinos y marinos, que habitan en una heterogeneidad de ambientes según el sustrato (por ejemplo, fango, arena, conchilla, tosca o roca) y según el nivel y la permanencia del agua en el supralitoral (por ejemplo, supramareal, intermareal y submareal) o infralitoral (Scarabino, 2006). Muchos de estos organismos, pertenecientes a un amplio rango de grupos biológicos, son de importancia ecológica por ocupar diversos roles tróficos (por ejemplo, son alimento de depredadores tope como aves y peces, reciclado de nutrientes y filtrado de agua), además de presentar muchos de ellos importancia comercial y sociocultural (Scarabino, 2021).

Los organismos litorales son los más accesibles y expuestos, tanto al uso ornamental, como alimento o como parte del patrimonio costero, como a los efectos de la urbanización y la degradación del hábitat. Existe la extracción informal de cangrejos, principalmente cangrejo cavador estuarino (*Neohelice granulata*) y cangrejo violinista (*Uca uruguayensis*), en las desembocaduras de arroyos y lagunas, para su utilización como carnada para la pesca deportiva.

Los bancos de mejillón azul (*Mytilus* sp.) más abundantes en la zona de transición del Río de la Plata y el océano Atlántico (por ejemplo, entre Piriápolis y José Ignacio) habitan en el intermareal y submareal de puntas y fondos rocosos alrededor de las islas, son objeto de consumo local, constituyen una pesquería tradicional de larga data y su extracción está regulada (Defeo y Riestra, 2000; Bianchinotti, 2017). En las mismas zonas, las macroalgas (*Ulva* sp.) se utilizan para consumo directo y algunas algas rojas (por ejemplo, *Pterocladiella capillacea*) lo fueron para la extracción industrial de agar entre 1946 y 1965 (Porzecanski *et al*., 1965; Fabiano y Santana, 2010; Vélez-Rubio *et al*., 2021) (figura 2).

La extracción de almeja amarilla (*Amarilladesma mactroides*) se efectúa, al menos, desde 1940 en la costa de Rocha y es objeto de una pesquería local que se realiza desde la playa con palas. En la actualidad el recurso está

destinado al consumo humano, aunque también se lo emplea como carnada para la pesca deportiva (figura 2). Con un raño especialmente adaptado se extrae, también desde la playa, en la zona de rompiente, el berberecho (*Donax hanleyanus*), que es consumido por la población local y cuya comercialización es mínima. La pesca deportiva está fuertemente arraigada y accede a no menos de 20 especies de peces costeros. Es una actividad que moviliza a un número importante de personas y cuyo efecto no ha sido del todo evaluado ni cuantificado, sin embargo, se sabe que muchos de los individuos capturados son juveniles de especies que utilizan la zona costera como sitio de cría —por ejemplo, sciénidos, pejerrey, lenguados y tiburones (figura 2)— o para la reproducción —por ejemplo, corvina negra (*Pogonias courbina*), gatuzo (*Mustelus schmitti*)—.

Figura 2. En el litoral rocoso es frecuente la presencia de macroalgas del género Ulva *(a) y comunidades bentónicas sésiles de mejillón azul (*Mytilus *sp.) (b), zonas muy utilizadas por pescadores deportivos (c). En las playas arenosas es común la extracción de berberechos y almeja amarilla (*Amarillodesma mactroides*) (d).*

Las islas costeras entre Punta del Este y La Coronilla se encuentran menos intervenidas que las zonas rocosas litorales y alojan colonias de reproducción de los lobos y leones marinos (respectivamente, *Arctocephalus australis* y *Otaria flavescens*), y son sitios de anidación de aves y espacios de alimentación de tortugas. Los registros de estos otáridos en la región datan del Pleistoceno, fueron aprovechados para vestimenta y alimentación por las primeras poblaciones humanas (Rusconi, 1931, citado en Vaz Ferreira, 1950) y objeto de explotación hasta finales del siglo XX, ya fuera para consumo, extracción de aceite o uso de sus cueros. Actualmente no se realiza este tipo de explotación comercial y se discute incorporar nuevas medidas de protección en las colonias.

Costera

La zona costera entre el litoral y la isóbata de 50 m se caracteriza por una morfología regular y relativa homogeneidad, con fondos planos de arena o fango interrumpidos por sectores de barreras de grava bioclástica y rocas, y al este una depresión con dirección SW-NE que representa el paleovalle del Río de la Plata (Burone *et al*., 2021). En los fondos arenosos y fangosos existe una alta diversidad de moluscos gasterópodos y otras especies bentónicas, muchas de las cuales han sido especies objetivo de distintas pesquerías específicas que no operan desde mediados de los años noventa por bajos rendimientos e insuficientemente información biológico-pesquera: el caracol negro (*Pachycymbiola brasiliana*), grande (*Adelomelon beckii*), fino (*Zidona dufresnei*) y bola (*Tonna galea*), la almeja blanca (*Pitar rostratus)* y peces como lenguados (*Paralichthys* spp.) (figuras 3 y 4).

En la zona costera y la plataforma interior se reconocen grandes ensamblajes de peces demersales con consistencia espacio-temporal, con las características ambientales predominantes influenciadas por la descarga del estuario del Río de la Plata, diferenciándose según su salinidad en estuarino interno (13,5-22,5 mg/L), estuarino externo (25,6-32,8 mg/L) y costero de plataforma (28,9-33,1 mg/L) (Lorenzo *et al*., 2011). El ensamblaje estuarino interno se encuentra representado principalmente por corvina (*Micropogonias furnieri*), pescadilla de red (*Macrodon atricauda*) y lacha (*Brevoortia aurea*), con presencia temporal en primavera de sable (*Trichiurus lepturus*), mochuelo (*Genidens barbus*), brótola (*Urophycis brasiliensis*) (Kaup, 1858), lisa (*Mugil platanus*) y palometa (*Parona signata*) (figura 4). Sábalo (*Prochilodus lineatus*) y boga (*Megaloporinus obtusidens*) son también especies relevantes en aguas interiores que se desplazan hasta el Río de la Plata. Por otra parte, el ensamblaje estuarino externo está caracterizado por corvina y chucho (*Myliobatis goodei*), además de palometa, gatuzo (*Mustelus schmitti*), pez palo (*Percophis brasiliensis*), testolines (*Prionotus punctatus* y *P. nudigula*), cagavino (S*tromateus brasiliensis*) y burriqueta (*Menticirrhus americanus*) (figura 4).

Las principales especies incluidas en el ensamblaje costero de la plataforma son chucho, pescadilla de calada (*Cynoscion guatucupa*) y gatuzo, además de corvina, pargo blanco (*Umbrina canosai*), angelito (*Squatina guggenheim*) y pez sable, entre otras (Lorenzo *et al*., 2011). En todos los casos se encontraron cambios en las especies dominantes, con las diferencias de temperatura, salinidad y profundidad, y son

relevantes otras especies (brótola, torpedo [*Discopyge tschudii*]), al igual que aquellas que estuvieron presentes en más de un ensamblaje (congrio [*Conger orbignyanus*], córvalo [*Paralonchurus brasiliensis*] o trompa de cristal [*Galeorhinus galeus*]). Todas estas especies han sido capturadas históricamente por la flota artesanal con redes de enmalle y palangres (Laporta *et al*., 2018; Silveira *et al*., 2018). También son fauna acompañante de la pesquería industrial de arrastre costero dirigida principalmente a corvina y pescadilla de calada, y son buscadas desde la costa por la pesca deportiva. Existe una abundancia importante de especies pelágicas como anchoíta (*Engraulis anchoita*), caballa (*Scomber colias*), surel (*Trachurus lathami*) y anchoa de banco (*Pomatomus saltatrix*), y varios autores indican la zona como un área de cría multiespecífica (Norbis *et al*., 2006).

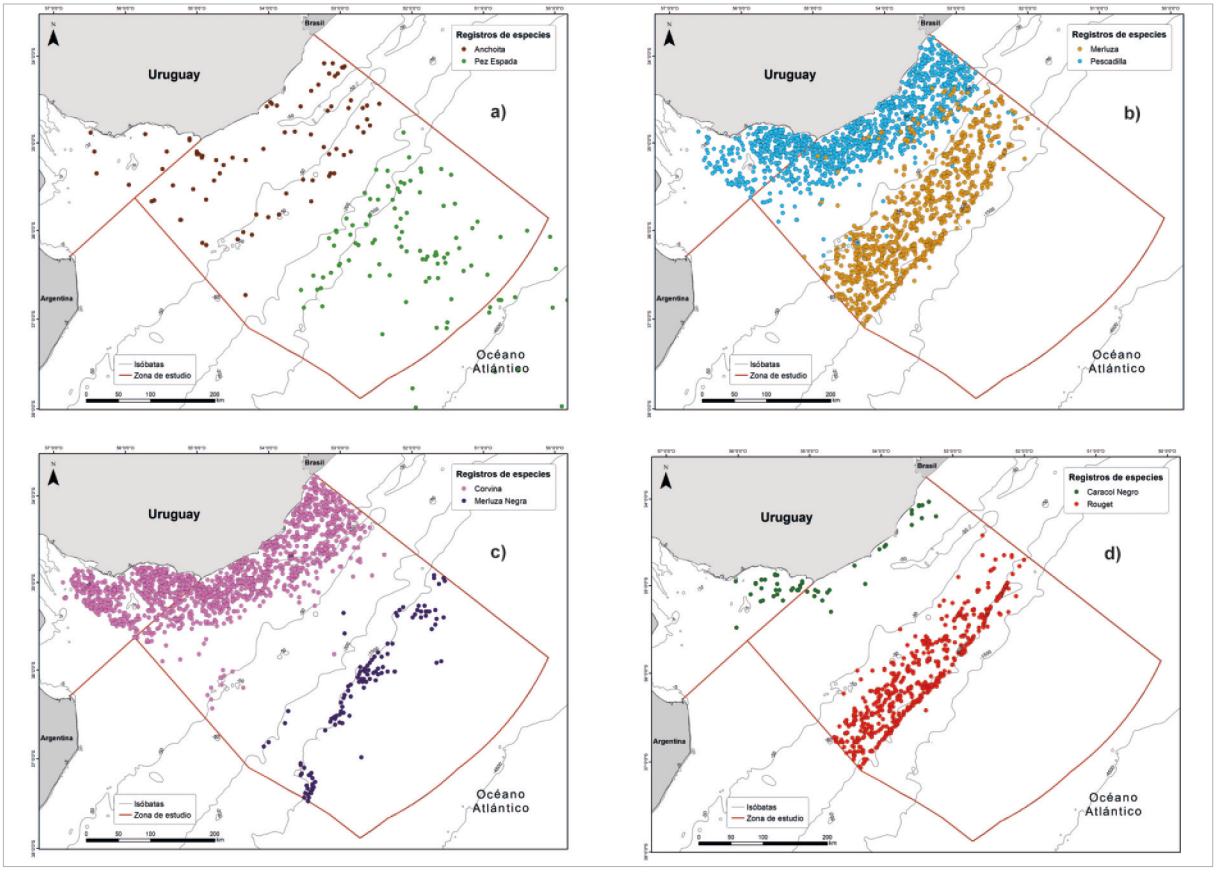


*Figura 3. Registro de algunas de las especies de interés comercial, anchoíta (*Engraulis anchoita*) en aguas costeras y de plataforma, y pez espada (*Xiphias gladius*) en talud y* offshore *(a); merluza (*Merluccius hubbsi*) y pescadilla de calada (*Cynoscion guatucupa*) en aguas costeras y de plataforma (b); corvina (*Micropogonias furnieri*) y merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el talud (c); y caracol negro (*Pachycymbiola brasiliana*) en aguas costeras y rouget (*Helicolenus dactylopterus*) en el talud (d).*

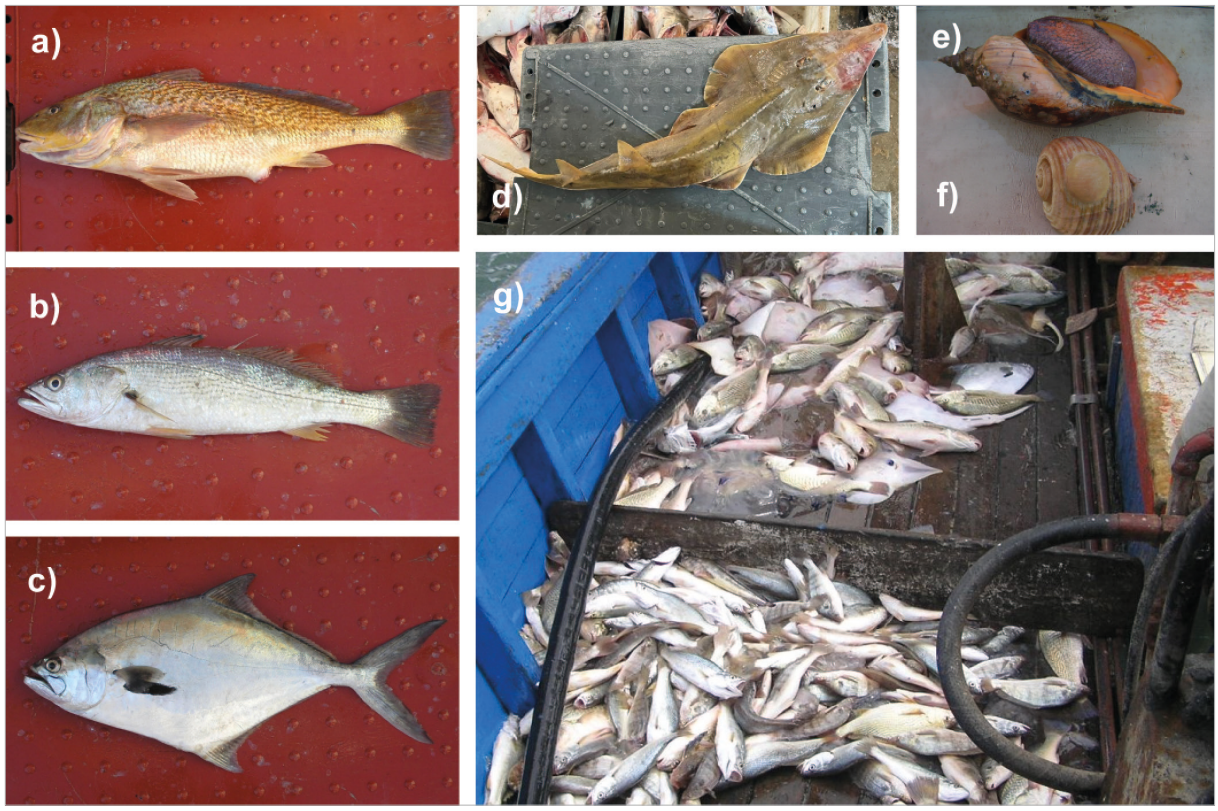


*Figura 4. La mayor proporción del desembarque de la flota industrial costera está integrada por corvina (a) y pescadilla de calada (b). La red de arrastre de fondo (g) captura también individuos de otras especies, como palometa (*Parona signata*, c), peces cartilaginosos (d, guitarra grande,* Pseudobatos horkelii*) e invertebrados. El caracol* Adelomelon beckii *(e) supera los 40 cm de longitud y el caracol bola (*Tonna galea*, f) ha sido explotado para consumo. Se estima que las poblaciones de d) y e) se han reducido en forma notoria.*

La caza de ballenas fue muy activa en el siglo XVIII en los departamentos de Maldonado y Rocha (Díaz de Guerra, 2003), y actualmente las zonas de cacería son puntos de atracción turística y de observación de ballena franca (*Eubalaena australis*) y delfines como las toninas (*Tursiops truncatus gephyreus*) y la franciscana (*Pontoporia blainvillei*), especies que son muy vulnerables a las pesquerías y al desarrollo urbano costero.

Como base fundamental de la trama trófica de estos ecosistemas se encuentran los organismos planctónicos, que tienen un rol clave en la integridad del sistema en la producción primaria, la fijación de carbono y la transferencia de energía al resto del sistema (fitoplancton). A su vez, junto con el zooplancton, son indicadores del estado y de su monitoreo resultan otros beneficios, como el anticipo de problemas graves de salud pública por floraciones masivas (por ejemplo, dinoflagelados *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum*, *G. splendens*) (Martínez *et al.*, 2017).

Plataforma

Al igual que gran parte de la zona costera, la plataforma es de baja pendiente, con sedimentos que cubrieron la antigua línea de costa y canales de descarga fluvial, que alcanzan el talud continental y se asocian a cañones submarinos (Martins *et al*., 2005). Sobre esta topografía regular dominada por arena y fango y con escasos accidentes geomorfológicos, circulan y se mezclan las descargas de los ríos Uruguay y Paraná —la segunda cuenca en caudal de América del Sur— y masas de agua oceánicas subantártica y subtropical transportadas por las corrientes de Brasil y Malvinas (Burone et al., 2021).

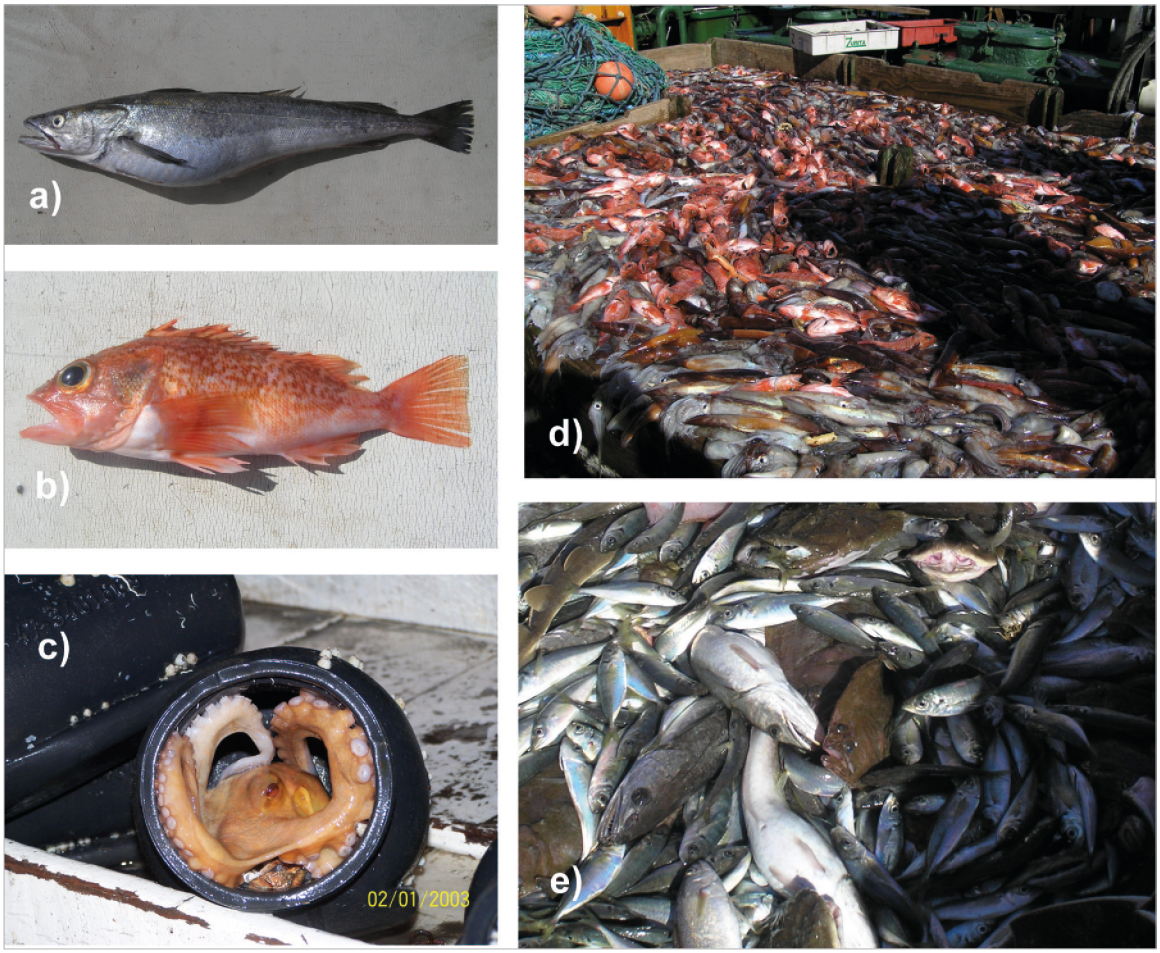


*Figura 5. Merluza (a) es una de las especies objetivo tradicionales de la flota industrial uruguaya y se captura con un conjunto de especies también de valor comercial como rouget (b) y calamar (d). Normalmente las redes de arrastre capturan especies que pueden encontrarse mezcladas en el fondo (e) como surel, lenguados y angelito (*Squatina *sp.). El pulpo (*Octopus *sp.) (c) es una especie bentónica cuya explotación mediante trampas (pote) ha sido iniciada más recientemente.*

Las amplias zonas de sedimentos de arena-fango del fondo muestran una fauna bentónica diversa que alterna con zonas limitadas de sustrato biogénico más consolidado, con comunidades particulares. Se han identificado bancos de mejillón (*Mytilus* sp.) en puntos dispersos de la plataforma, al igual que concentraciones de vieira (*Zygochlamys patagonica*). Estos bancos presumiblemente cumplen un papel importante para el reclutamiento de algunas especies bentónicas y para especies ovíparas de elasmobranquios (Calliari *et al*., 2014), y constituyen zonas de referencia de algunas pesquerías específicas, tales como pulpo (*Octopus vulgaris*) y besugo (*Pagrus pagrus*) (figura 5).

La ictiofauna de la plataforma es diversa y registra más de 460 especies en la ZCPAU, y son los actinopterigios y los condrictios los grupos taxonómicos con mayor riqueza específica (Acuña et al., 2014). La anchoíta es una de las especies de peces más importantes en el Atlántico Sudoccidental, no solamente en términos de biomasa sino porque constituye el alimento básico de un gran número de especies, incluyendo recursos de interés económico (Hansen, 2004; Cousseau y Perrotta, 2013; Costa *et al*., 2020). Es una especie pelágica pequeña (<20 cm), con una distribución amplia (20° S - 48° S), se alimenta de zooplancton, tolera amplios cambios de salinidad y se la encuentra en la dieta de unas 50 especies, incluyendo peces, aves y mamíferos (Hansen, 2000; Costa *et al*., 2020). Los huevos y larvas están presentes en toda el área, y en su estado adulto forma grandes cardúmenes sobre el fondo durante el día, mientras que durante la noche ascienden y se dispersan en capas de menor profundidad en la columna de agua, lo que los vuelve accesibles a predadores, principalmente merluza, pero también anchoa de banco (*Pomatomus saltatrix*), bonitos (*Sarda sarda*, *Euthynnus alletteratus*) y especies demersales.

La relativa homogeneidad de los fondos en la plataforma ha dado lugar a pesquerías de especies demersales, algunas de ellas muy específicas, con redes de arrastre de fondo (figura 5). Merluza (*Merluccius hubbsi*) y papamosca (*Nemadactylus bergi*) son las especies objetivo de pesquerías de larga trayectoria, y con ellas se desembarcan varios grupos de especies de la fauna acompañante: calamar (*Illex argentinus*), rouget (*Helicolenus dactylopterus*) y varias especies de raya (por ejemplo, *Dipturus chilensis*) (figura 5).

El grupo de los condrictios (tiburones y rayas) está representado por un centenar especies y, debido a su baja tasa de reproducción, vulnerabilidad y estado de las poblaciones, son objeto de planes especiales de conservación (Domingo *et al*., 2008).

Talud continental

La baja pendiente que caracteriza a la plataforma cambia sustancialmente a partir de 160-200 m, al igual que la geomorfología, en el talud continental. Esta zona se extiende desde el quiebre de la plataforma hasta profundidades de 4.500 m y muestra terrazas, canales, cañones, chimeneas y montes submarinos dominados por la dinámica de varias masas de agua que abarcan desde la convergencia subtropical hasta aguas frías profundas de origen antártico (Burone *et al*., 2021). La elevada energía redistribuye sedimentos procedentes de la plataforma y

transportados lateralmente tanto en zonas de depositación como generando procesos erosivos que moldean múltiples formaciones y estructuras, a lo cual se suma el aporte de materia orgánica procedente de la plataforma y la producción primaria de la convergencia subtropical, que facilitan el desarrollo de comunidades bentónicas. Colonias de coral de agua fría (*Desmophyllum pertusum*) fueron localizadas en talud a profundidades de 180 a 360 m, formando montículos de hasta 1.700 m de longitud y 60 m de altura, que a la vez facilitan el desarrollo de otros organismos formando comunidades complejas aún poco estudiadas (Carranza *et al.*, 2021; Masello *et al.*, 2021) (figura 6).

*Figura 6. El talud continental abarca ambientes singulares relevantes para la conservación como los montículos de coral (*Desmophyllum pertusum*, b) y para la explotación de especies de alto valor comercial como cherna (*Polyprion americanus*, a), cangrejo rojo (*Chaceon notialis*, c) y merluza negra (*Dissostichus eleginoides*, d). Otros recursos potenciales de alto valor no han sido suficientemente evaluados (langosta* Thymops birsteini*, e) al igual que aquellos en profundidades mayores a 2.000 m (f).*

La exploración de estas zonas de gran profundidad ha sido más lenta que en otras zonas de Uruguay, requiere plataformas y tecnologías apropiadas y ha estado dirigida a especies de interés comercial. En menor número que en la plataforma, algunas especies son objeto de explotación por su alto precio en el mercado internacional. En el borde del talud, la flota pesquera de altura opera regularmente, capturando merluza y rouget. En los montículos de coral se captura cherna (*Polyprion americanus*) por medio de palangres de fondo, en forma intermitente debido a fluctuaciones en los rendimientos. El cangrejo rojo (*Chaceon notialis*) habita entre los 200 y 1.600 m de profundidad (Gutiérrez *et al.*, 2011), es el objetivo de una de las escasas pesquerías monoespecíficas y

está fuertemente regulada desde sus inicios en la década del ochenta (figura 6). Se pesca con nasas rectangulares de madera caladas al fondo en líneas de entre 100 y 200 nasas y entre 400 y 700 m de profundidad (Defeo y Masello, 2000b; Masello y Defeo, 2016). A fines de la década de los noventa comenzó a explotarse la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en su límite norte de distribución entre 800 y 2.000 m, donde también se capturan de forma incidental y en bajos rendimientos granaderos (*Macrourus* sp.), merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), centolla (*Lithodes santolla*) y langosta patagónica (*Thymops birsteini*).

En aguas superficiales, la comunidad del necton es más conocida y presenta especies de interés comercial accesibles a menor costo. La explotación de atunes (*Thunnus alalunga, T. obesus, T. albacares*) y pez espada (*Xiphias gladius*) tuvo su auge en los años ochenta y noventa, junto a los cuales se capturan tiburones pelágicos: azul (*Prionace glauca*), marrón (*Carcharhinus brachyurus*), martillos (*Sphyrna* sp.), entre otros (figura 3). La comunidad de organismos pelágicos es diversa e incluye residentes de aguas cálidas, por ejemplo: dorada (*Coryphaena hippurus*), pez volador (*Exocoetus* sp.), pez vela (*Istiophorus albicans)*, marlin (*Tetrapturus albidus*) y agujas (*Makaira nigricans* y *Scomberesox* sp.).

La alta dinámica de la zona la convierte en un área activa para la alimentación de aves, en particular albatros —errante (*Diomedea exulans*), de ceja negra (*Thalassarche melanophris*), de pico fino (*T. chlororhynchos*) y petreles (*Macronectes* sp., *Procellaria* sp.)—, así como para grandes mamíferos, como la orca (*Orcinus orca*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*).

Planicies abisales

Se extienden desde los límites de la zona anterior hasta las 350 M. Si en la zona del talud la investigación presentaba dificultades técnicas relevantes, las prospecciones en las zonas abisales son aún mayores, por lo que gran parte del entorno ha sido apenas explorada. Las comunidades de aguas superficiales son más accesibles y muchos de los organismos superficiales mencionados para el talud se distribuyen también hacia el este en la ZEE uruguaya y aguas internacionales. De hecho, las pesquerías dirigidas a grandes peces pelágicos abarcan esta zona. Además de las especies mencionadas, existen registros frecuentes de calamar rojo (*Ommastrephes bartramii*), pez aguja (*Scomberesox* sp.), pez sol (*Lampris guttatus*), pez luna (*Mola* sp.), mictófidos y otras especies de peces epi y mesopelágicos (figura 6).

Aprovechamiento de los recursos

El uso de los recursos vivos abarca la explotación de múltiples especies para consumo directo o la generación de nuevos productos con valor de uso, e incluye actividades como la pesca, la maricultura y la caza. La caza de lobos marinos, en sus sitios de descanso y reproducción, fue un rubro importante en el uso de los recursos marinos de Uruguay hasta fines del siglo XX. La producción de cueros y aceite fue parte del desarrollo institucional nacional, incorporando un componente científico para una explotación controlada por parte del Servicio Oceanográfico y Pesca (SOYP) y posteriormente por Industrias Loberas y Pesqueras del Estado (ILPE). Con

el abandono de esta producción y el cierre de ILPE en 1991, la actividad en las colonias de lobos fue orientada hacia otros valores. Actualmente la actividad comercial se limita a la exportación periódica de 100 a 200 individuos vivos de lobo fino (*Arctocephalus australis*), principalmente para acuarios y parques temáticos de diversos países del mundo. Por ejemplo, el 80% de las exportaciones entre 2016-2018 estuvieron dirigidas a la República Popular de China (DINARA, 2019). La caza de ballenas y delfines no tuvo un desarrollo similar reciente y está, además prohibida por la Ley n.º 19.128, que declara a nuestro mar territorial y ZEE "santuario de ballenas y delfines" (Poder Legislativo, 2013b).

La acuicultura en aguas marinas ha tenido un desarrollo irregular. Las condiciones fisiográficas y climáticas que prevalecen en la costa oceánica del Uruguay representan un desafío importante debido a condiciones de alta exposición a fuerzas eólicas de gran intensidad durante largos períodos en el año (DINARA-FAO, 2008a, 2008b), sumadas a las amplias fluctuaciones térmicas y escasos litorales protegidos. No obstante, desde 1957, existen numerosos antecedentes con cultivos de mejillón, camarón (*Penaeus paulensis*), cangrejo sirí (*Callinectes sapidus*), macrofitas (*Gracilaria verrucosa*) y más recientemente lenguados (*Paralichthys* sp.) en la estación de la DINARA en Cabo Polonio. Si bien aún no se ha alcanzado una expansión comercial, es una actividad en desarrollo y la costa atlántica ha sido propuesta para explorar la factibilidad de cultivos marinos en estructuras flotantes oceánicas y nuevas actividades en sistemas terrestres confinados (DINARA-FAO, 2008b).

El litoral y la zona costera concentran un alto número de especies y diversidad de usos. Solamente en moluscos se reportan más de 240 especies bentónicas entre La Paloma y Punta del Diablo, con amplios usos y valoraciones que abarcan desde su biología y rol ecológico hasta lo gastronómico, artístico y recreativo (Scarabino, 2021).

El uso más extendido de los recursos biológicos marinos para consumo o uso industrial en Uruguay se ha hecho a través de las pesquerías, considerando tanto la dimensión temporal como en volumen y diversidad de medios (Marín *et al*., 2021). En 2019, el volumen total desembarcado de peces, moluscos y crustáceos alcanzó 68.005 t, de las cuales 55.474 correspondieron a la flota industrial que operó en el Río de la Plata, la ZEE y la ZCPAU. En el mismo año la flota artesanal capturó 12.531 t en todo el país (DIEA, 2020). Entre ambas, los peces marinos alcanzaron 58.658 t, con un descenso de 24% en relación con la captura de 2012. Merluza, corvina y pescadilla de calada representaron el 75% de las capturas. Esta dominancia en las capturas no siempre fue constante en el tiempo, ya que hubo períodos de fuerte diversificación en los cuales se capturaron múltiples especies en un proceso que alcanzó a pesquerías tanto industriales como artesanales, aunque a diferente velocidad (Fabiano *et al*., 2000; Norbis *et al*., 2006; Silveira *et al*., 2016). Luego de varias décadas de capturas moderadas, entre 1975 y 1983 el desembarque industrial se multiplicó por 10, al igual que el número de barcos de la flota pesquera, alcanzando 100.000 t en 1998. Estos niveles se mantuvieron con variaciones hasta 2001, sobre la base de una diversificación productiva que incorporó nuevas especies objetivo y

métodos de pesca. El proceso posterior estuvo caracterizado por un declive sostenido hasta los niveles actuales (Gianelli y Defeo, 2017).

La disponibilidad de especies para usos diferentes dio origen a distintas prácticas o metodologías de extracción adaptadas a las condiciones locales. El término *pesquería* es bastante amplio y se refiere a la actividad pesquera comercial centrada en una especie (o grupo) en una zona definida. Es adecuado a los efectos de la administración y el manejo de poblaciones e incluye todas las actividades que generan mortalidad por pesca de una especie. Un grado mayor de detalle puede alcanzarse si se considera, además de la especie objetivo y la zona de operación, el arte de pesca y la forma de utilizarlo, lo cual conduce a la definición de oficio o "métier" (Marín *et al*., 2020). Por ejemplo, la pesquería de corvina en el Río de la Plata se refiere a la extracción de la especie en dicha zona, en la cual intervienen varios "métier": las embarcaciones industriales de Uruguay y Argentina que operan con red de arrastre y con redes en pareja, y las artesanales de ambas márgenes que utilizan redes de enmalle, redes de arrastre menores o palangres. En este caso, el uso de "métier" para describir la extracción de especies refleja mejor la diversidad de formas y métodos de captura y, a la vez, el uso de los recursos: desde la recolección manual de mejillones para consumo directo a las redes de cerco industriales para la captura de anchoíta para la producción de harina.

En el contexto de la definición de "métier", la unidad de pesca puede incluir una embarcación (en su mayoría), más de una embarcación (arrastre en parejas) o ninguna (recolección manual, buceo) (Marín *et al*., 2020). El mismo arte de pesca puede usarse en lugares diferentes o de forma distinta para obtener especies particulares, o puede ser un arte tan específico que se utilice exclusivamente para una especie. En este sentido, el "métier" merluza es diferente al de rouget, debido a que ambos usan una red de arrastre de fondo, pero se dirigen a especies diferentes y en zonas específicas de la ZCPAU (talud continental, mayor profundidad para rouget). El uso de poteras (*jigging*) o trampas (potes) es exclusivo para un escaso número de especies de moluscos (*Illex* sp., *Octopus* sp.).

En una revisión histórica (1950-2000) de todas las actividades extractivas del Río de la Plata y el océano Atlántico de Uruguay se identificaron un total de 60 "métier" (25 artesanales y 35 industriales), con una continuidad variable en el tiempo (desde menos de un año a operación ininterrumpida) y en extensión geográfica: algunos "métier" estaban muy localizados en un área inferior a 10 km^2 y otros muy dispersos en superficies mayores a 80.000 km^2 (Marín *et al*., 2020).

Pesquerías artesanales

Las pesquerías artesanales son las de mayor antigüedad, continuidad y número de embarcaciones, contando varios "métier" con antecedentes de uso desde inicios del siglo XX (Bouyat, 1911). Las unidades de pesca son heterogéneas y abarcan desde recolección manual de almeja amarilla y mejillón azul hasta embarcaciones en el límite superior de las 10 toneladas brutas. Los "métier" localizados en el Río de la Plata han operado tanto desde la playa (dirigidos a la captura de pescadilla de red y sábalo con red de playa)

como en la franja costera hasta 5-7 M de distancia. En el océano Atlántico, donde las condiciones de navegación son más exigentes (por ejemplo, por la altura de olas), se registran las embarcaciones de mayor tamaño y las que más se alejan de la costa (>15 M), así como las actividades dirigidas a la captura de tiburones desde el puerto de La Paloma o Punta del Diablo.

Tabla 1. Resumen de los "métier" artesanales e industriales activos actualmente en el Río de la Plata y el océano Atlántico, con indicación del sector de operación (litoral, costera, plataforma, o talud continental). Se identifica la especie objetivo y su nombre científico, si se trata de una operación que captura una o varias especies (específica, multiespecífica), el arte de pesca y sus características.

Flota	Forma	Región	Zona	Especie objetivo	Sp.	Arte	Tipo arte
Artesanal	Específica	Litoral	O. Atlántico	Almeja amarilla	*Amarilladesma mactroides*	Recolección manual	Pala
Artesanal	Específica	Litoral	O. Atlántico	Mejillón	*Mytilus edulis*	Recolección manual	Cuchara
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Sábalo	*Prochilodus lineatus*	Red enmalle	Fondo
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Corvina	*Micropogonias furnieri*	Palangre	Fondo
Artesanal	Multiespecífica	Costera	Río de la Plata	Corvina	*Micropogonias furnieri*	Red enmalle	Fondo
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Pescadilla red	*Macrodon atricauda*	Red enmalle	Fondo
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Brótola	*Urophycis brasiliensis*	Palangre	Fondo
Artesanal	Multiespecífica	Costera	O. Atlántico	Gatuso	*Mustelus schmitti*	Red enmalle	Fondo
Artesanal	Específica	Costera	O. Atlántico	Tiburones	*Carcharias taurus*	Red enmalle	Fondo
Artesanal	Específica	Costera	O. Atlántico	Camarones	*Pleoticus mulleri*	Red arrastre fondo	Baja apertura
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Anchoa de banco	*Pomatomus saltatrix*	Red enmalle	Fondo/ pelágica
Artesanal	Específica	Costera	Río de la Plata	Brótola	*Urophycis brasiliensis*	Trampas	Fondo
Industrial	Multiespecífica	Costera	Río de la Plata	Corvina	*Micropogonias furnieri*	Red arrastre fondo	Parejas
Industrial	Multiespecífica	Costera	O. Atlántico	Corvina	*Micropogonias furnieri*	Red arrastre fondo	Portones
Industrial	Multiespecífica	Plataforma	O. Atlántico	Merluza	*Merluccius hubbsi*	Red arrastre fondo	Portones
Industrial	Específica	Talud	O. Atlántico	Rouget	*Helicolenus dactylopterus*	Red arrastre fondo	Portones
Industrial	Específica	Talud	O. Atlántico	Merluza negra	*Dissostichus eleginoides*	Palangre	Fondo
Industrial	Específica	Talud	O. Atlántico	Cangrejo rojo	*Chaceon notialis*	Nasa	Fondo
Industrial	Específica	Talud	O. Atlántico	Cherna	*Polyprion americanus*	Palangre	Semipelágico

Actualmente los "métier" activos más importantes (tabla 1) se refieren a la captura de corvina mediante redes de enmalle y palangre, brótola con palangre, sábalo, gatuzo y pescadilla de red con redes de enmalle. Las pesquerías con palangre y redes de enmalle de tiburones de mayor tamaño, trompa de cristal (*Galeorhinus galeus*) y sarda (*Carcharias taurus*) fueron muy importantes en las décadas del cincuenta y ochenta. De algunos "métier" sólo existe información fragmentaria y desactualizada (redes de enmalle pelágicas para lisa y pejerrey), por lo cual se entendió que estaban inactivas y eventualmente se realizaban en forma ocasional.

Figura 7. Las embarcaciones de pesca artesanal de la costa este son las de mayor tamaño entre las artesanales (a) y operan con redes de enmalle (d). Los buques costeros categoría B (b) y de altura categoría A (c) operan con redes de arrastre de fondo (e).

Se encontraron antecedentes de "métier" basados en el uso de artes de arrastre a escasa distancia de la costa, muchos de los cuales fueron clausurados (dirigidos a pescadilla de red, corvina y otras especies). La pesquería de pescadilla de red con red de arrastre de playa fue prohibida en 1980 en las costas de Canelones, Montevideo y Maldonado, al igual que la pesquería en parejas con red de arrastre de fondo. La pesquería con raño desde una embarcación, un arte que consta de una red de arrastre con marco de hierro en su boca, que se utilizaba para la captura de caracol negro, tuvo su mayor actividad en la década del noventa y se encuentra inactiva. Actualmente los "métier" artesanales con artes de arrastre se limitan a un grupo reducido (menos de cinco embarcaciones) que se dirigen a la captura de camarones en la costa atlántica.

Existe poca documentación sobre pesquerías artesanales experimentales (por ejemplo, uso de nasas para brótola y otras especies) y, posiblemente, el número de variantes y configuraciones de artes de pesca que han sido probadas está subestimado. Se han realizado experiencias aisladas con redes trampa fijas (almadrabas) y captura de lenguado conservado vivo en tanques con agua circulante. Otros "métier" poco documentados y parte de la tradición oral son los dirigidos a anchoa de banco (*Pomatomus saltatrix*), pejerrey (*Odontesthes* sp.) o lisa (*Mugil* sp.) con red de enmalle superficial. En particular, desde 2018, la presencia regular de anchoa de banco ha dado lugar a desembarques de hasta 140 toneladas anuales y posiblemente condujo a incorporar modificaciones en el arte de pesca utilizado (redes de enmalle de fondo de mayor altura). Una práctica más extendida es la captura de lacha (*Brevoortia* sp.) como especie alternativa en la pesquería de corvina o de sábalo con redes de enmalle ("lanceo") en el Río de la Plata. No fue posible establecer la regularidad de estas actividades y se estima que son "métier" que se activan en función de la abundancia y el mercado disponible.

Pesquerías industriales

Las pesquerías industriales comenzaron a establecerse a principios del siglo XX y la captura de corvina con red de arrastre de fondo es la más antigua. Esta actividad continuó teniendo un carácter multiespecífico, operando con portones o en parejas en el Río de la Plata, favorecida por el fondo homogéneo y con baja pendiente.

Con la expansión del área de operación se accedió a otras especies de interés comercial, destacándose la merluza común como una de las especies que dieron lugar tempranamente a un nuevo "métier" en la plataforma con red de arrastre de fondo con portones. Hasta la década del sesenta estos fueron los dominantes, tanto en volumen desembarcado como en número de unidades. Algunas estadísticas señalan una alta captura de papamosca en la región, en mayor grado atribuida a flotas extranjeras que pescaron en la plataforma previamente a la definición de la jurisdicción de 200 M de la ZEE. En 1973, con la delimitación de la ZEE y la ZCPAU, las pesquerías contaron con una nueva expansión territorial y comenzaron a ocupar la plataforma y el sector oceánico exterior. Progresivamente se incorporaron las pesquerías de atunes (*Thunnus* sp.), espada (*Xiphias gladius*) y tiburones con palangre pelágico y calamar con

líneas mecanizadas, y se experimentó con diversas especies y métodos.

Las unidades de pesca industriales mostraron un amplio rango de dimensiones (entre 10 y 1.300 toneladas brutas) y un número máximo de 140 unidades en los noventa. Los artes de pesca más utilizados se desarrollaron a partir de variaciones en la configuración y la operación de la red de arrastre de fondo, en menor medida en redes de arrastre pelágicas o semipelágicas y solamente en un "métier" en particular se utilizó una draga mecanizada de fondo para extraer almeja blanca (*Pitar rostratus*). Un número similar de "métier" utilizó diferentes configuraciones de artes de anzuelo para capturar peces y moluscos (calamares). También se emplearon diversas nasas y trampas dirigidas a especies bentónicas; redes de cerco dirigidas a especies pelágicas como bonito (*Sarda sarda*) y anchoíta; y redes de enmalle dirigidas a la captura de lofio (*Lophius gastrophysus*) y angelito (*Squatina* sp.).

A diferencia de los artesanales, muchos de los nuevos "métier" industriales se generaron luego de una fase experimental con pocas unidades, para posteriormente iniciar una explotación comercial o abandonarse. La mayor actividad se registró entre 1990 y 2010. De un total de 35 "métier" industriales identificados desde 1960, 18 lo hicieron comercialmente, pero en la actualidad se encuentran inactivos (pesquerías abiertas pero sin unidades operando) y 9 permanecieron en una fase experimental sin consolidar una actividad comercial sostenida. Actualmente operan 7 "métier" (tabla 1). En el caso de las redes de arrastre de fondo la composición multiespecífica de la captura no permite diferenciar los "métier". Por ejemplo, algunos autores consideran la pesquería de pescadilla de calada como una actividad propia y dirigida a dicha especie; sin embargo, también es parte de la captura habitual de las pesquerías tradicionales de corvina y merluza con red de arrastre de fondo. Una situación similar ocurre con la pesquería de pez espada y tiburones con palangre pelágico (de los géneros *Prionace* y *Carcharhinus*). Normalmente estas especies se encuentran en la captura del palangre pelágico; sin embargo, reforzando con acero partes del arte cercanas al anzuelo aumenta la retención de tiburones o adicionando una luz química y brazoladas más largas puede modificarse la captura del pez espada. De esta manera, una misma actividad, pero con una leve modificación en los componentes del arte de pesca, puede tener un resultado diferente. En la actualidad y desde hace una década no hay en nuestras aguas pesquerías enfocadas a las capturas de tiburones pelágicos.

Zonas de uso

Al igual que los recursos biológicos, el espacio marino es finito y en él se desarrollan múltiples actividades que deben coexistir. Las rutas de transporte marítimo, la generación de energía, la recreación, las comunicaciones y la pesca se superponen en un mismo espacio, muchas veces generando conflictos de uso entre actividades. Las zonas de actividades pesqueras entonces, no siempre coinciden con la distribución de las máximas concentraciones de un recurso, a lo cual se suman medidas de manejo pesquero que limitan el área y son necesarias para alcanzar una explotación sostenible. El área que ocupa cada segmento de la flota es el resultado

de dicha combinación de limitantes, que incluye medidas de manejo pesquero (por ejemplo, vedas para la protección de juveniles o reproductores), normas para disminuir la interacción entre actividades (por ejemplo, canales de navegación), restricciones debido al tipo de fondo, que no permiten el uso de algunos artes de pesca (por ejemplo, zonas rocosas dificultan el arrastre de fondo), y, eventualmente, medidas de conservación que excluyan tipos de actividad que afecten el ecosistema en su conjunto.

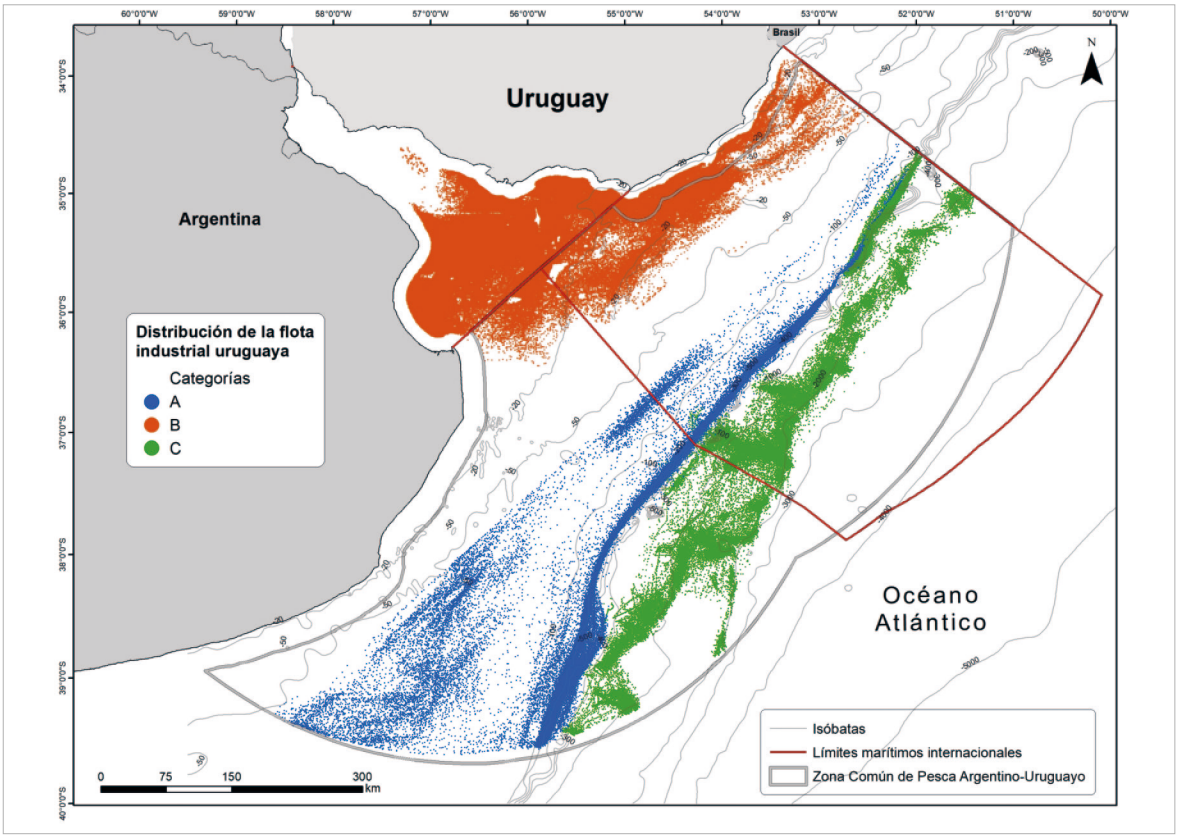


Figura 8. Resumen de la zona de operación de la flota uruguaya entre 2017 y 2022, con identificación de la flota costera dirigida a corvina y pescadilla (categoría B, en rojo), la flota de altura dirigida a merluza y especies acompañantes (categoría A, en azul) y las unidades dirigidas a especies no tradicionales (categoría C, en verde).

Solamente para la actividad pesquera, existe una fragmentación del espacio en varios niveles: las embarcaciones pesqueras de más de 28 m de eslora con alta capacidad de captura en la plataforma, con red de arrastre, no pueden operar en zonas de baja profundidad (zona costera); aquellas de menos de 28 m de eslora no pueden arrastrar en una franja de 5 a 7 M adyacente a la costa, donde, además, operan las embarcaciones artesanales (<13,8 m de eslora); y las embarcaciones artesanales no pueden operar en la desembocadura

de ríos y arroyos o a menos de 300 m de la orilla donde se concentran individuos reproductores y juveniles, o, por ejemplo, se llevan adelante actividades recreativas.

En la flota pesquera industrial uruguaya (>10 TRB)[4] existe una segregación de la flota en función del tipo de embarcación, "métier", especie objetivo, distribución de la especie y medidas de manejo pesquero. La figura 8 muestra el resumen de la operación (acumulado 2017-2021) a través del monitoreo satelital de los buques de la categoría A, dirigida a merluza y fauna acompañante, y la categoría B, dirigida a corvina, pescadilla de calada y especies costeras, todas con red de arrastre de fondo. Las unidades de pesca de la categoría C tienen como objetivo las especies no tradicionales (aquellas diferentes de merluza, corvina y pescadilla) con métodos de pesca diversos y actualmente se limitan a escasas especies en el talud continental (cangrejo rojo, cherna, merluza negra).

Necesidades de manejo y conservación

La riqueza de las aguas y del terreno submarino es un patrimonio que no es sólo propiedad de los pescadores de una época, sino prerrogativa de todas las generaciones venideras (Bouyat, 1911).[5]

4 Hasta el año 2022 se definía la pesca artesanal como aquellas embarcaciones menores de 10 TRB (toneladas de registro bruto) y las embarcaciones industriales a las de más de 10 TRB. A partir del año 2023 se estableció la eslora de 13,8 m como el máximo posible de una embarcación artesanal, pudiendo superar las 10 TRB.

5 André Bouyat fue el primer subdirector del Instituto de Pesca, creado el 21 de setiembre de 1911.

En simultáneo con su uso, la necesidad de conservar la fauna marina y sus ecosistemas ha acompañado las iniciativas de explotación de recursos hidrobiológicos desde sus comienzos, inicialmente con base en un conocimiento empírico o en una ciencia incipiente. La normativa actual abarca un amplio espectro de medidas de manejo pesquero que incluye tallas mínimas de desembarque de más de 20 especies, el establecimiento de áreas y épocas de veda, la prohibición de artes y métodos de pesca, el registro y las autorizaciones o el deber de informar sobre las capturas, hasta medidas adoptadas en conjunto por varios organismos del Estado para asegurar la integridad de los ecosistemas.

Existe una arquitectura compleja que reúne recomendaciones y medidas adoptadas en el ámbito nacional y en tratados internacionales. En este sentido, el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo es particularmente relevante por ser un punto focal en la administración de recursos compartidos con Argentina y un ámbito de discusión e intercambio con base en la mejor ciencia disponible. En el caso de merluza y corvina, recursos tradicionales de Uruguay y de Argentina, se acuerdan cupos y zonas de veda que se revisan anualmente, al igual que sobre diversos grupos de especies explotadas que se han incorporado a la actividad con el tiempo.

Aun en estas condiciones, muchas especies presentan tendencias poblacionales decrecientes y dificultades para mantener niveles de explotación sustentable. Los condrictios son un grupo de especies de vida larga y baja fecundidad objeto de pesquerías específicas, o son parte de la captura acompañante en varias pesquerías artesanales e industriales,

que han requerido planes de acción urgentes, por ejemplo, los casos de guitarra grande (*Pseudobatos horkelii*) (figura 4), gatuzo, sarda (*Carcharias taurus)* o rayas. Varias especies bentónicas han dejado de ser accesibles y no se conoce su estado poblacional (por ejemplo, lenguados, caracol negro) o especies que no son objetivo de ninguna pesquería son afectadas por las operaciones pesqueras u otras actividades antrópicas (por ejemplo, captura incidental de franciscana, tortugas o lobos marinos). En este sentido, el incremento de las actividades antrópicas genera presiones adicionales sobre los recursos y sus ecosistemas, incluyendo el aumento del tráfico marítimo, la búsqueda de fuentes alternativas de energía, la alteración de la línea de costa e incluso actividades derivadas del turismo y la recreación (Marín *et al*., 2021). El ingreso de especies exóticas invasoras se presenta también como un riesgo adicional para algunos recursos, tales como el caracol asiático (*Rapana venosa*) sobre los bancos de mejillón y el alga roja (*Grateloupia turuturu*) sobre los ecosistemas rocosos someros y en especial sobre las algas verdes (*Ulva* sp.).

Con la creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas en el año 2000, se incorporaron varias zonas en las categorías establecidas de conservación con base en sus características particulares. Entre ellas, 7 tienen un componente marino costero en el Río de la Plata (Humedales de Santa Lucía, Parque Nacional Isla de Flores) o en el océano Atlántico (área de manejo de hábitats/especies Laguna Garzón, paisaje protegido Laguna de Rocha, Parque Nacional Cabo Polonio, área de manejo de hábitats/especies Cerro Verde). En su mayor proporción se ubican dentro de la zona de jurisdicción exclusiva en el Río de la Plata (7 M) y mar territorial en el océano Atlántico (12 M). A partir del año 2022 comenzó una discusión interinstitucional sobre la definición de nuevas áreas a proteger en el Río de la Plata y la ZEE uruguaya como resultado del uso creciente del espacio por parte de las actividades antrópicas antes mencionadas. También ha habido propuestas de conservación por parte de la sociedad civil. Recientemente, fueron identificadas 7 nuevas zonas de interés para la conservación por su relevancia en biodiversidad (talud continental), presencia de colonias y especies singulares (Isla de Lobos, colonias de coral), geomorfología y ecosistemas asociados (restingas de pez limón, pozo de fango, bancos de mejillón) y patrimonio cultural (Banco Inglés) (Ministerio de Ambiente, 2022b; véase también el capítulo 2.5 de este libro).

En todos los casos, la adopción de medidas de manejo pesquero, conservación y ordenamiento debe estar acompañada de programas de control y monitoreo, insumos que permiten evaluar la efectividad de dichas medidas y realizar los ajustes necesarios.

Conclusiones

La alta diversidad de especies de nuestras aguas sostiene el uso de muchas de ellas como recursos para satisfacer demandas de todo tipo, desde alimentación directa o materia prima industrial hasta su incorporación en la cultura o como marcador de la identidad local y nacional. Una amplia gama de usuarios participa en el uso de los recursos, desde poblaciones locales en zonas costeras hasta empresas consolidadas que operan en el talud continental.

La existencia de estos recursos dio origen a múltiples métodos para obtenerlos, ya sea por medio de la recolección manual o industrial, y a su vez generó la percepción de que son finitos, valiosos y vulnerables. Esta percepción se tradujo en medidas de manejo y conservación desde inicios del siglo XX, que han acompañado, con mayor o menor éxito, las actividades de explotación de los recursos marinos en el país.

La concepción original de que "… la mina pesquera no se agota jamás…" (De la Vega, 1917) fue chocando sucesivamente con la realidad y se refleja en numerosas pesquerías abandonadas, no evaluadas o sobreexplotadas, factores que se suman a los cambios en las necesidades y en el ambiente, y a las oscilaciones de los mercados nacionales e internacionales. En efecto, muchos recursos han desaparecido o su extracción ya no es rentable, y en ello convergen múltiples causas, incluyendo la actividad pesquera. La actividad antrópica en el litoral y la zona costera ha modificado la línea de costa, agregado descargas de aguas urbanas, agropecuarias o industriales, alterado la composición y la circulación de sedimentos y nutrientes, e introducido nuevas fuentes de estrés en las comunidades biológicas (sonido, iluminación, especies invasoras). Todo lo anterior ha generado cambios en el hábitat y en la distribución y la abundancia de muchas especies. Sin embargo, muchas pesquerías han podido persistir a lo largo de décadas. La pesquería de corvina es una de las especies tradicionales que se inició a fines del siglo XIX y persiste hasta hoy, al igual que la de cangrejo rojo, que se inició en la década del ochenta sobre una especie de magnitud más limitada y en condiciones más exigentes (>800 m de profundidad).

La existencia de recursos no explotados (por ejemplo, la anchoíta) y la aparición de nuevos recursos en el área (como el pulpo) o con mayor abundancia (como la anchoa de banco) amplían la gama del potencial disponible, para lo cual es imperioso generar una interfaz eficiente entre producción, investigación, manejo y conservación.

El acceso a nuevos recursos y la administración de aquellos mejor conocidos reposa en un lento proceso de acumulación de conocimientos que requiere una inversión relevante en ciencia y tecnología. Tanto la operación de buques de investigación como el mantenimiento de colecciones, el análisis de datos y la formación de personal especializado suponen una inversión necesaria y a largo plazo que no siempre ha ocupado el lugar estratégico que debería asignársele. Este constituye aún un desafío para las generaciones actuales y futuras que Uruguay debe priorizar.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Marín, Y., O. Defeo, S. Horta, J. Chocca y N. Beretta, 2024, Recursos pesqueros marinos en Uruguay: situación actual y perspectivas, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 253-277, doi: 10.70952/a8827tmuc3-3

Capítulo 3.4
Energías renovables costa afuera

Parque eólico marino Fryslan en el norte de Países Bajos, comprende 89 aerogeneradores de 4,3 MW. Fotografía de Pablo Gristo Savornin.

Capítulo 3.4
Energías renovables costa afuera

Lucila Arboleya Sarazola[1] y Pablo González Gascón y Marín[2]

[1] *Economista especialista en energía*

[2] *Ingeniero industrial, especialista en energía*

Introducción: estado actual

Las energías renovables han tenido un enorme crecimiento en los últimos años, pasando de una capacidad global instalada de alrededor de 1.340 GW en el año 2010 a 3.280 GW en 2021. Las renovables representaban un cuarto de la capacidad instalada mundial de electricidad en 2010, pero llegaron a 40% en 2021.

La capacidad de generación hidráulica sigue siendo la más importante dentro de las renovables, pero su proporción ha ido bajando en los últimos años. Representaba tres cuartos de la capacidad instalada mundial en 2010, comparado con 40% en 2021. Por el contrario, la generación solar y eólica fueron las tecnologías que ganaron espacio. Cada una tiene una porción de alrededor de un cuarto de la matriz eléctrica mundial, contra 3% hace una década en el caso de la solar o 13% en el caso de le eólica.

América Latina tiene un sector eléctrico muy renovable desde hace años. Por ejemplo, alberga un 6% de la capacidad eléctrica global pero alrededor de un 10% de la capacidad renovable del mundo. Ha concentrado su capacidad en hidráulica, aunque la capacidad renovable no hidráulica se quintuplicó en la última década, mientras que la hidráulica subió un 30%. La eólica y la solar fotovoltaica lideraron este aumento, y Uruguay fue de los países pioneros en la región en esta transformación, agregando cerca de 1,5 GW de eólica y alrededor de 0,25 GW de solar en la última década.

Una característica de los años más recientes es que las energías renovables costa afuera (u *offshore*) han comenzado a tener mayor importancia, en particular la eólica marina. Si bien esta todavía representa una porción minoritaria, su desarrollo se ha acelerado considerablemente. Por ejemplo, de los 830 GW de capacidad eólica instalada en 2021, el 93% corresponden a eólica en tierra y sólo el 7% restante a eólica marina, según la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés). Más de un quinto del crecimiento anual de la capacidad eólica instalada en 2021 (94 GW) fue constituido por sistemas de eólica marina, "el más alto de la historia y tres veces el promedio de los cinco años anteriores" (IEA, 2022a). La IEA también destaca que mientras que la tecnología terrestre está presente en 115 países del mundo, la marina lo está sólo en 19. Sin embargo, las mejoras en la tecnología, la reducción de costos y las políticas públicas en favor de la eólica marina ponen a esta tecnología en un escenario de alto crecimiento en los próximos años.

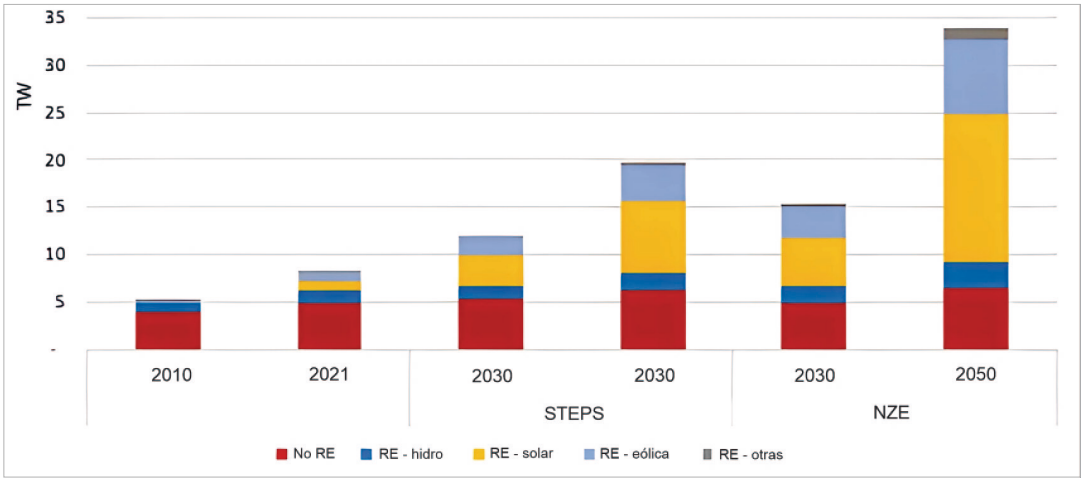


Figura 1: Evolución global de las energías renovables. Fuente: IEA (2022c). Notas: RE = renovable. No renovable incluye nuclear, combustibles fusiles, almacenamiento e hidrógeno y amoníaco. STEPS = stated policies scenario *(escenario que considera las políticas de energía existentes, aunque sin asumir que los países pondrán en práctica todas las políticas, como las contribuciones nacionales determinadas, de forma efectiva); NZE =* net zero emissions scenario *(escenario donde el sector energético global logra cero emisiones netas de CO_2 a 2050).*

Principales tecnologías renovables costa afuera

Las tres principales tecnologías renovables costa afuera son la eólica marina, la solar flotante y la oceánica, o de mareas. La eólica marina es al día de hoy la más desarrollada (en términos de capacidad instalada) y la oceánica es la menos desarrollada. Los estudios de perspectiva también muestran a la eólica marina como la tecnología de mayor crecimiento en las próximas dos o tres décadas, aunque la solar flotante cuenta con buenas proyecciones de crecimiento en zonas o países específicos, como algunos países del sudeste asiático, donde el potencial eólico es bajo y la topografía permite el desarrollo de solar flotante. Indonesia, por ejemplo, está construyendo una planta de energía solar flotante de 145 MW de capacidad, un proyecto sobre el embalse de la represa Cirata, al oeste de Java.

Eólica marina

Consta de aerogeneradores instalados mar adentro, donde se logran mayores factores de capacidad y conexiones hacia los puntos de demanda en tierra por líneas de transmisión de alto voltaje. Los dos tipos de instalaciones más comunes son los parques con aerogeneradores fijos y flotantes: la eólica marina fija se basa en aerogeneradores de gran potencia instalados mar adentro, "con fundaciones generalmente de tipo trípode, monopilote o 'jacket' (estructura de acero de cuatro piernas conectadas con tirantes)" y la eólica marina flotante se basa en aerogeneradores sobre estructuras flotantes que se estabilizan mediante amarres y anclajes, y por la forma en que el diseño de la estructura distribuye las masas y los pesos (Álvarez *et al.*, 2022). Los parques flotantes en general están instalados a mayor profundidad y distancia de la costa que los aerogeneradores fijos.

Solar flotante

Se basa en paneles solares fotovoltaicos instalados sobre masas de agua, en general masas de agua relativamente calmas, como lagos. Por esta razón, y por la complementariedad con el recurso hidráulico, muchos proyectos de solar flotante se hacen sobre embalses de represas. La solar flotante específicamente en el mar (y no en superficies de agua en el interior del país, como en ríos) es un pequeño subgrupo.

Oceánica

Es una forma de energía renovable que utiliza la marea como fuente de energía. Una forma de explotar el recurso es mediante la colocación de boyas en el mar que capturan el movimiento de las olas. La capacidad de generación eléctrica depende, en gran medida, de la altura y la velocidad de las olas. La oceánica es una tecnología todavía bastante incipiente.

A continuación, nos enfocamos en la energía eólica marina, por ser la tecnología más desarrollada al día de hoy, tener la mayor perspectiva de crecimiento y ser, también, la que tendría mayor crecimiento esperado en Uruguay.

Foco en energía eólica marina

Europa lideró el inicio del desarrollo de esta tecnología. A 2018, por ejemplo, el Reino Unido y Alemania tenían la mayor flota de eólica marina en operación, cerca de 8 GW y 6,5 GW, respectivamente. Dinamarca, un país precursor de esta tecnología, tenía una menor capacidad, menos de 1,5 GW, pero una mayor porción de su generación eléctrica total dependía de esta tecnología: un 15% en 2018 (IEA, 2019). A fines de 2022 en Europa había instalados 30 GW de eólica marítima (Wind Europe, 2023).

Sin embargo, China también ha instalado niveles récord de eólica marina en los últimos años. El país pasó de tener alrededor de 3,6 GW en operación en 2018 a alrededor de 29 GW en el primer semestre de 2023 (WFO, 2023). La capacidad instalada anual en 2021 fue cuatro veces mayor a la instalada en 2020 en China, dada una baja de subsidios nacionales que terminó a fines de 2021 y aceleró las instalaciones ese año. Si bien se espera una menor capacidad instalada anual en 2022 respecto a 2021, todavía sería mayor que en 2020 según la IEA, que estima que "China tenga la mayor capacidad instalada de eólica marina acumulada a nivel mundial [en 2022], superando a la Unión Europea y el Reino Unido combinados".

Una característica destacada de los sistemas de eólica marina es que logran factores de capacidad muy altos, muy por encima de la solar y mayores que los de la eólica en tierra. El factor de capacidad promedio de la eólica marina en 2018 era de 33%, comparado con 25% de la eólica en tierra o 14% de la solar fotovoltaica (IEA, 2019). Las mejoras en la tecnología permiten hoy tener sistemas con factores de capacidad de 40%, o incluso mayor a 50%. Por ejemplo, el parque eólico marino Hywind Scotland en el Reino Unido "logró un [factor de capacidad de] 57,1% en los doce meses hasta marzo de 2020" (Energy Numbers, 2022). En Brasil, un país con enorme potencial de eólica marina, se estima que los factores de capacidad podrían superar

el 60% (Schlittler, 2022). Además, la eólica marina tiene una variabilidad horaria menor que otras renovables, como la solar fotovoltaica. Estas características hacen que la eólica marina tenga un buen valor para el sistema eléctrico y, combinadas con una reducción de costos de proyectos y políticas en apoyo a esta tecnología, permiten que esta tecnología sea cada vez más competitiva en el mundo.

De la mano de mayores instalaciones, la inversión en eólica marina ha ido creciendo en los últimos años. La IEA estima que, en 2021, año récord de instalaciones de capacidad marina, la inversión total fue de USD 40.000 millones (IEA, 2022b), en comparación con menos de USD 8.000 millones en 2010 (IEA, 2019). Como se mencionó anteriormente, el fin de los subsidios en China (otorgados a proyectos que entraban en operación antes del final del año 2021) fue un gran incentivo para conectar nuevos parques eólicos mar adentro. En segundo lugar, Europa continúa siendo un importante destino de nuevas instalaciones, región que también está apoyando esta tecnología.

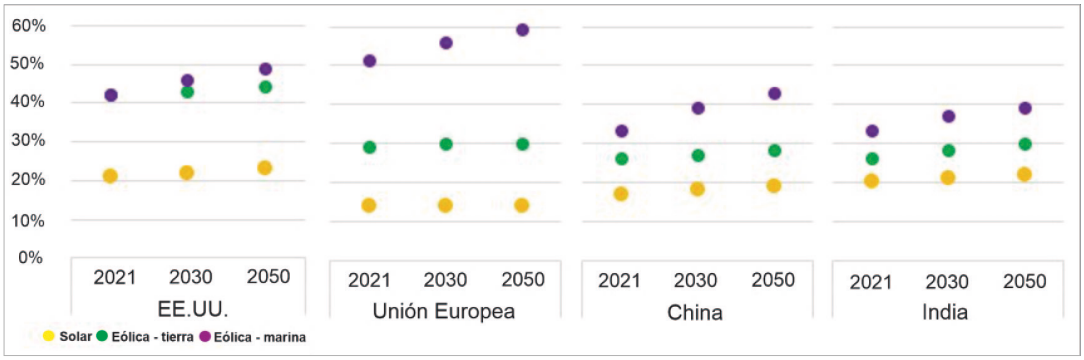


Figura 2: Factores de capacidad, por país/región y año. Fuente: IEA (2022c).

La tecnología eólica marina ha evolucionado significativamente en la última década, con bajadas importantes en costes y aumentos significativos en factores de capacidad. La innovación tecnológica se ha centrado en el aumento del tamaño de las turbinas eólicas y de sus componentes: palas, torres y generadores. Cuanto más grande es el diámetro de barrido de las palas, mayor es la altura alcanzada por el aerogenerador y mayor es la probabilidad de producir en regímenes de viento menores. Además, se produce un aumento de la potencia de cada aerogenerador, reduciéndose así los costes de producción por economías de escala y ganando eficiencia en la operación y mantenimiento de un menor número de aerogeneradores.

La innovación tecnológica también ha permitido el desarrollo de nuevas configuraciones, como las góndolas de tipo *direct drive* (en vez del tipo *gearbox*), que se basan en el uso de imanes permanentes y que reducen significativamente el tamaño de la góndola, disminuyendo así el peso estructural a soportar por los pilares del aerogenerador. Cabe destacar que estos imanes necesitan de tierras raras, como el neodimio o el disprosio,

y que la cadena de suministro de estos materiales está mayoritariamente controlada por China (Williams y Zhao, 2023).

El costo de inversión promedio de un parque eólico *offshore* se ha reducido más de un 40%, de €/MWh 4.876 en 2010 a €/MWh 2.858 en 2021. Tomando a Europa de referencia, por ser un mercado maduro y con recorrido, los nuevos parques han tenido ganancias de factor de capacidad de entre 5 y 20%, pasando de rangos de entre 36 y 44% en 2010 a valores entre 40 y 50% en 2021. Asimismo, se han conseguido reducciones del coste de operación de mantenimiento de más de 30% entre 2010 y 2020, situándose estos costes entre los 17 y 30 €/MWh en 2021.

Estos menores costes y los altos factores de capacidad han logrado costos nivelados de electricidad muy competitivos. Por ejemplo, en julio de 2022 el Reino Unido licitó cuatro rondas de capacidad de energía renovables, donde la tercera fue dedicada exclusivamente a energía eólica marina. Esta ronda adjudicó

> … cinco proyectos con una capacidad total de cerca de 7GW, aumentando la capacidad eólica marina total construida y en construcción del país en un 35 % y dando un gran paso hacia el cumplimiento del objetivo de 50GW instalados de eólica marina a 2030. (Wind Europe, 2022)

Los precios de las licitaciones llegaron a un precio medio récord de 37,35 GBP(2012)/MWh, indexado a la inflación, por debajo de los 39,65 GBP(2012)/MWh obtenidos en licitaciones anteriores. En febrero de 2022 también se licitó lo que es hasta ahora la mayor área para eólica marina en Estados Unidos, en línea con el nuevo objetivo de instalar 30 GW de eólica marina a 2030 (Aljazeera, 2022) —partiendo de cantidades instaladas muy bajas hoy en Estados Unidos (había sólo dos parques en operación a finales de 2021)—.

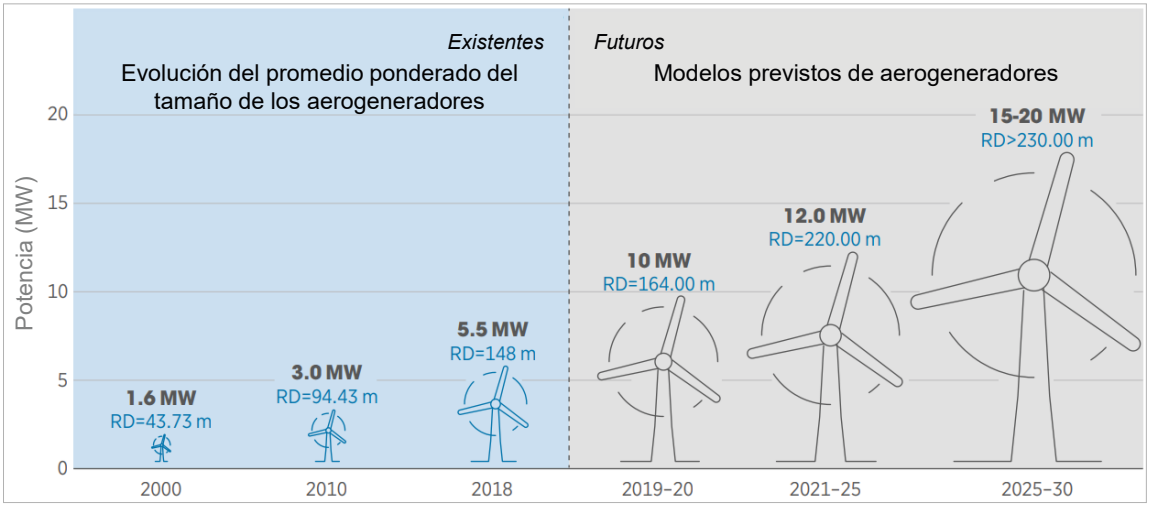


Figura 3: Evolución del tamaño promedio de turbinas de eólica marina, existentes y esperadas a 2030. Fuente: IRENA (2019).

Tabla 1: Principales empresas del sector, 2018. Notas: DOO = developer, owner and operator (desarrollador, dueño y operador). La porción del mercado (market share) ajustada en función del nivel de capital propio de las empresas en los proyectos específicos. Fuente: IEA (2019).

Organización	Principales actividades	Assets (GW) En operación	En construcción	En desarrollo	Participación en el mercado (%)	Sede	Propiedad
Ørsted	DOO	2,97	2,79	5,23	12,86	Dinamarca	Privada
RWE	DOO	2,41	0,51	1,83	1,83	Alemania	Privada
China Logyuan	DOO	1,23	0,40	1,00	5,34	China	Pública
Vattenfall	DOO	0,88	1,01	4,92	3,82	Suecia	Pública
Macquaire Capital	Inversor	0,87	0,07	0,10	3,78	Australia	Privada
Northland Power	DOO	0,64	0,27	0,63	2,78	Canada	Pública
Global Infrastructure Partners	Inversor	0,63	0,61	-	2,73	Estados Unidos	Privada
Iberdrola	DOO	0,55	0,97	0,81	2,36	España	Privada
Equinor	DOO	0,48	-	2,17	2,10	Noruega	Pública
Siemens Financial	Inversor	0,46	-	-	1,98	Alemania	Privada
Fondos Pensión	Inversor	0,45	-	-	1,97	Dinamarca	Pública
Electricité France	DOO	0,43	-	1,67	1,85	Francia	Pública
Stadwerke Munchen	Inversor	0,41	-	-	1,79	Alemania	Pública
China Three Gorges	DOO	0,40	0,88	6,87	1,74	China	Pública
Scottish and Southern Energy	DOO	0,34	0,24	0,52	1,49	Reino Unido	Pública

Las principales empresas desarrolladoras y operadoras de proyectos eólicos marinos son empresas eléctricas y fondos de inversión (tabla 1). En general son empresas con experiencia en el sector energético y además con experiencia en proyectos renovables y proyectos de gran escala. Un proyecto promedio de eólica marina es de mayor capacidad que un proyecto promedio de eólica en tierra o solar y, a su vez, de mayor costo (dado que el costo por kW de la eólica marina es mayor). Las empresas de electricidad, como Ørsted de Dinamarca, han estado también a la cabeza del desarrollo de este tipo de proyectos por su conocimiento y experiencia en el sector de redes, dado que muchos proyectos de eólica marina incluyen la construcción de líneas de transmisión de alta tensión. Ørsted, por ejemplo, ganó y obtuvo un permiso en la reciente licitación de Reino Unido para una planta de casi 2,9 GW de eólica marina.

Las empresas de petróleo y gas también han comenzado a invertir en el sector, donde los proyectos de eólica marina constituyen la mayor parte de su inversión en tecnologías limpias. Si bien la inversión de estas empresas todavía es muy pequeña, alrededor de un 5% de su inversión total, los montos han ido en aumento (IEA, 2022a). Estas empresas tienen una amplia experiencia en el desarrollo y operación de plataformas petrolíferas *offshore*, lo que les podría dar importantes ventajas competitivas a la hora de desarrollar parques eólicos flotantes.

La construcción y manufactura de parques eólicos es una industria muy concentrada, con apenas cinco empresas que controlan más de tres cuartos del mercado fuera de China. En el caso de la eólica marina, Siemens Gamesa y Vestas han construido más del 90% de la capacidad eólica marina de los últimos ocho años fuera de China. Sin embargo, el entorno macroeconómico en 2021 y 2022, con importantes presiones inflacionistas y disrupciones en la cadena de suministro, ha llevado a que estas empresas —especialmente las europeas— hayan terminado con márgenes negativos en 2021 y 2022. Por lo pronto, las empresas de manufactura chinas han tenido mejor *performance* financiera (IEA, 2023).

Las formas de financiamiento de proyectos eólicos marinos son mayoritariamente dos: como inversiones directas de las empresas (*on-balance sheet financing*) o por la vía de estructuras específicas, como *project finance* (*off-balance sheet financing*). Dado el nivel de inversión de los proyectos —que a veces llegan a USD 1.000 millones, o más—, muchos proyectos se realizan también por la vía de *joint ventures* (JV), es decir, conjuntos de empresas. Por ejemplo, uno de los bloques licitados en Estados Unidos en 2022 lo ganó un *holding* constituido por las empresas de energía RWE de Alemania y National Grid del Reino Unido. Otro bloque lo ganó un JV entre la empresa de petróleo y gas Shell y la empresa eléctrica francesa EDF, mientras que la portuguesa EDP Renewables y la francesa Engie obtuvieron un tercer bloque (McCormick, 2022).

También empieza a haber más ejemplos de refinanciamiento, donde los inversores que pusieron el capital inicial venden parte de sus acciones, generalmente luego de que la operación está en marcha y cuando el riesgo de construcción ha bajado. Por ejemplo, la empresa eléctrica española Iberdrola ha

acordado vender un 49% de las acciones del proyecto eólico marino Wikinger, de 350 MW instalados en operación en el Mar Báltico desde 2018. Iberdrola mantendrá la operación y el mantenimiento del proyecto, pero esta venta de capital le permite hacer nuevas inversiones en otras regiones (El País, 2022). Ørsted, por su parte, venderá la mitad de su capital accionario en el proyecto de 1,3 GW Hornsea 2 (el mayor proyecto eólico marino en construcción) a un consorcio de inversores, una vez que el proyecto entre en operación (Radowitz, 2022).

La mayoría de estas licitaciones son para contratos de largo plazo a cambio de una cierta cantidad de electricidad (*power purchase aggreement* o PPA). El inversor generalmente no toma mucho riesgo de demanda o volumen, o si lo hace es sobre todo en los últimos años de la vida útil del proyecto (por ejemplo, los contratos tienden a ser por 20 años, mientras que la vida útil es de al menos 25-30 años). En el caso del Reino Unido, los contratos, que se conocen como *contracts for differences* (CfD) o contratos por diferencias, tienen topeado el máximo del precio a pagar o el mínimo (*one-sided CfD*), o ambos. Además, estos contratos suelen tener menos riesgo regulatorio que otros esquemas, puesto que garantizan un precio fijo para el consumidor, que se cubre frente a posibles subidas en el coste de la electricidad. Por ejemplo, los proyectos *merchant* han sufrido impuestos adicionales en 2022 en países europeos como España, Reino Unido o Italia, acusados de recibir "beneficios caídos del cielo" ante la extrema situación energética en el continente, donde los precios de electricidad se han más que triplicado en apenas dos años tras la invasión de Ucrania por parte de Rusia.

Por otro lado, los contratos CfD y los PPA permiten minimizar el riesgo de precio para el desarrollador del parque, que puede sufrir por el efecto de apuntamiento o canibalización. Este efecto se produce en sistemas de alta penetración renovable, donde la producción simultánea de parques renovables da lugar a bajos precios, reduciéndose así la potencial remuneración de un parque *merchant*.

Finalmente, estos contratos tienen también riesgo de contrapartida (u *offtaker*, como se lo conoce en la industria), dependiendo así de la calificación crediticia de la entidad con la que se firma, ya sea pública o privada.

Uno de los retos más importantes de la descarbonización del sector eléctrico es la integración de las energías renovables intermitentes en el sistema, sin comprometer su seguridad de suministro ni su viabilidad económica. Las tecnologías que aportan flexibilidad y firmeza, como el almacenamiento, las redes y las energías limpias despachables, juegan un papel vital en estas funciones. Sin embargo, la complementariedad de distintas tecnologías renovables puede ayudar considerablemente a reducir las necesidades de inversión en tecnologías firmes. En este sentido, la energía eólica marina se complementa muy bien con la energía solar fotovoltaica, ya que tienen perfiles de producción suplementarios.

Como se observa en la figura 4, en Alemania la energía solar fotovoltaica tiene su pico de producción en las horas centrales del día y en los meses centrales del año. Sin embargo, la eólica marina tiende a producir más por la tarde y la noche y en los meses de invierno,

cuando hay menor producción solar. Un sistema que tiene una combinación equilibrada de estas dos tecnologías reduce significativamente las necesidades de proveer de flexibilidad y firmeza adicional, frente a un *mix* en el que sólo se apueste por una de las tecnologías.

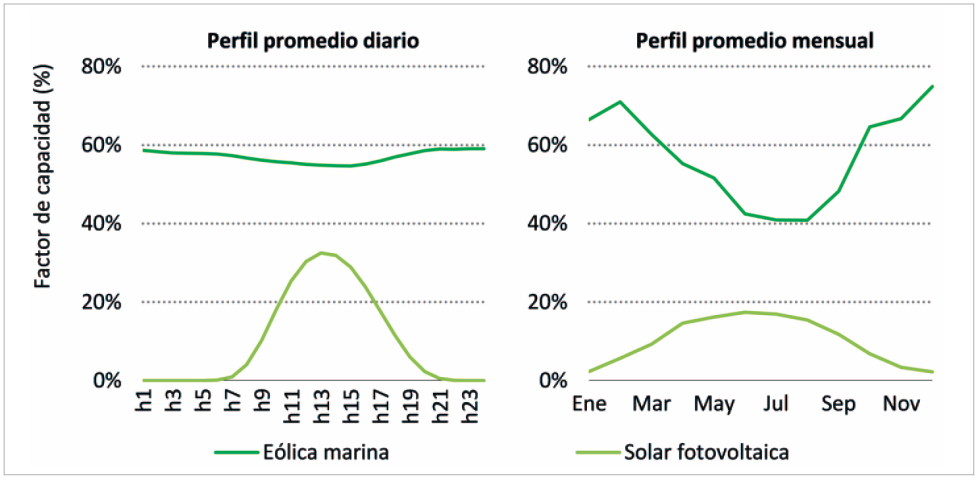


Figura 4: Perfiles de producción promedio de la eólica marina y la solar fotovoltaica en Alemania, 2015-2019. Fuente: ENTSOE Transparency Platform (2023).

Proyecciones a futuro

Las proyecciones globales de las energías renovables costa afuera son alentadoras, con particular crecimiento esperado para la energía eólica marina. La IEA estima que la capacidad instalada de energía eólica marina podría crecer en más de cinco veces durante la próxima década, llegando a unos 190 GW en 2030 y de ahí duplicándose al final de la siguiente década, alcanzando 380 GW en 2040 (tabla 2). Esto vendría de la mano de reducciones en el costo de instalación de equipos y mejoras en los factores de capacidad (dadas las mejoras tecnológicas, mayor experiencia y *know-how*, etc.). La IEA estima que los costos por kW instalado podrían bajar entre 30 y 55% aproximadamente a 2040, pasando de 3.480 USD/kW en 2020 a 1.000-1.972 USD/kW.

Estas ganancias en costos de inversión y factores de capacidad hacen que el coste nivelado de la eólica marina mejore notablemente. Es cierto que estos valores siguen siendo aún mayores que los de la eólica *onshore* y la solar fotovoltaica, pero, dada la situación de precios actual, estos proyectos tienen un valor muy alto en entornos de incertidumbre y escasez energética.

Otro factor que alienta el crecimiento de la eólica marina es el hecho de que la tierra se ha vuelto un recurso menos disponible y más caro, limitando potencialmente el crecimiento de la eólica en tierra. Además, las instalaciones en tierra "compiten" con la agricultura para la producción de alimentos u otros combustibles de bajas emisiones, un potencial factor de riesgo a futuro para algunas tecnologías que requieren grandes superficies terrestres.

Tabla 2: Perspectivas globales de crecimiento de eólica marina, 2020-2040. Fuente: Álvarez et al. *(2022), con base en IEA (2021). [(1)]: Rango según i) costos de inversión promedio en la Unión Europea (punto medio entre costos en Estados Unidos y China), por escenario STEPS. Anexo B.4 (IEA, 2021), la proyección a 2040 se estima usando el valor de 2050, y ii) IEA (2019).*

	2020	2030 (proyectado)	2040 (proyectado)
Capacidad instalada	34,5 GW	~190GW	~380 GW
Costo de inversión[(1)]	3,480 USD/kW	1,500-2,260 USD/kW	1,000-1,972 USD/kW
Costos operativos	90 USD/kW	60 USD/kW	50 USD/kW

Por último, otra palanca de crecimiento de la eólica marina es la perspectiva de crecimiento del hidrógeno verde, es decir, el hidrógeno —u otros combustibles derivados del hidrógeno, como el amoníaco— producidos a través de energías renovables. Esto es especialmente importante dado que el hidrógeno es un vector energético que puede jugar un rol fundamental en la descarbonización de las economías, permitiendo cumplir con los objetivos NZE. Por ejemplo, el REPowerEU Plan, publicado en mayo de 2022 por la Comisión Europea, establece que

> El hidrógeno renovable será clave para reemplazar el gas natural, el carbón y el petróleo en industrias y medios de transporte que son difíciles de descarbonizar. REPowerEU establece un objetivo de 10 millones de toneladas de producción doméstica de hidrógeno verde y 10 millones de toneladas de importaciones de hidrógeno verde para 2030. (Comisión Europea, 2022)

Una gran parte de este hidrógeno verde será producido por parques eólicos marinos. De hecho, Bélgica, Dinamarca, Alemania y los Países Bajos se han comprometido, en la declaración de Esbjerg, a instalar al menos 65 GW de energía eólica marina y alrededor de 20 GW de hidrógeno verde a 2030.

De la mano de compromisos y planes más claros de los gobiernos, empiezan a aparecer más proyectos privados y estrategias de empresas que incluyen objetivos para el hidrógeno. La inversión anual en hidrógeno verde todavía es baja, estimada en alrededor de USD 500 millones en 2021, pero

> … se necesitarían alrededor de USD 600.000 millones de inversión acumulada a 2030 para suministrar las 15 toneladas métricas adicionales de hidrógeno para cumplir con el objetivo del plan REPowerEU, con el 60% de esta inversión en infraestructura fuera de la Unión Europea. (IEA, 2022a)

Por ejemplo, la empresa de petróleo y gas Shell está comenzando a construir un proyecto de hidrógeno verde, a partir de eólica marina, que sería el más grande de Europa. El proyecto incluye un electrolizador de 200 MW, ubicado en Tweede Maasvlakte, en el puerto de Rotterdam, y producirá hasta 60.000 kilogramos de hidrógeno verde por día, a partir de un parque eólico marino (Hollandse Kust), que es en parte propiedad de Shell (Shell, 2022b).

El crecimiento esperado de la tecnología solar flotante (en el mar) y la energía oceánica es mucho menor al de la eólica marina, pero sí se espera que ambas tecnologías tengan mayor capacidad instalada en la medida que ambas tecnologías mejoran, los precios se vuelven más competitivos y la demanda eléctrica

global crece en las próximas décadas. Es difícil encontrar proyecciones específicas para estos dos casos —donde, además, la solar flotante en el mar es una parte de la solar flotante total (que puede colocarse en estructuras en otras superficies de agua como lagos o ríos)—, pero algunas estimaciones sugieren que la solar flotante, por ejemplo, podría casi triplicarse en términos de capacidad instalada a 2030 y aumentar casi diez veces a 2040, desde unos 2,6 GW instalados en el mundo en 2020.

Desafíos para el desarrollo: foco en eólica marina

Más allá de las buenas perspectivas, la instalación de proyectos de infraestructura tiene riesgos asociados. Los parques de eólica marina son grandes proyectos de infraestructura que demandan mucha logística e importación de equipos, instalación de equipos generadores y líneas de transmisión a varios kilómetros de la costa, y mucho *know-how* y mano de obra especializada. La forma en que los gobiernos definen las reglas del juego para la inversión es clave para asegurar que el financiamiento —en particular la inversión privada— fluya en tiempo y forma correcta.

La tabla 3 resume los principales riesgos asociados a la puesta en operación de proyectos de eólica marina. Por ejemplo, cada vez más los inversores destacan la dificultad para obtener los permisos necesarios para la puesta en operación de parques eólicos (permisos para construir, permisos ambientales, etc.), lo que demora los tiempos de instalación y, a la vez, compromete la habilidad de los países de cumplir con sus compromisos. En agosto de 2022, el ministro de Energía de Dinamarca pidió mayor esfuerzo de los gobiernos europeos "para facilitar el proceso de aprobación de proyectos de energía renovable en medio de la creciente presión para que se diversifiquen y se alejen de los combustibles fósiles rusos" (Hancock, 2022). Según WindEurope, la Cámara de Industria Eólica europea indicó que, dadas las actuales condiciones (demoras de permisos, suba de precios dada la crisis energética, etc.),

> … los desarrolladores podrían construir solo 18 GW de capacidad eólica por año entre 2022 y 2026, muy por debajo de los 37 GW anuales que se necesitarían para cumplir con el objetivo de la Unión Europea de 45% de energía renovable a 2030.

Al tratarse de una tecnología muy intensiva en capital, la volatilidad en el precio de las materias primas, contratiempos en las cadenas de suministro y cambios en las condiciones de financiación pueden influir negativamente en la viabilidad económica de los proyectos de eólica marina. Estos efectos causaron grandes inconvenientes en la situación financiera de las mayores empresas manufactureras de energía eólica tras la pandemia de COVID-19 y la invasión de Ucrania por parte de Rusia. Como ilustración, Vestas, Siemens Gamesa, General Electric y Nordex, que entregaron más de las tres cuartas partes del mercado fuera de China en 2021, presentaron márgenes de beneficio negativos y flujos de caja negativos para la primera mitad de 2022.

La operación de parques eólicos marinos también tiene riesgos asociados, pero la mayoría de los riesgos, que pueden devenir en importantes demoras o sobrecostos, se acumulan antes de la puesta en operación.

Tabla 3: Descripción de riesgos asociados a la puesta en marcha de proyectos de eólica marina

Categoría de riesgo	Descripción del riesgo
Regulatorio	Marco regulatorio poco claro o incompleto, lo que hace difícil definir el potencial impacto y el costo asociado del riesgo. Un aspecto clave para lograr financiación es la definición del precio (monto, condiciones, excepciones) en el marco regulatorio o contrato.
Obtención de permisos	Demoras y sobrecostos asociados a la obtención de permisos y licencias necesarias para la puesta en marcha del proyecto (por ejemplo, permisos de operación, permisos ambientales, etc.).
Puesta en marcha de líneas de transmisión	Las líneas de transmisión asociadas a los proyectos de eólica marina pueden ser financiadas por el sector público (que se compromete a tenerlas en operación en cierta fecha) o el sector privado (como parte del proyecto eólico). En cualquier caso, demoras en la construcción y la obtención de permisos de estas líneas son muchas veces un gran impedimento para cumplir con los tiempos estipulados para la puesta a punto de proyectos eólicos marinos (por ejemplo, puede que el proyecto de generación esté terminado pero la línea de transmisión no, lo que demora el acceso a dicha generación).
Contaminación visual	Descontento de ciudadanos, gobiernos locales o grupos comerciales (por ejemplo, turísticos) por la distorsión que los aerogeneradores pueden producir en el paisaje.
Poco apoyo de localidades	Falta de apoyo o inclusive rechazo activo al proyecto (por ejemplo, manifestaciones en contra) de ciudadanos, gobiernos locales o grupos comerciales.
Impacto ambiental	Potenciales impactos negativos en pesca, fauna y flora marina. Potencial alteración de los fondos marinos.
Problemas en cadenas de suministro	Los proyectos de eólica marina requieren una compleja logística que combina importación de equipos o partes, construcción local (en tierra) y construcción mar adentro del parque aerogenerador y línea de transmisión bajo el mar. Esto conlleva varios riesgos de demoras y sobrecostos para obtener los equipos o minerales críticos (un riesgo que se materializó en 2020 con la pandemia de COVID-19, pero también en 2021 y 2022 con los problemas de suministro agravados por la guerra en Ucrania y las políticas de COVID 0 de China). Por otra parte, la falta de *know-how*, la dificultad para obtener personal calificado o el aumento en salarios también pueden ser riesgos que generan sobrecostos o demoras en la puesta en marcha del proyecto.
Concentración en la manufactura de componentes	El 80% del mercado fuera de China está abastecido por sólo 4 empresas.

Potencial en Uruguay

Uruguay es reconocido en el mundo por haber transformado su matriz eléctrica, que logró abastecer de energías renovables en 97% entre 2017 y 2020, por ejemplo (Ferragut *et al.*, 2022), promedio extremadamente alto. Este avance es lo que a veces se conoce como la primera etapa de la descarbonización — reducción de las emisiones asociadas a la matriz eléctrica—. La segunda etapa es la reducción de emisiones de otros sectores, como el transporte y la industria. Es en esta segunda etapa donde el hidrógeno, o combustibles derivados de él, puede jugar un rol importante: es un combustible alternativo que tiene muchos usos (transporte, almacenamiento, usos industriales, etc.) y que podría producirse tanto para uso doméstico como para exportación.

Si bien el hidrógeno es un elemento muy abundante en la naturaleza, tiende a estar asociado con otros, por eso para obtenerlo primero hay que aplicar un proceso para separarlo, como la electrólisis, para separar el H_2 del agua (H_2O). Esto se puede realizar utilizando combustibles fósiles (producción en general conocida como "H_2 gris") o utilizando energías renovables (llamada "H_2 verde"). Hay otras alternativas, con una gama de "colores" del hidrógeno, pero estas dos son las más conocidas.

El H_2 —o combustibles gaseosos— puede ser transportado de varias formas:

- En estado gaseoso, vía ductos.
- En estado líquido, vía barcos.
- En otro tipo de moléculas, etc.

En la actualidad, la mayoría del H_2 producido es consumido *in situ* o localmente, pero el gran potencial del H_2 verde es su multiplicidad de usos y el hecho de que puede ser comercializado más fácilmente que la electricidad de fuentes renovables, por ejemplo. Los distintos tipos de transporte tienen sus ventajas y desafíos: el transporte vía ductos no requiere conversión (de un estado a otro), pero sí grandes inversiones en infraestructura de la red. Por otro lado, la ventaja de la licuefacción es que el H_2 puede ser transportado entre países vecinos que no tienen ductos o países muy lejanos, pero la conversión de gas a líquido y luego a gaseoso de nuevo es costosa y también requiere importantes inversiones. Cada una de estas alternativas tiene, además, distintos grados de madurez, como muestra la tabla 4.

Tabla 4: Descripción de diferentes modos de transporte del H_2. Fuente: Ferragut et al. (2022).

Ductos	Hidrógeno licuado (LH_2)	Amoníaco	Líquidos orgánicos portadores de hidrógeno(LOHC)
Se transporta H_2 presurizado	Se lleva el H_2 a estado líquido reduciendo su temperatura a -253 °C	Se convierte el H_2 en NH_3 mediante el proceso Haber-Bosch	Conversión química para almacenar H_2 en fluidos fácilmente transportables (por ejemplo, metilciclohexano)
Se transporta por ductos, en general, los gasoductos existentes no son compatibles para transportar H_2 presurizado	Transporte en tanques criogénicos, térmicamente súper aislados	Infraestructura y logística existente para el transporte de NH_3	Infraestructura y logística existente para el transporte de LOHC
No requiere reconversión ya que se transporta directamente el H_2	Se debe vaporizar el H_2 líquido para llevarlo a estado gasesoso antes de su utilización	Se debe separar nuevamente el H_2 para su utilización, aunque el NH_3 también se puede utilizar directamente	Se debe separar nuevamente el H_2
Madurez: xxxx	Madurez: x	Madurez: xxx	Madurez: xx

Potencial de eólica marina en Uruguay: para producción de H_2 verde

El costo de la generación eléctrica es un supuesto clave para definir la competitividad del H_2 verde —dónde se ubicaría la producción de H_2 verde uruguayo frente a competidores internacionales—. Los costos de producción a 2030 en Uruguay "pueden alcanzar 1,2-1,4 USD/kg H_2, con una capacidad total mayor a los 90 GW de potencia a partir de energía renovable en los sitios con mayor potencial" (MIEM, 2022). Estos costes se lograrían vía solar o eólica en tierra, mientras que los costes de producción de H_2 vía eólica marina se estiman en 1,7-1,9 USD/kg H_2 a 2030. Sin embargo, al incorporar el costo de transporte y almacenamiento, el costo total de H_2 verde es más similar (en relación con la producción vía solar y eólica en tierra), ya que la eólica marina tiene costos de transporte y almacenamiento menores en términos relativos (Ferragut *et al.*, 2022), aunque sigue siendo más costosa a 2030. El estudio de Ferragut *et al.* (2022) destaca que en Uruguay "los vientos [aguas afuera] tienen una velocidad promedio de 9-10m/s, lo que permitiría alcanzar factores de capacidad del 50-55% y con un potencial adicional de 275 GW".

Proyectos en desarrollo

El gobierno publicó en 2022 una *Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay*, con el objetivo de lograr que el país sea un importante país productor y exportador de hidrógeno verde en las próximas décadas. Según el estudio, la facturación potencial para Uruguay es de USD 2.100 millones anuales a 2040. El documento fue coordinado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), pero contó con contribuciones de varios otros ministerios, empresas estatales (en particular, ANCAP), agencias de regulación e instituciones internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo. De esta hoja de ruta surge el programa Hidrógeno Uruguay (H_2U), que marca las pautas en varias áreas de acción: innovación, aspectos regulatorios, inversiones, capacitación, cooperación internacional, infraestructura y logística, evaluación del potencial *offshore* y comunicación. El capítulo *offshore*, o H_2U *offshore*, está liderado por ANCAP, empresa que actualmente es la única (estatal) con competencia —no monopólica— en la producción de hidrógeno verde y derivados y que, además, cuenta con experiencia y capacidad interna en desarrollo y gestión de grandes proyectos de energía. ANCAP ya realizó un borrador de las bases del llamado (especificando las áreas *offshore* a ofrecer, seis en consideración para la primera instancia) y el modelo de contrato. Estas están en discusión y se espera lanzarlas oficialmente en 2025. Los contratos están definidos con base en

> … contratos petroleros de producción compartida, adaptado con elementos de las licitaciones actuales para eólica marina en el mundo. […] El período de evaluación tiene una duración máxima de 10 años y su objetivo es que el contratista pueda realizar el adecuado estudio de factibilidad para proponer un plan de desarrollo y producción al culminar el mismo. Dados los desafíos particulares de estos tipos de proyectos, se ha generado un contrato caracterizado por la flexibilidad y plazos suficientes para poder realizar la adecuada evaluación de proyectos con gran potencial (varios GW), pero con compromisos iniciales muy bajos. (ANCAP, 2023a)

Otras cuestiones a considerar: cómo gestionar la renta

Es todavía temprano, y la industria incipiente, pero vale la pena al menos hacer el ejercicio de pensar cómo gestionar la renta del hidrógeno verde, en caso de que este se vuelva una gran fuente de ingreso para el país y, en particular, para el Estado. En estos casos, el modelo que viene a la mente en general es el de Noruega y cómo ese país, a través de su fondo soberano Government Pension Fund Global, ha sido capaz de utilizar los ingresos del petróleo y el gas que posee, crecer económicamente y, a la vez, evitar la enfermedad holandesa.

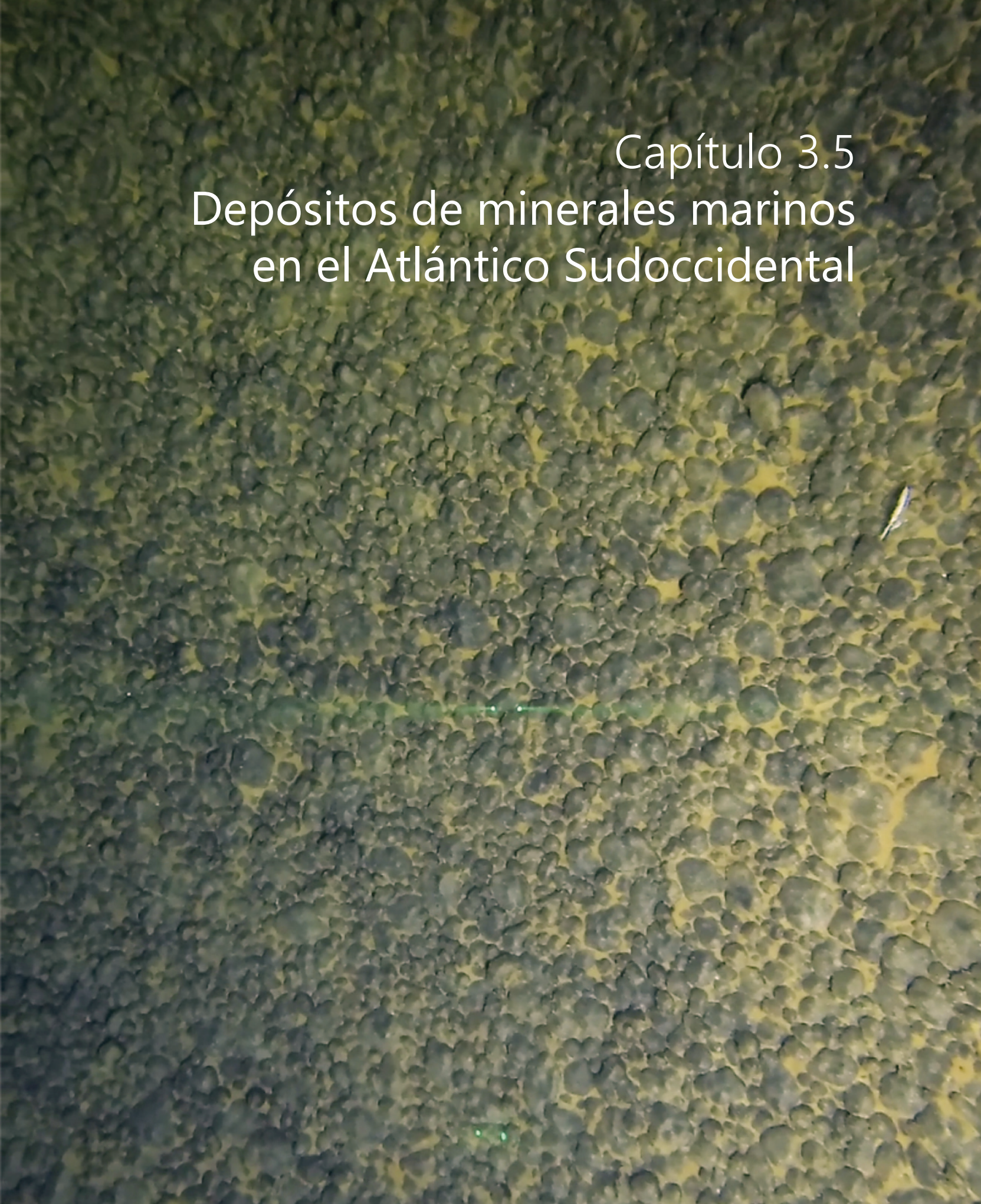
Fondo Soberano de Noruega: claves del éxito

Este fondo es uno de los fondos soberanos más grandes del mundo, valuado en USD 1,2 billones a fines de 2022, y un gran vehículo de ahorro e inversión de los ciudadanos noruegos. Ha sido muy exitoso por varias razones, en particular tres:

- Una visión clara a largo plazo: La visión del fondo es "garantizar una gestión responsable y a largo plazo de los ingresos de los recursos de petróleo y gas de Noruega, de modo que esta riqueza beneficie tanto a las generaciones actuales como a las futuras" (NBIM, 2023).
- Buena institucionalidad y una gestión competitiva: El mandato del fondo es definido por el Ministerio de Finanzas de Noruega, que marca los lineamientos de largo plazo, pero la gestión operativa está a cargo de Norges Bank Investment Management (NBIM), que busca los mayores retornos posibles a largo plazo. A su vez, el universo de inversión está bien delimitado y a disposición del público en la página web del fondo. Por ejemplo, el fondo tiene límites sobre la inversión en empresas (o bienes raíces) en Noruega; la exposición a una única empresa está limitada; no puede invertir en empresas de algunos sectores como el tabaco, producción de armas, etcétera (utilizando una estrategia conocida como *negative screening)*; etcétera.
- Objetivos financieros claros: "Las inversiones del fondo se miden frente a un índice de referencia establecido por el Ministerio de Finanzas sobre la base de índices de FTSE Group y Bloomberg Barclays Indices" (NBIM, 2023), constituido por acciones y deuda global.
- Transparencia: Toda la información sobre los objetivos, *performance*, estrategia de inversión, exposición a diferentes empresas y deuda, etcétera, está disponible en la página web del NBIM (www.nbim.no).

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Arboleya Sarazola, L., y P. González Gascón y Marín, 2024, Energías renovables costa afuera, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 279-295, doi: 10.70952/a8827tmuc3-4



Capítulo 3.5
Depósitos de minerales marinos en el Atlántico Sudoccidental

Imagen de video de nódulos polimetálicos tomada por un ROV (vehículo submarino operado en forma remota), en la zona económica exclusiva de las Islas Cook. Fuente: CIC Ltd.

Capítulo 3.5
Depósitos de minerales marinos en el Atlántico Sudoccidental

Daniel R. McConnell[1]

[1] *Geomarine Resources PLLC*

Fundamento

Los países están incorporando los océanos a sus planes de desarrollo sustentable. A escala mundial, se estima que la "economía azul" tiene un valor agregado bruto de 1.500.000 millones de dólares y que se duplicará para 2030 (OCDE, 2016). Se espera crecimiento en sectores ya existentes, como la pesca, el transporte marítimo, los puertos, el petróleo y el gas costa afuera, la investigación marina, el turismo marítimo y costero, y en nuevos sectores, como la acuicultura, la energía eólica marina, la biotecnología marina y el objeto de este capítulo: los minerales marinos.

La comprensión de los minerales marinos es un nexo para las ciencias oceánicas en desarrollo, para comprender los biosistemas profundos y los sistemas oceánicos actuales y antiguos y el vínculo con el cambio climático. Hace sesenta años que se reconoce el potencial mineral del mar, en especial de los fondos marinos, pero esto se aceleró en el siglo XXI, debido a la combinación de tecnologías en aguas profundas, el reconocimiento del cambio climático y la necesidad de transiciones energéticas.

Minerales críticos para la economía verde

Los minerales definidos como de alta tecnología tuvieron una rápida expansión en los últimos cuarenta años. En la década de los ochenta, se utilizaban 12 minerales o sus elementos de la tabla periódica para la fabricación de chips de computadora. En los noventa, el número ascendió a 16 minerales o elementos. En la actualidad, se utilizan más de 60 minerales o elementos en circuitos integrados de alta capacidad y otras aplicaciones de alta tecnología, y prácticamente todos los elementos de la tabla periódica tienen usos industriales (Schulz *et al*., 2017).

En general, los pronósticos de demanda de minerales se correlacionan con el crecimiento poblacional y la necesidad derivada de un mayor estándar de vida. Hace veinte años, el suministro mundial de reservas de minerales terrestres se consideraba adecuado para cincuenta a cien años, con la salvedad de que el suministro de algunos minerales en específico podría no satisfacer la demanda.

Esta postura de que las reservas existentes podrían satisfacer la demanda fue revisada

en profundidad, con el consenso de varios analistas en que el ágil despliegue de tecnologías de energía verde aumentará con rapidez la demanda de minerales a niveles que exceden el suministro de algunos minerales (IEA, 2022a).

Las energías denominadas "limpias", como la solar, la hidráulica, la bioenergía, la geotermal, la nuclear, las redes eléctricas, las baterías de vehículos, los acumuladores eléctricos y el hidrógeno requieren importantes suministros de más de un mineral, como cobre, cobalto, níquel, litio, tierras raras, cromo, zinc, grupo del platino y aluminio. Se estima que en 2040 la demanda de minerales utilizados en las tecnologías de energías limpias triplicará la demanda de 2020 (IEA, 2022a).

Uruguay tiene una historia minera desde el descubrimiento y la explotación de cobre, plomo, zinc y oro en la región de Minas en el siglo XIX, con mayor desarrollo y exploración en el siglo XX (Bossi y Navarro, 2000; Baumann, 2017; Cernuschi *et al*., 2018). Sin embargo, hay poco escrito sobre el potencial de los minerales marinos en la ZEE uruguaya y áreas cercanas.

Breve reseña histórica de los minerales marinos

La búsqueda de placeres en cursos de agua para identificar vetas ricas en oro es un método de exploración con siglos de antigüedad. Los prospectores de oro en Alaska también encontraron oro en planicies de cordones litorales formados cuando el nivel del mar era superior y paralelo a las playas modernas (McKelvey, 1986). El concepto de transporte fluvial y separación por gravedad y concentración de minerales pesados en arenas de playas se reportó por primera vez en 1897 (Dick, 1887). La minería de minerales pesados como la monacita, la ilmenita y el rutilo empezó en el siglo XX, a partir de la necesidad de fuentes de torio, tierras raras, zircón y titanio.

La necesidad del fosfato como mineral fue identificada cuando las ciencias de la agricultura empezaron a comprender la química básica de los fertilizantes: nitrógeno, potasio y fósforo. En Inglaterra, en 1847, se descubrieron rocas de fosforita adecuadas para minería. La minería de rocas fosfáticas a gran escala se inició en Florida, Estados Unidos, en 1883 y continúa hasta la actualidad. Los grandes depósitos en Inglaterra y Bone Valley, Florida, fueron identificados como biolititos que se formaron en mares someros y se componen de fosfatos provenientes de huesos y materia fecal fosilizada. Posteriormente, se reconocieron a las rocas fosfáticas genéticamente asociadas a corrientes surgentes o ascendentes (*upwelling*) y escasa sedimentación en la zona de la plataforma. Las corrientes del tipo *upwelling* provienen de las profundidades de las cuencas marinas, son frías y ricas en nutrientes. En su desarrollo inciden una alta productividad orgánica y la presencia masiva de fitoplancton y otros organismos. Actualmente, se reconocen acumulaciones de fosfatos en los márgenes continentales y montes submarinos.

Los primeros minerales marinos de aguas profundas que fueron descubiertos durante la campaña oceanográfica global del HMS Challenger entre 1872 y 1876 fueron las fosforitas, comentadas anteriormente, y los

nódulos y costras polimetálicos. Al tomar muestras del fondo, los científicos se sorprendieron por la cantidad de "cuerpos peculiares negros de aproximadamente una pulgada de longitud" que determinaron eran casi "totalmente peróxido de manganeso". Las implicancias para los usos económicos de estos materiales se perdieron en los informes científicos del siglo XIX, aun cuando se determinó que contenían níquel y hierro. Los análisis de testigos extraídos en aguas profundas durante la Segunda Guerra Mundial ayudaron a empezar a entender las relaciones químicas entre el hierro, el níquel y los óxidos de cobalto y manganeso. Sin embargo, fue el trabajo de John Mero y su publicación en 1965 de *The mineral resources of the sea* (Mero, 1965) lo que despertó el interés de empresas de minería de níquel, empresas de tecnología y gobiernos en iniciar la investigación y la cartografía de recursos minerales en aguas profundas.

Los sulfuros masivos del fondo marino (SMS, por sus siglas en inglés *seafloor massive sulfides*), también conocidos como sulfuros masivos polimetálicos (PMS, *polimetallic massive sulfides*), fueron los últimos tipos de depósitos minerales del fondo marino profundo en ser descubiertos. En 1976, científicos descubrieron un sistema de fuentes hidrotermales a lo largo del *rift* de Galápagos, utilizando un sistema de arrastre profundo, y un año más tarde volvieron para observar estas fuentes hidrotermales desde el submarino tripulado Alvin. Rápidamente, otros científicos documentaron fuentes hidrotermales (fumarolas) en dorsales mesooceánicas y determinaron que la actividad hidrotermal conducía sulfuros de oro, plata y zinc desde cuerpos magmáticos someros, que precipitaban rápidamente en el fondo marino cuando los fluidos calientes se mezclaban con las frías aguas oceánicas (Herzig *et al*., 2002). El descubrimiento de sistemas hidrotermales activos en el fondo del mar actual llevó a una re-evaluación de sulfuros masivos volcanogénicos, que eran depósitos identificados en áreas continentales, y trajo nuevas perspectivas sobre cómo se formaron estos depósitos originalmente en el suelo marino antiguo (Franklin *et al*., 2005).

Minería marina actual

Muchas operaciones mineras de arenas negras se realizan en depósitos de playas y planicies de cordones litorales. Los mayores productores son totalmente terrestres, por ejemplo, en la Cuenca Murray, Australia. Algunas de estas operaciones, como la Operación de Arenas Minerales de Tormin, en Sudáfrica, también tienen un componente marítimo que no está explotado en la actualidad. La mina de Guaju, en Paraíba, Brasil, tiene minas de monacita en las arenas de dunas de paleoplayas, a un kilómetro de la costa actual. Es probable que estos depósitos tengan una extensión marina. El gobierno indio otorgó licencias marítimas a lo largo de la costa de Kerala. Las arenas negras más accesibles se encuentran playas y no se ha desplegado la minería marítima de arenas negras, con unas pocas excepciones. Sin embargo, la minería de arenas negras con draga es una actividad común, debido a la típica poca profundidad de agua de los depósitos cercanos a las costas.

Varios proyectos marítimos de fosfato en México, Namibia y Nueva Zelanda han sido

incluidos en procesos de evaluación ambiental, pero ninguno se encuentra activo por el momento. Cada uno de estos proyectos tiene que superar una combinación de desafíos económicos, regulatorios y técnicos.

En la actualidad, no hay operaciones mineras marinas activas para nódulos polimetálicos en aguas profundas (PMN, por sus siglas en inglés), de costras ricas en cobalto (CRC) o de sulfuros masivos del fondo marino (SMS), pero sí ha ocurrido una importante actividad de evaluación de recursos y desarrollo de tecnología. En cuanto a los nódulos, el primer levantamiento *in situ* de nódulos polimetálicos a una embarcación minera piloto, desde la década de los setenta, fue llevado a cabo en 2022 por The Metals Company, Allseas y Nauru Offshore Resources Inc. Los esfuerzos de investigación y desarrollo por parte de agencias nacionales de investigación marítima y de empresas privadas resultaron en varios conceptos y sistemas de exploración de SMS y costras de cobalto. Se están realizando estudios ambientales en paralelo con estas evaluaciones de recursos y pruebas tecnológicas.

Marcos regulatorios en zonas económicas exclusivas y aguas internacionales

Todo análisis de las aguas conocidas y con potencial para explotación mineral marina debe desarrollar brevemente los marcos normativos y regulatorios existentes de las zonas económicas exclusivas (ZEE), la plataforma continental extendida y la Zona.[1]

ZEE de jurisdicción nacional y plataforma continental extendida

En cierta medida, los marcos regulatorios de varios países están establecidos para los minerales marinos cercanos a la costa, por ejemplo, depósitos de placer y fosfatos. Los países con aguas profundas en sus ZEE o cerca de estas apenas han comenzado a considerar cómo construir un marco regulatorio responsable e informado que pueda proteger el ambiente o a otras partes interesadas. Ciertas naciones, como las Islas Cook y Noruega, cuentan con minerales de mar profundo en jurisdicción y han desarrollado marcos regulatorios para la exploración y la explotación de minerales marinos. En consecuencia, el gobierno noruego aprobó el marco regulatorio desarrollado en enero de 2024 (Norwegian Offshore Directorate, 2024). La Dirección Noruega de Petróleo (NPD, por sus siglas en inglés) también cambió su nombre a Dirección Costa Afuera de Noruega (NOD) para ampliar los cometidos y competencias de dicha agencia regulatoria. Las Islas Cook completaron algunas porciones de su marco regulatorio y comenzaron a emitir licencias de exploración para nódulos polimetálicos en 2022 (Seabed Minerals Authority, 2024; USGS, 2024).

Aguas internacionales o la Zona

Todas las áreas marítimas más allá de los límites de las jurisdicciones nacionales se conocen como la Zona (ver capítulo 1.4 de este libro). Normalmente, esta es el área fuera de la ZEE de 200 millas marinas o, de

1 La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar define a la Zona como los fondos marinos y oceánicos y su subsuelo fuera de los límites de la jurisdicción nacional; ver capítulos 1.2, 1.3 y 1.4 de este libro.

haberse aprobado, una plataforma continental extendida que puede ir más allá de la ZEE. La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) es una organización internacional autónoma establecida por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) de 1982 y la implementación de la Sección XI del acuerdo de la CONVEMAR en 1994 (ISA, 2023).

La ISA fue establecida específicamente para abordar cómo regular, y eventualmente autorizar, la extracción de minerales de la Zona y cómo se deberían distribuir las utilidades y los superávits. Los Estados miembros de la CONVEMAR o empresas privadas patrocinadas por un Estado miembro pueden adquirir contratos de exploración por quince años. Los contratos de exploración se categorizan según el tipo de mineral de mar profundo: nódulos polimetálicos, sulfuros polimetálicos o costras de ferromanganeso ricas en cobalto (ISA, s. f.).

La figura 1 muestra una distribución global generalizada de minerales de fondo marino de aguas profundas (Miller *et al.*, 2018). Las áreas más cercanas sujetas a contratos de exploración emitidos por la ISA son áreas contratadas para costras de ferromanganeso ricas en cobalto, aproximadamente a 1.400 km al noroeste de la ZEE uruguaya, en el Alto de Río Grande, fuera de la ZEE brasilera. Varias áreas contratadas para CFC estaban a cargo de la Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), una agencia pública brasilera dentro del Ministerio de Minería y Energía, pero renunciaron voluntariamente a ellas en 2022. Nótese la extensa área indicada como potencial para nódulos polimetálicos frente a las costas de Uruguay, del sudeste de Brasil y Argentina (figura 1).

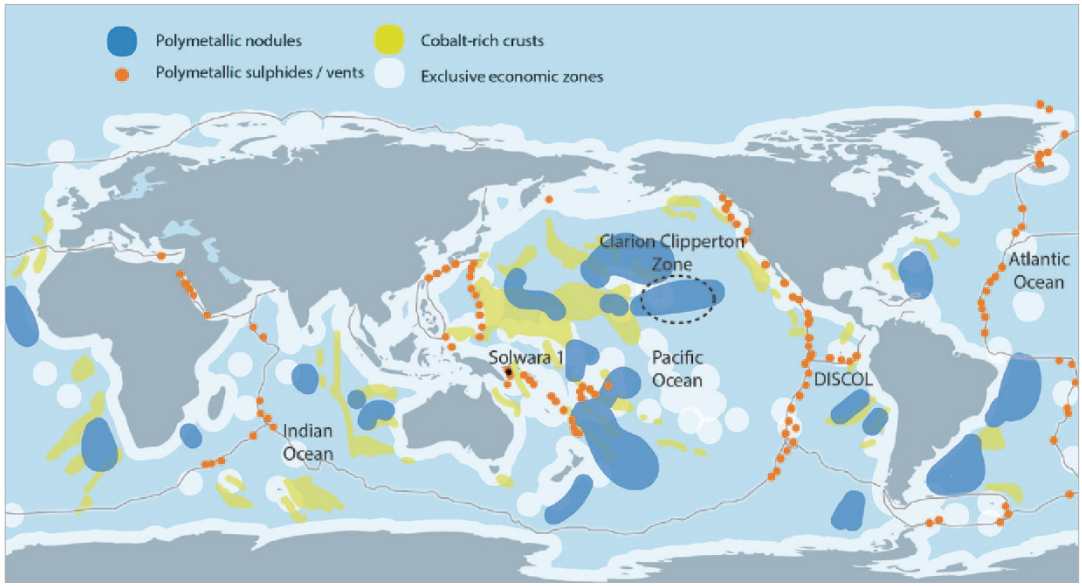


Figura 1: Distribución de los tres tipos de minerales de aguas profundas (Miller et al.*, 2018). Nótese el amplio polígono que indica nódulos polimetálicos justo frente a la ZEE uruguaya.*

Descripción y marco geológico de los depósitos de minerales marinos

Arenas negras

Las arenas negras (arenas que contienen minerales pesados o *heavy mineral sands*, por su denominación en inglés) son resistentes a la erosión química y física, y pueden ser separadas de arenas de cuarzo más ligeras naturalmente por la acción fluvial y el oleaje. Los minerales pesados se encuentran comúnmente asociados a depósitos de placeres que incluyen ilmenita, rutilo, cianita, magnetita, monacita y circón, y son fuentes de titanio, aluminio, hierro, tierras raras y circón, respectivamente. Los depósitos de placeres derivan de la erosión de rocas ígneas o metamórficas y corresponden a una concentración gravitacional de minerales pesados por fluidos en movimiento, generalmente por agua. De esta forma, las corrientes en los ríos causan la clasificación primaria de sus sedimentos y eventualmente también en los deltas costeros. Los depósitos de delta y placeres de playa son retrabajados, clasificados y transportados por acción de las olas y por corrientes litorales. Los placeres son usualmente de edad Holoceno y pueden incluir arenas de playa actuales y depósitos de dunas, así como paleodunas terrestres y depósitos marinos cercanos a la costa reflejando las variaciones del nivel de mar.

Las arenas de placer no tienen que tener concentraciones elevadas para ser económicas. En suelos ígneos cristalinos se puede requerir más de un 10% de mineral primario de ilmenita para que su explotación sea rentable, mientras que arenas de placer de ilmenita con menos de 1% pueden ser explotadas debido al bajo costo de la minería y la facilidad de separación. Los otros usos de las playas actuales, tales como la recreación, el alojamiento temporal y el turismo, normalmente son los motivos por los que no se extraen arenas de placer. Dicho esto, los proyectos de infraestructura costera, como el drenaje y el reabastecimiento de playas, deberían considerar la viabilidad de agregar un ciclo de extracción de arenas negras para separar arenas negras valiosas.

Figura 2: Arenas negras en Folly Beach, Carolina del Sur (USGS, dominio público).

Depósitos de fosfatos

Los depósitos de fosfatos se encuentran en las plataformas y el talud continentales, donde existen procesos de surgencia. El océano está casi saturado con fosfato, pero las aguas de océano frío tienen más fosfato que el agua oceánica cálida. En zonas de surgencia, el fosfato precipita con los cambios de temperatura, pH y otras modificaciones. El

fitoplancton y otros organismos consumen el fosfato y ayudan a concentrarlo en los sedimentos. Además del fosfato, es sabido que las tierras raras de itrio (REY, por sus siglas en inglés) son concentradas en fosforitas durante la diagénesis de carbonato a carbonado-fluorapatita (Hein *et al*., 2016).

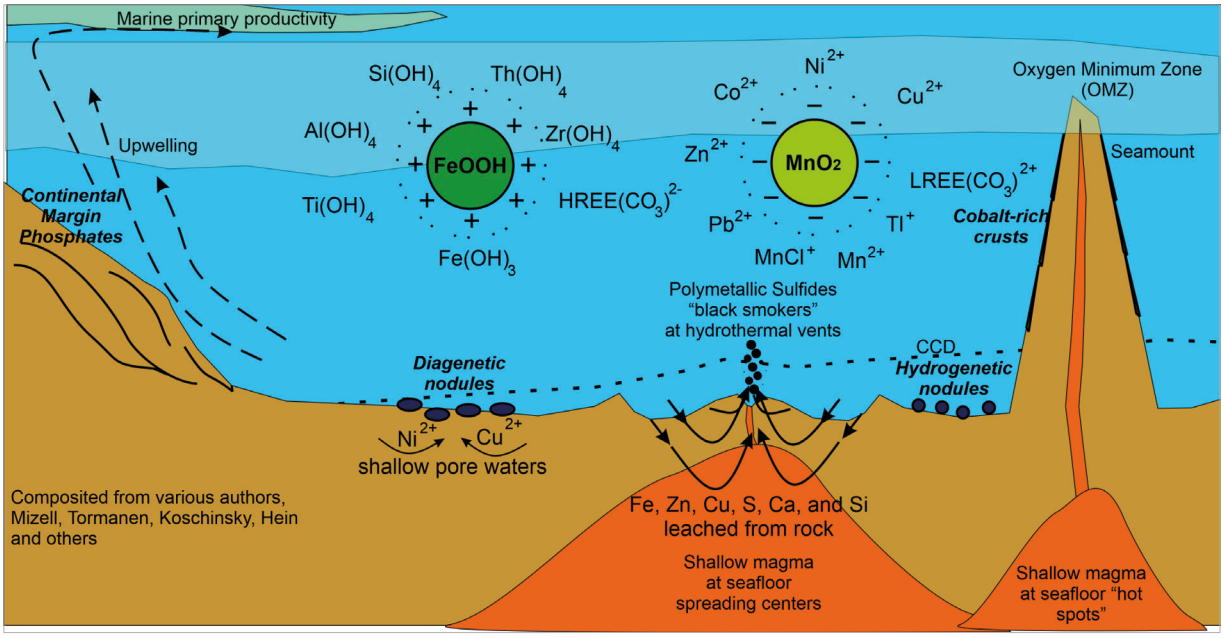


Figura 3: Ilustración que indica el marco geológico de fosfatos, nódulos polimetálicos, sulfuros masivos polimetálicos del fondo marino y costras de ferromanganeso ricas en cobalto polimetálico. Elaboración propipa a partir de McKelvey (1986), Hein et al. *(2000), Törmänen (2005), ISA (2010), Conrad* et al. *(2017), Koschinsky y Hein (2017) y otros.*

Nódulos polimetálicos y costras

Nódulos polimetálicos

Los nódulos polimetálicos son concreciones con diámetros de 2 a 15 cm, que se encuentran en el fondo abisal profundo de los océanos globales. Son óxidos de manganeso y hierro que crecen alrededor de un núcleo, en la interfase agua-sedimento. De manera alternada, pueden enriquecerse en cobre, níquel, cobalto, titanio, aluminio, zinc, litio, circón, magnesio y tierras raras. A pesar de encontrarse en todos los océanos del planeta, los nódulos polimetálicos se concentran especialmente en el Pacífico norte-central en la Zona de Fractura Clarion-Clipperton (CCZ) y la Cuenca Penrhyn, y el Océano Índico central.

Los controles de formación de nódulos polimetálicos son los siguientes:

- Baja sedimentación pelágica, fuera del alcance de la sedimentación turbidítica terrígena.

- Cercanía a áreas de productividad marina, con profundidades de agua iguales o menores a la profundidad de compensación de carbonato (*carbonate compensation depth* o CCD, por sus siglas en inglés).
- Corrientes de fondo y microtopografía local.
- Condiciones semiconstantes a lo largo de millones de años, que permiten el crecimiento de los nódulos.

El principal control de la formación de nódulos polimetálicos es que se encuentran en áreas con cifras excepcionalmente bajas de sedimentación, ya que los nódulos aumentan en una velocidad de entre 2 y 10 mm por millón de años, y los nódulos hidrogénicos crecen de manera más lenta que los diagénicos (Verlaan y Cronan, 2022). La mayoría de los depósitos de nódulos se encuentran en el fondo marino o parcialmente enterrados a 5 cm. La datación de los nódulos y las cifras de sedimentación donde estos se encuentran sugieren que las velocidades de sedimentación inferiores a 10 cm cada 1000 años se acercan a la condición límite para la acumulación de nódulos. La sedimentación superior a 10 cm cada 1000 años enterraría el material con potencial de nucleación. Incluso las cifras altas de sedimentación *in situ* en áreas de alta productividad restringen la formación de nódulos polimetálicos La sedimentación con cifras extremadamente bajas como condición para la formación de nódulos polimetálicos naturalmente impide que se generen en cualquier área que sea alcanzada por la sedimentación turbidítica desde los márgenes continentales. Incluso con estas bajas cifras de sedimentación *in situ*, sin aporte de sedimentos terrígenos además del polvo eólico, los nódulos típicos deberían estar enterrados, ya que estas velocidades de sedimentación extremadamente bajas son, de igual manera, mucho más rápidas que la velocidad de crecimiento de los nódulos. Lo que no se explica por completo es por qué los módulos no se entierran. Se cree que los nódulos polimetálicos sobreviven al entierro en estos contextos de baja sedimentación *in situ* debido a las corrientes de fondo, bioturbación, movimientos periódicos del suelo y a la interacción de la fauna bentónica, por sus acciones de natación, empuje o excavación.

Un nódulo polimetálico diagénico típico puede demorar 5 millones de años en alcanzar un diámetro de 4 cm. Los depósitos de PMN más concentrados se encuentran regionalmente cercanos a zonas de alta productividad marina, pero no directamente debajo de estas. La sedimentación pelágica *in situ* en áreas de alta productividad reduce la CCD. Si la CCD intersecta el fondo marino, el material orgánico calcáreo se puede acumular demasiado rápido e impedir el crecimiento de nódulos.

Los nódulos que no se forman en estas condiciones suelen ser más ricos en manganeso y pobres en níquel y cobre, debido a que se superan los procesos biogeoquímicos que fijan estos elementos. Hay dos procesos que forman PMN: los nódulos hidrogénicos acumulan metales directamente desde el agua del mar, y los nódulos diagenéticos acumulan metales desde las aguas intersticiales enriquecidas (figura 3). Tanto los nódulos hidrogenéticos como los diagenéticos crecen alrededor de un núcleo duro, un fragmento

de roca o un material duro biológico, como dientes o huesos de tiburón. Los nódulos diagenéticos suelen estar enriquecidos en níquel y cobre, lo que es facilitado por materiales biológicos (gránulos fecales y biopeliculas) y se asocia a la productividad marina. En general, los nódulos diagenéticos son más abundantes o más grandes a la CCD o por debajo de esta, en áreas de sedimentación moderada, tanto *in situ* como por procesos de transporte, asociados a la productividad marina (figura 3).

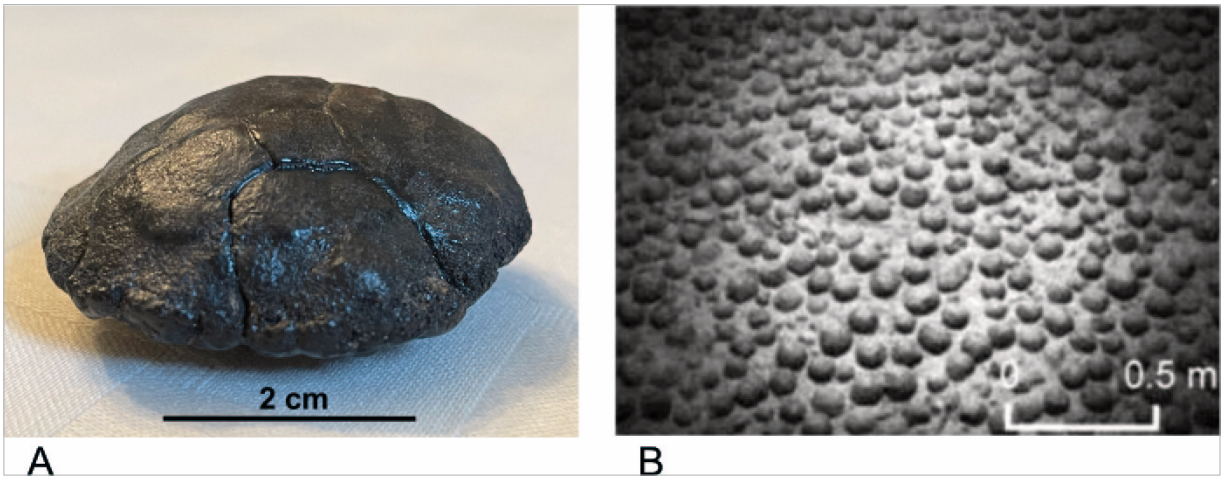


Figura 4: Nódulos polimetálicos típicos del este del Pacifico. a) Cortesía de D. McConnell. b) ISA (2008).

Los nódulos hidrogénicos que se forman a partir de coloides de manganeso en agua del mar, en general, se encuentran por debajo de la CCD en áreas cercanas a la productividad marina (figura 3). Los nódulos hidrogenéticos suelen ser más ricos en cobalto y carentes de cobre y níquel. Los nódulos mixtos hidrogénicos y diagénicos, típicos del este del Pacífico, se muestran en las figuras 4 y 5. Los nódulos polimetálicos son abundantes y, por ende, el tamaño del recurso es inmenso. La ISA estima 21.000 millones de toneladas (base seca) de nódulos polimetálicos en la CCZ. En 2018, The Metals Company, anteriormente conocida como DeepGreen Metals, usó un vehículo submarino autónomo (AUV) para el muestreo y la evaluación de recursos en el área del contrato NORI D, de 25.160 km^2, un sector pequeño del área CCZ. Este estudio combinó mediciones acústicas del AUV, la determinación precisa de la profundidad y la captura de imágenes con cámara submarina, con la toma de muestras con *box core* en el área de contrato NORI D. La estimación de recursos, actualizada con un muestreo detallado con *box core*, arrojó un volumen medido de 4 millones de toneladas (base húmeda), 341 millones de toneladas indicadas y 11 millones de toneladas inferidas para el área contratada (usando un corte de 4 kg/m^2). El recurso medido tenía una abundancia de 18,6 kg/m^2, con 1,40% de níquel, 1,16% de cobre, 37,9% de manganeso y 0,13% de cobalto (AMC Consultants, 2021), lo que lo posiciona como uno de los proyectos no desarrollados de níquel más grande, sólo considerando este mineral (Mining.com, 2023).

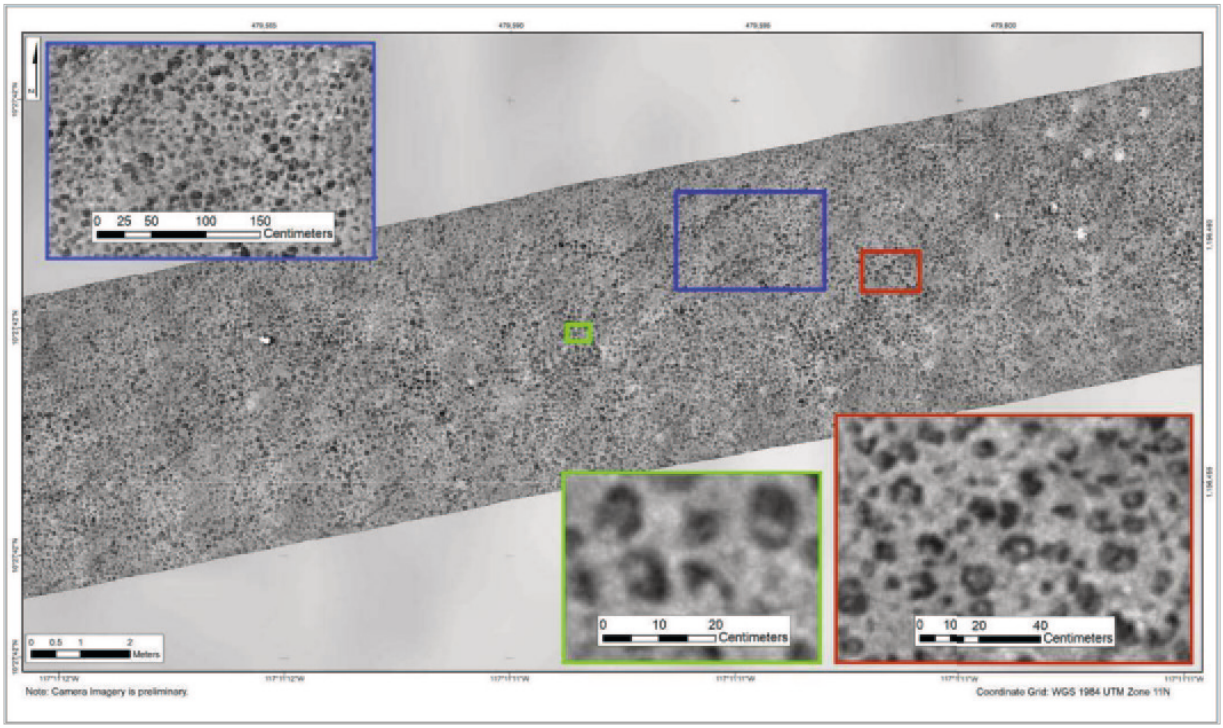


Figura 5: Transección fotográfica del fondo marino tomada desde un vehículo submarino autónomo (AUV, por sus siglas en inglés) en una altitud de 6 m sobre el lecho marino, a 4.100 m de profundidad acuática, que muestra depósitos densos de nódulos polimetálicos, típicos de esta zona en el este del Pacífico. (The Metals Company).

Costras polimetálicas de ferromanganeso

Las costras polimetálicas, también conocidas como costras de ferromanganeso ricas en cobalto (CFC), son similares a los nódulos polimetálicos hidrogenéticos, ya que ambos son oxihidróxido de hierro y manganeso que pueden concentrar cobalto, níquel, aluminio, titanio, además de manganeso dentro de las costras. Estas costras, igual que los nódulos hidrogénicos, se acumulan y crecen de manera extremadamente lenta, a partir del contacto con metales disueltos y coloides en agua marina (figura 3). Las costras son finas y oscilan entre una pátina y 80 mm. Las costras con espesor superior a 40 mm son de interés para la potencial evaluación de recursos (figura 6). Las costras se forman en sustratos duros libres de sedimentos, tales como dorsales volcánicas, centros de expansión oceánica o, de mayor interés, montes submarinos, especialmente aquellos establecidos en suelo marino más antiguo, ya que hay más tiempo para que las costras, que tienen una velocidad de acumulación extremadamente baja, puedan alcanzar un espesor mínimo (figura 3).

Para que haya crecimiento en los largos períodos necesarios, también se necesitan velocidades muy bajas de sedimentación lejos del alcance del aporte terrestre y niveles aún más bajos de sedimentación pelágica. En

estos sistemas con regímenes de sedimentación extremadamente bajos, las corrientes de fondo pueden aportar metales fijados a los nutrientes y metales en solución que pueden favorecen la formación de costras.

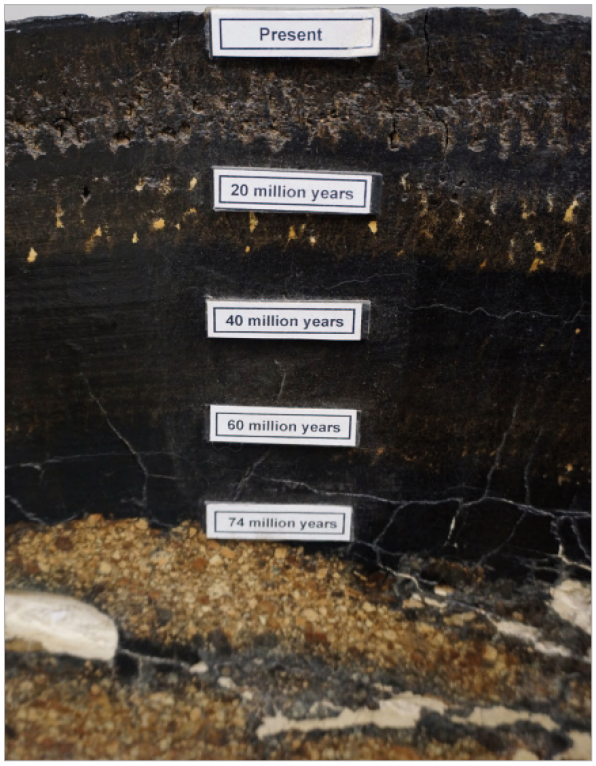


Figura 6: Corte transversal de costras de ferromanganeso ricas en cobalto de las Islas Marshall, extraído a casi 2.000 m de profundidad. (USGS, dominio público).

La formación de costras más gruesas a los lados de los montes marinos se correlaciona con las zonas con mínima concentración de oxígeno (OMZ, por sus siglas en inglés), ya que las aguas con bajo oxígeno contienen más manganeso disuelto (figura 3). Las aguas ricas en oxígeno son más frías y profundas, pero las aguas superficiales más templadas se oxigenan mediante el contacto con la atmósfera, lo que aumenta con la acción del viento y las olas. Las transectas a través de las cuencas oceánicas muestran una posición OMZ a lo largo del océano de entre 800 y 1.200 m. Mientras que se muestran condiciones favorables al crecimiento de costras polimetálicas en áreas de baja productividad, la OMZ se amplía debido a los procesos bacterianos que consumen oxígeno en respuesta a los niveles de productividad primarias. Esta OMZ, que es controlada principalmente por las interfaces atmosféricas, por la temperatura del océano y, posteriormente, por la interacción de las corrientes oceánicas, también crea condiciones químicas favorables para que se acumulen costras de ferromanganeso ricas en cobalto (figura 3).

Las regiones donde se observa una cantidad importante de montes marinos en suelo marino antiguo, como sucede en el centro-oeste del Pacífico, se ven favorecidas para el desarrollo de costras, especialmente cuando los montes marinos son interceptados por las OMZ actuales y en el pasado.

Sulfuros masivos polimetálicos

La formación de sulfuros masivos polimetálicos está fuertemente asociada a los procesos de creación de nuevos suelos marinos en los centros de expansión que se ubican en los límites de las placas tectónicas y los procesos que generan fumarolas negras (*black smokers*).

En los centros de expansión, el magma caliente asciende a través de fracturas para generar nuevos suelos oceánicos a partir del magma enfriado. Los sulfuros que se forman en los centros de expansión pueden contener altas concentraciones de cobre, zinc y plomo, así como de oro y plata. La circulación hidrotermal de agua marina en los centros

de expansión es el fluido que forma los minerales. Cuando el magma fundido se enfría al entrar en contacto con el agua fría del mar y se convierte en basalto quebradizo, se forman grietas y fisuras en su estructura. El agua del mar penetra estas grietas de la corteza oceánica recién formada. En este proceso, el agua del mar alcanza temperaturas superiores a los 400 °C, se acidifica y tiene bajo potencial redox. El agua de mar ácida y caliente es corrosiva y puede lixiviar el hierro, manganeso, bario, cobre, plomo, zinc, oro o plata contenido en la corteza oceánica. Este fluido extremadamente caliente con metales en solución tiene una menor densidad y asciende a través de las fisuras, entrando en contacto y enfriándose con el agua fría del mar. Esto lleva a la precipitación de los metales en solución y a la formación de sulfuros masivos en el suelo marino y entre la red de fisuras subyacente (figuras 3 y 7).

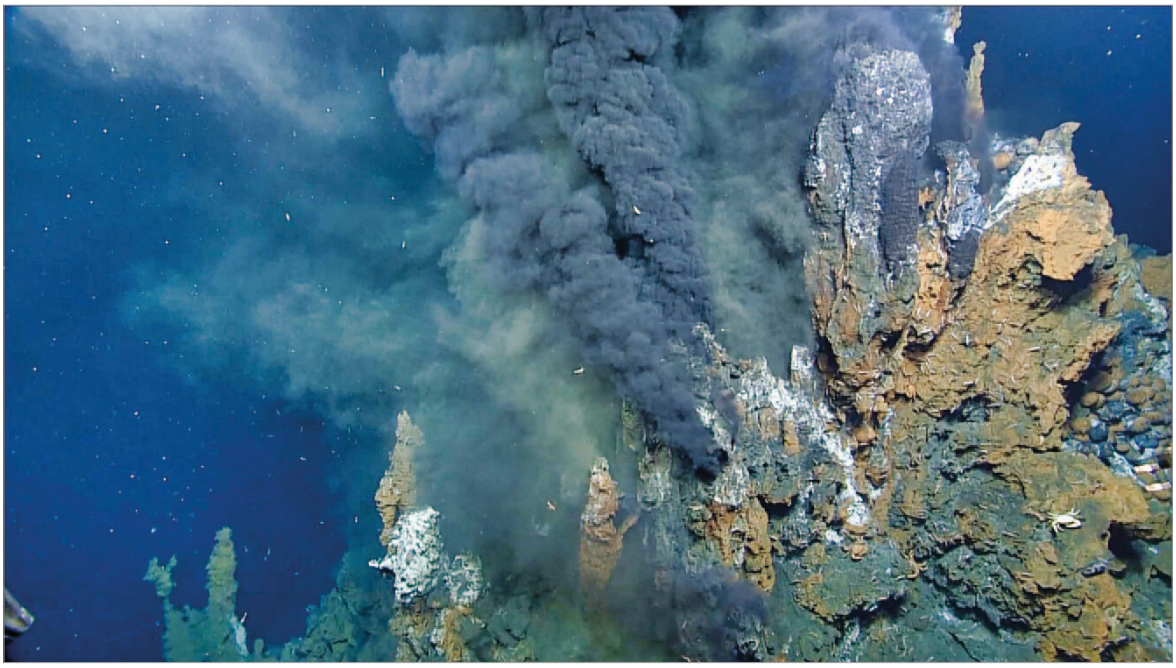


Figura 7: Agua cargada de minerales emergiendo de una chimenea hidrotermal en el volcán submarino Niua en la Cuenca Lau, al suroeste del Pacífico. Sulfuros masivos del fondo marino se precipitan y forman chimeneas. (USGS, dominio público).

Minerales marinos en la ZEE uruguaya y zonas adyacentes

Arenas negras dentro o cerca de la ZEE uruguaya

Contexto

Para la exploración y la posible explotación de las arenas negras se deberían considerar aspectos tales como el ambiente físico, la biodiversidad y los usos de la costa uruguaya, que están descritos por López Laborde *et al*. (2000) y Menafra *et al*. (2006). La geomorfología de las arenas de playa en la costa oceánica uruguaya está descripta en Gómez Pivel (2006) y Goso Aguilar y Muzio (2006); los depósitos de placeres de minerales pesados en la ZEE uruguaya provienen del basamento cristalino precámbrico que aflora en el suroeste de Uruguay y a partir del sistema de drenaje de la cuenca del Río de la Plata, tal como está descrito por Sánchez Bettucci *et al*. (2010).

Las arenas negras ricas en minerales pesados están presentes a lo largo de las playas de Villa Argentina, Atlántida, Aguas Dulces, Cabo Polonio, La Caronilla, La Paloma y la Barra del Chuy (Meyer y Alexandroff, 1963; Benedetti, 1967; DINAMIGE, 2002; Goso Aguilar y Muzio, 2006). Estas arenas son ricas en ilmenita, rutilo, monacita y zircón. El contenido de minerales pesados es en promedio de entre 2,5% y 3%. Hasta ahora, las arenas negras estudiadas se consideran subeconómicas (Goso Aguilar y Muzio, 2006) y cualquier desarrollo debería considerar otros intereses económicos, como el desarrollo costero y el turismo.

Potencial

Las arenas negras se encuentran en dunas paralelas a la playa entre Río Grande y Tramandai, en el estado de Río Grande del Sur, Brasil, al norte de la frontera con Uruguay. Las paleodunas eólicas de placer se desarrollaron a partir de sucesivas transgresiones y regresiones que formaron los sistemas de barras y lagunas costeras. Los placeres de Bujuru se asocian a depósitos de isla-barrera holocénicas. Los depósitos de arenas negras tienen menos de 10 m de espesor, con un 55% de ilmenita y un 9% de zircón. Se estiman reservas de 7 millones de toneladas de granos metálicos (Martins *et al*., 2003). Aunque no se identifican barreras ni sistemas de lagunas análogas del lado uruguayo, es probable que existan barras de arena en el sector marino de Uruguay, que puedan ser ricas en arenas negras.

Depósitos de fosfatos dentro o cerca de la ZEE uruguaya

Contexto

No se conocen depósitos marinos de fosfatos en la jurisdicción uruguaya.

Potencial

Se tiene registro de depósitos de fosfatos en la plataforma continental exterior, justo al norte de la ZEE uruguaya, y también podrían existir dentro de la ZEE uruguaya. Se han dragado depósitos de fosfatos en la Elevación de Río Grande en la plataforma continental exterior del estado de Río Grande del Sur, Brasil. El dragado a profundidades de entre 350 y 500 metros muestra grandes cantidades

de concreciones de fosfato, con una concentración de 16% de óxido fosfórico (P_2O_5). El depósito contiene componentes biogénicos retrabajados y tiene composiciones químicas similares a los depósitos costa afuera de Namibia, al sudoeste africano (Martins *et al*., 2003).

Nódulos polimetálicos dentro o cerca de la ZEE uruguaya

Contexto

No se han reportado nódulos en la ZEE uruguaya, pero hay una gran área mar adentro de la ZEE en aguas internacionales y, posiblemente, tan cerca como el reclamo de plataforma continental extendida de Uruguay, que se muestra en varios mapas de minerales de mar profundo como potencial para nódulos polimetálicos (figura 1).

Potencial

Dentro de la ZEE uruguaya, el contexto geológico no es favorable debido a que los niveles de sedimentación, el principal factor de control, son demasiado altos. La posibilidad de nódulos polimetálicos aumenta en la plataforma continental extendida uruguaya, pero una revisión de testigos de sedimento (*piston core*) indica un aporte terrígeno al área que probablemente evite el crecimiento de nódulos. Una serie de estudios sísmicos 2D y 3D realizados entre 1970 y 2017 para la exploración de hidrocarburos costa afuera de Uruguay confirma que la ZEE uruguaya no es favorable para la acumulación de nódulos polimetálicos. En algunas zonas de aguas profundas de la ZEE uruguaya se realizaron estudios geofísicos de alta resolución, que complementados con datos geofísicos de menor resolución (reflector del fondo marino en sísmica 3D), proporcionan una buena comprensión de la morfología del fondo marino y los procesos en la mayor parte de la ZEE, más allá del límite de la plataforma continental. En áreas externas al sistema del Río de la Plata se observan cañones submarinos, deslizamientos, canales y escarpas que acumulan depósitos en el talud medio e inferior. La sísmica muestra una potente sedimentación, principalmente terrígena, desde mediados del Mioceno hasta el Plioceno, que se extienden hacia la zona de transición entre el talud inferior y la emersión continental y hasta el límite de la ZEE (Hernández-Molina *et al*., 2016; capítulo 2.1 de este libro).

En este ambiente no se formarán nódulos polimetálicos. Rohais *et al*. (2021) estudiaron los pulsos de sedimentación en el Cenozoico en la Cuenca Pelotas y estimaron que la sedimentación *in situ* y la sedimentación pelágica contribuyó únicamente con entre un 0,3 % y un 0,5 % a los sedimentos acumulados en la cuenca. Esto significa que más del 99% del sedimento en estas áreas marinas es de origen continental.

La ZEE uruguaya no tiene potencial para nódulos polimetálicos. Sin embargo, como fue mencionado, una gran área muestra potencial para nódulos polimetálicos en los planos abisales de la Cuenca Argentina. Esta área con potencial se comenta en el apartado sobre el Atlántico Sudoccidental en el Cono Sur.

Costras de ferromanganeso ricas en cobalto dentro o cerca de la ZEE uruguaya

Contexto

No se han reportado costras de ferromagneso (Fe-Mn) en la ZEE uruguaya. El crecimiento de costras de Fe-Mn comparte muchas características con el de los nódulos polimetálicos. Al igual que los nódulos polimetálicos, estas costras requieren condiciones de sedimentación *in situ* muy lenta. Las costras de ferromagneso ricas en cobalto más cercanas se reconocen en el Alto de Río Grande, intersectando sectores de la plataforma continental extendida de Brasil.

Potencial

El gran aporte de sedimentos futuro y actual del Río de la Plata, que construyó el talud continental comprendido en la ZEE uruguaya, no es un ambiente favorable para el desarrollo de costras ricas en cobalto. Sin embargo, esto no elimina la posibilidad de que se desarrollen capas y lentes confinados a lo largo de afloramientos contorníticos erosionados y consolidados o en altos, donde las fuertes corrientes de fondo de la Antártida intersectan la OMZ con promotores biológicos provenientes de zonas de alta productividad marina local y cercana.

Sulfuros masivos del fondo marino dentro o cerca de la ZEE uruguaya

Contexto

No se han reportado sulfuros masivos en la ZEE uruguaya o en la plataforma continental extendida. Tampoco se han identificado depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS); estos son depósitos que originalmente se encontraban en el fondo marino antiguo y posteriormente se incorporaron a los continentes (Franklin *et al*., 2005).

Potencial

La ZEE uruguaya no tiene potencial para el desarrollo de sulfuros masivos, al menos con los medios utilizados en la actualidad para explorar estos depósitos, que están dirigidos a localizar campos hidrotermales activos en primer lugar. La corteza oceánica subyacente a la ZEE uruguaya no contiene un centro de expansión activo ni fallas de transformación activas asociadas. Sin embargo, en el momento de su formación, cada corteza oceánica estuvo asociada con procesos hidrotermales que podrían resultar en depósitos de minerales. Dentro de la ZEE uruguaya o la plataforma continental extendida se identifican montes submarinos asociados a procesos de fractura y vulcanismo de la corteza oceánica. Los montes submarinos de este tipo más cercanos están a 300 km del reclamo de plataforma continental extendida de Uruguay.

Atlántico Sudoccidental en el Cono Sur

Nódulos polimetálicos

Contexto

En la Cuenca Argentina se ha confirmado la presencia de nódulos polimetálicos a partir de perforaciones y fotografías del fondo marino. Por ejemplo, la cámara submarina

de la estación V18-K40, 730 km al sureste de la Península de Valdés, mostró un campo local de nódulos polimetálicos en diferentes etapas de soterramiento por la deriva (*drift*) sedimentaria (figura 8). Estos nódulos tienen un diámetro de entre 4 y 8 cm, con una abundancia estimada de 16 nódulos por metro cuadrado. La transecta 14 de la Expedición Vema en el año 1962, realizada 540 km al este de la Península de Valdés y a 4.100 m, en la cima de una terraza en el talud inferior, extrajo 16 rocas con draga, de las cuales 4 eran costras de ferromanganeso (Ewing y Lonardi, 1971; Ewing *et al.*, 1971a, 1971b).

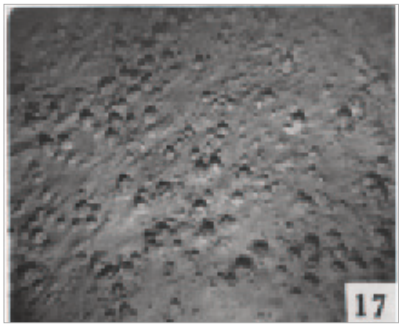


Figura 8: Estación de cámara V19-K40 que muestra campo de nódulos local (Ewing et al.*, 1971a).*

Potencial

Basándose en estas muestras y otras, Miller *et al.* (2018) (figura 1), Koschinsky y Hein (2017) y otros mapearon ocurrencias de nódulos confirmadas entre y en el perímetro de la Cuenca Argentina, especialmente a lo largo de la Zona de Fractura de Malvinas.

La Cuenca Argentina tiene muchos elementos favorables para el desarrollo de PMN:

- Niveles bajos de sedimentación *in situ* a lo largo de una planicie abisal de suelo marino antiguo.
- Las corrientes de Agua de Fondo Antártico (AABW) enriquecida en metales.
- Cercanía a zonas de alta productividad marina.

Se deduce que los niveles de sedimentación en la planicie abisal de la Cuenca Argentina son muy bajos. La perforación de aguas profundas más cercana es la DSDP 26-311, la cual recuperó poco más de 8 m de testigo debido a condiciones climáticas adversas. Los sedimentos recuperados son del Pleistoceno inferior, con una edad mínima informada de 400.000 años, con base en la identificación de Radiolaria, y sugieren un nivel de sedimentación máximo de 2 a 4 cm cada 1.000 años, lo que cumple con la condición aceptada de menos de 10 cm cada 1.000 años para la formación de nódulos polimetálicos. Los sedimentos estaban bien clasificados, lo que indica que estuvieron sujetos a un proceso de selección por acción del viento (*winnowing*). La presencia de diatomeas Antárticas sugiere su origen y el transporte a larga distancia a través de la corriente de AABW.

La corriente de AABW condiciona el desarrollo de nódulos, debido a que arrastra sedimentos desde la Escarpa de Malvinas a la Cuenca Argentina al atravesar con fuerza el Mar de Weddell y, además, al contener más oxígeno y minerales disueltos que las masas de agua intermedias. Las ocurrencias conocidas de nódulos parecen acompañar la ruta principal de la corriente de AABW a lo largo de la plataforma de Malvinas y a lo largo del pie de talud oblicuo al sudoeste de la Cuenca Argentina (Kasten *et al.*, 1998).

Una condición adicional que promueve la acumulación de nódulos polimetálicos en

un área extensa de la Cuenca Argentina es su cercanía a zonas de alta productividad marina (figura 9). La productividad marina contribuye a los promotores biogeoquímicos esenciales que ayudan a la formación de nódulos polimetálicos. La plataforma continental argentina es excepcionalmente ancha y llana, y la confluencia de dos corrientes y varios frentes oceánicos promueve una de las regiones de mayor productividad marina. Esta fuerte productividad primaria sostiene las pesquerías, los moluscos, las aves marinas y los mamíferos marinos de la actualidad. Vale la pena resaltar que los datos sugieren que las paleoproductividades primarias eran incluso superiores en la Cuenca Argentina (Acha *et al.*, 2004; Dogliotti *et al.*, 2014; Burone *et al.*, 2021).

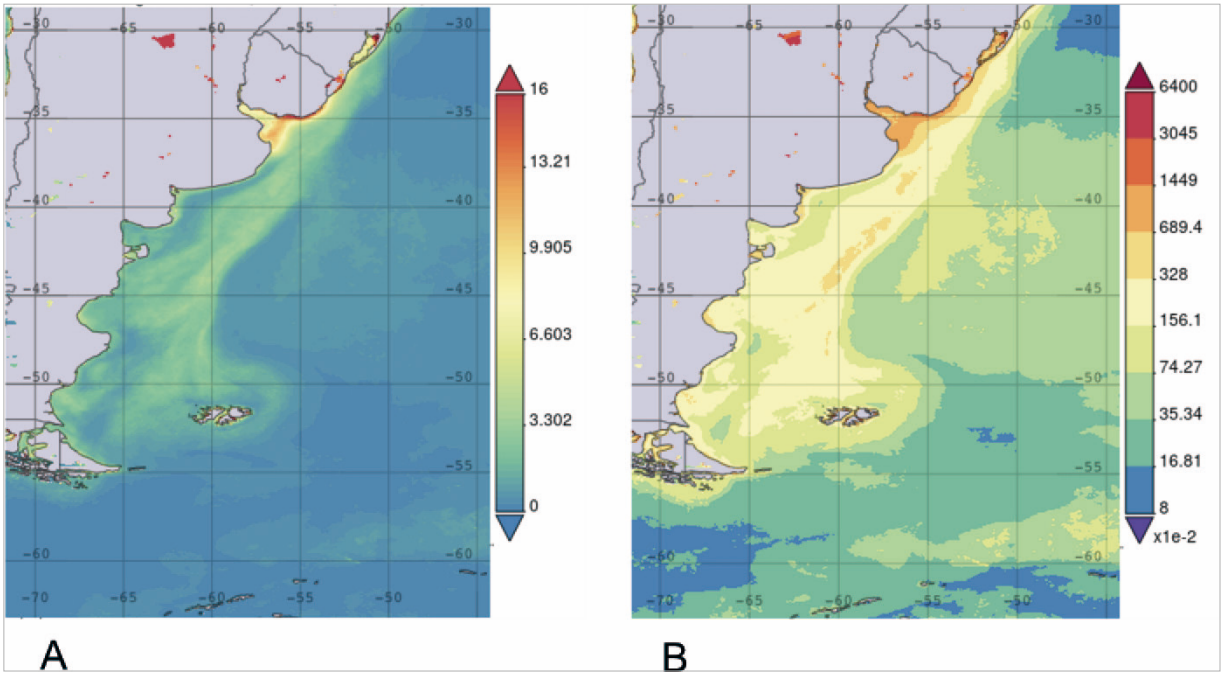


Figura 9: Brotes estacionales de fitoplancton en el sudoeste del Atlántico, capturados por el satélite espectrorradiómetro MODIS-AQUA, que muestran la concentración promedio de clorofila de septiembre a noviembre entre los años 2005 y 2015. Valores reales indicados en a). Valores logarítmicos indicados en b). (Cortesía de A. Trapp, Universidad de California Santa Cruz).

Sin embargo, una revisión de las características del lecho marino, publicada a partir de datos de las expediciones de los buques oceanográficos R/V Vema y R/V Robert Conrad, en la década de los sesenta e inicios de los setenta, sugiere que la Cuenca Argentina puede no tener tanto potencial para PMN como ha sido publicado. El análisis de testigos de sedimentos (*piston core*) no respalda la presencia de un área favorable para la acumulación de nódulos. A partir de la revisión de más de 300 testigos tomados en la Cuenca Argentina, solamente 5 describieron nódulos superficiales o enterrados. Estos nódulos se encuentran

con preferencia en testigos tomados en el sector sur de la Cuenca Argentina, a lo largo de la plataforma de Malvinas. En 17 testigos se identificaron micronódulos de manganeso, que tienen un diámetro típicamente entre 1 a 2 mm, pero que no corresponden a los típicos nódulos polimetálicos con diámetros de más de 2 cm. Estas expediciones utilizaron un perforador de pistón de Kullenburg, con un diámetro interno de 5,2 cm. De esta manera, es posible que, si un área tuviera, por ejemplo, una cobertura de nódulos de 10% a 20%, un perforador de pistón no encontraría los nódulos en aproximadamente 8 de cada 10 testigos. Si la cobertura de nódulos fuera más densa, como normalmente se encuentra en áreas de gran abundancia, al menos 1 de 2 testigos encontraría nódulos. Los nódulos pueden ser abundantes a escala local, lo que también puede explicar su ausencia en un muestreo regional. Sin embargo, en muchos de estos 300 muestreos de fondo, o cerca de las estaciones de muestreo, se tomaron fotografías y las publicaciones que analizaron estas fotografías no identifican campos de nódulos, sino que describen grandes ondas sedimentarias. Flood y Shor (1988) revisaron los datos del perfilador de fondo de alta resolución de 3,5 kHz (*subbotom profiler*) y las fotografías del fondo marino que surgen de las mencionadas expediciones, y reportan grandes ondas sedimentarias en grandes áreas de la Cuenca Argentina, lo que los autores llamaron "ondas de lodo" (*mud waves*).

Se entiende que la migración de óndulas se origina por el efecto de las corrientes de fondo y remolinos (*eddies*) fuertes y persistentes a lo largo de largos períodos, así como por las tormentas bentónicas de corta duración. La altura de las ondas sedimentarias oscila entre 5 y 85 m, y la separación entre ondas sedimentarias es de entre 2 y 10 km. Se desconoce el tiempo necesario para desarrollar estas ondas, pero se cree que es de entre decenas y cientos de miles de años (Flood y Shor, 1988). La removilización semicontinua de sedimentos de fondo podría ser el motivo por el que no se han desarrollado nódulos en la Cuenca Argentina y puede explicar por qué, en su lugar, es común encontrar micronódulos de manganeso en los testigos tomados en este sitio.

Sin embargo, se observa la presencia de nódulos entre América del Sur y la Antártida. Un mapa de minerales marinos del cuadrante sureste del Pacífico muestra más de 40 ubicaciones de fotografías del fondo que delinean grandes áreas, con coberturas de nódulos de más de 25% y de más del 50 % a lo largo del Pasaje de Drake, con una de las áreas abundantes al sur de las Islas Malvinas, aproximadamente a 55° W y 55° S (Consejo Circumpacífico para Energía y Recursos Minerales, 1996).

Sulfuros masivos del fondo marino

Contexto

Los sulfuros masivos del fondo marino más cercanos que fueron identificados están a más de 2.500 km de distancia, en el centro de expansión de retroarco, en la ZEE de la Isla Georgia del Sur, a lo largo del Dorsal de Scotia, donde se han ubicado fumarolas negras, y en el Pasaje de Drake, en un volcán de retroarco en la ZEE argentina y en la Dorsal de Phoenix, en el ámbito de la Zona.

Potencial

Es probable que los sulfuros masivos del fondo marino de la actualidad ocurran en la Zona a lo largo de la Dorsal Mesoatlántica, pero no han sido identificados aún.

Costras de ferromanganeso ricas en cobalto

Contexto

Se reportan costras de ferromanganeso ricas en cobalto en la Cuenca Argentina en la transecta 14, como se comentó anteriormente. También se observaron costras a lo largo de la plataforma de Malvinas. No se encontraron referencias a análisis geoquímicos para estas muestras y se asume su enriquecimiento en cobalto.

Potencial

La prospectividad de costras de ferromanganeso ricas en cobalto en la Cuenca Argentina es muy similar a la de nódulos polimetálicos. Las áreas con mayor potencial serán aquellas a lo largo de la plataforma de Malvinas y a lo largo de las fuertes corrientes de AABW en la base del talud, con un potencial adicional para la formación de costras en los montes submarinos. Los cúmulos de montes marinos que podrían alojar costras de cobalto se ubican en el sector sudoeste de la Cuenca Argentina y a lo largo de la plataforma de Malvinas.

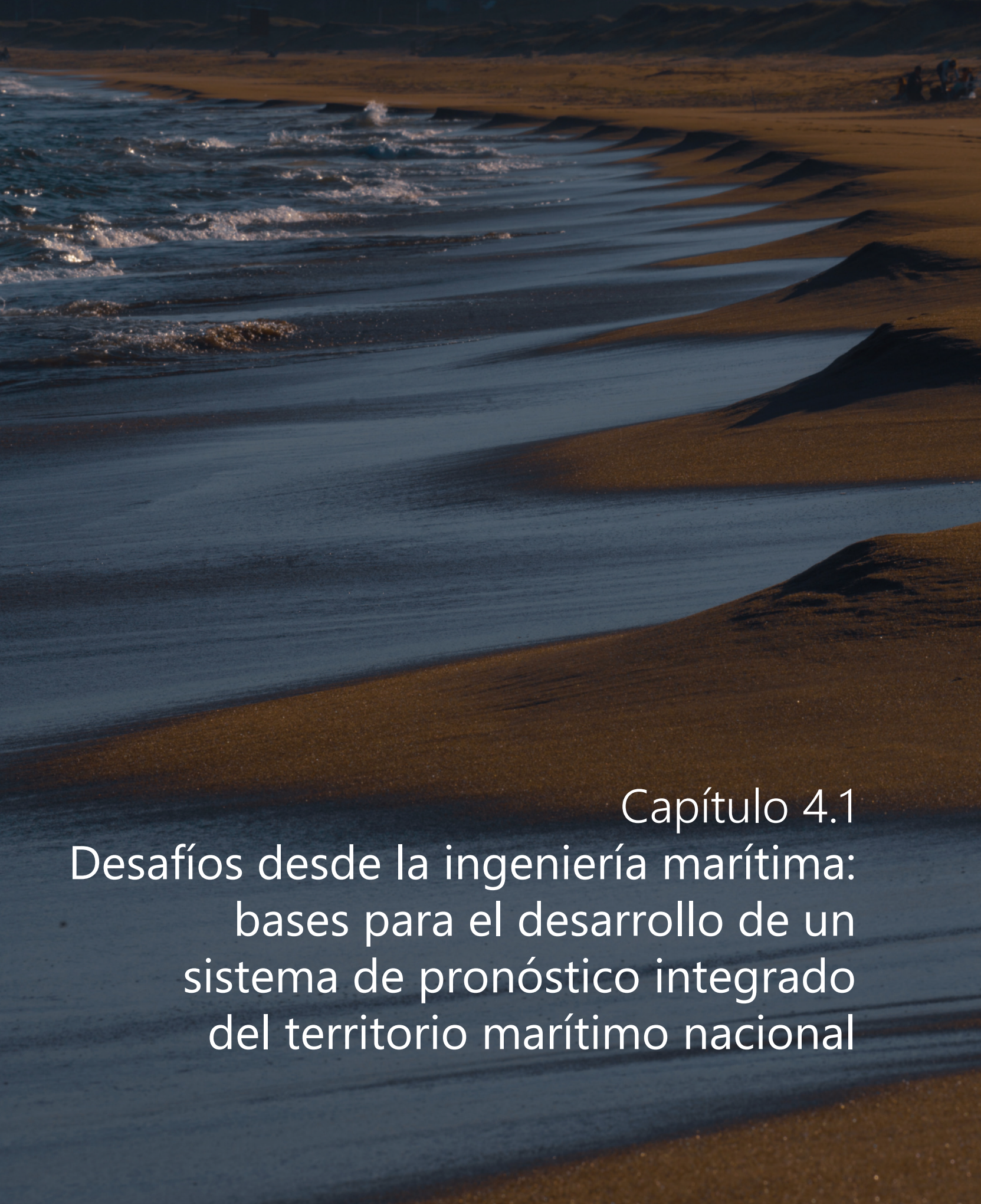
En síntesis, los minerales marinos con mayor potencial en la ZEE uruguaya son las arenas negras y, posiblemente, los fosfatos. Más allá de la ZEE, podrían existir nódulos polimetálicos y costras en zonas restrictas, pero es posible que no tengan tanto potencial como lo indican los mapas de distribución de minerales marinos. Los nódulos y costras tienen mayor potencial a lo largo del margen sudeste y sudoeste de la Cuenca Argentina. Uruguay podría ser un estado patrocinador de minerales marinos en la Zona, postulándose a través de la ISA. El área más cercana a Uruguay donde hubo áreas contratadas por la ISA es el Alto de Río Grande, con trabajo de exploración mineral y recientes tomas de muestras de costras de ferromanganeso ricas en cobalto.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: McConnell, D. R., 2024, Depósitos de minerales marinos en el Atlántico Sudoccidental, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 297-317, doi: 10.70952/a8827tmuc3-5

Traducción técnica realizada por Manuela Harretche del original en inglés, corregida por Gerardo Veroslavsky y Pablo Gristo.

Parte 4
Desafíos y oportunidades



Capítulo 4.1

Desafíos desde la ingeniería marítima: bases para el desarrollo de un sistema de pronóstico integrado del territorio marítimo nacional

Playa de la costa oceánica uruguaya. Fotografía de Margarita González Rodríguez-Villamil (margamegpics@gmail.com).

Capítulo 4.1
Desafíos desde la ingeniería marítima: bases para el desarrollo de un sistema de pronóstico integrado del territorio marítimo nacional

Mónica Fossati,[1] Rodrigo Alonso,[1] Fernanda Maciel,[1] Rodrigo Mosquera,[1] Pablo Santoro,[1] Sebastián Solari[1] y Francisco Pedocchi[1]

[1] *Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República*

Introducción[1]

La gestión de cuerpos de agua incorpora cada vez más el uso de herramientas de modelación numérica como soporte para la toma de decisiones y la definición de políticas (Vinçon-Leite y Casenave, 2019; Schuwirth *et al*., 2019). Desde hace años se tiende al desarrollo de sistemas de información de gestión ambiental que tengan en cuenta aspectos sociales, ecológicos y económicos. Estos sistemas integran: información geográfica; mediciones continuas realizadas *in situ* y resultantes de sensoramiento remoto; y modelos numéricos, que interactúan con el objetivo de apoyar procesos de toma de decisiones, tanto en la gestión de largo plazo como en la implementación de medidas de control y mitigación de emergencias en el corto plazo (Torres-Bejarano *et al*., 2013).

La oceanografía operacional refiere a la previsión de las condiciones del estado de los océanos a gran escala (Schiller y Brassington, 2011). En el ámbito internacional, el desarrollo de la temática ha sido principalmente impulsado por el Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE), creado en 1997 con el objetivo de coordinar e integrar la investigación asociada a sistemas globales y regionales de predicción y análisis de los océanos. A partir de 2009 dos grupos emergieron del original GODAE para

1 Agradecemos el apoyo obtenido durante muchos años para el desarrollo de la investigación aplicada en el mar territorial uruguayo con base en fondos concursables de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y la Comisión Sectorial de Investigación Científica CSIC) de la Universidad de la República (Udelar), principalmente, y a las contrapartes (instituciones públicas y privadas) que han confiado en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental y en la Universidad para realizar estudios: Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland, Administración Nacional de Puertos, Dirección Nacional de Medio Ambiente, Dirección Nacional de Hidrografía, Intendencia de Montevideo, Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas, entre otras.

continuar con el desarrollo de la oceanografía operacional, el GOV-GODAE OceanView y el ET-OOFS-JCOMM Expert Team for Operational Ocean Forecasting.[2] Por otra parte, desde 1991 se viene desarrollando un sistema de observación global de los océanos (Global Ocean Observing System, GOOS).

El GOOS está dirigido por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y copatrocinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Consejo Científico Internacional (ISC). En el marco del GOOS funciona el grupo experto sobre sistemas de pronósticos oceánicos operacionales (Expert Team on Operational Ocean Forecast Systems, ETOOFS), que ha generado recomendaciones específicas para el desarrollo de sistemas de observación y pronósticos (Álvarez Fanjul *et al.*, 2022). Además, Ocean Observing Co-Design, Observing Together y CoastPredict son los tres programas del GOOS que pretenden impulsar activamente la transformación necesaria para lograr los objetivos del Decenio Oceánico (2021-2030) y mejorar el sistema mundial de observación. El CoastPredict trata, justamente, del desarrollo de un sistema integrado de pronóstico costero marino basado en observaciones y modelación numérica, con interacción con usuarios, sistemas digitales de intercambio de información y desarrollo de productos específicos para necesidades locales.

Uruguay tiene varios desafíos por delante en cuanto a la gestión ambiental de los usos de sus aguas territoriales marítimas y desde la ingeniería marítima es posible aportar al desarrollo de estos. Es muy clara la relevancia del territorio marítimo uruguayo en aspectos vinculados a navegación, pesquería, turismo, biodiversidad, contaminación, energías renovables, entre otras, y es clara también la necesidad de comprender y conocer el sistema para poder hacer uso de manera sustentable, garantizando el cumplimiento de compromisos ambientales internacionales asumidos.

Uruguay no dispone actualmente de un sistema de pronóstico institucional de las condiciones marítimas para sus aguas nacionales. De hecho, las mediciones oceánicas son escasas y en su mayoría se trata de mediciones del nivel del mar a lo largo de la costa. Existe, por lo tanto, una fuerte necesidad de desarrollar una base de datos histórica nacional y un sistema de pronóstico que integre resultados de modelos numéricos, mediciones *in situ* e información de teledetección, para cubrir esta escasez de información y permitir a las autoridades y a los ciudadanos tomar decisiones basadas en evidencias.

En este sentido, cabe destacar que desde el año 2021 está en funcionamiento el sistema de pronóstico de condiciones metoceánicas en las aguas territoriales marítimas uruguayas, PronUy_RPFM.[3] Este sistema fue generado en el marco de un grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería (Fing-Udelar) apoyado por la CSIC de la Udelar (Ballesteros, 2021; Sellanes *et al.*, 2022; Balparda *et al.*, 2022). El sistema cuenta

2 Información disponible en https://www.go-dae-oceanview.org/

3 Disponible en https://www.fing.edu.uy/imfia/pronostico-marea/

actualmente con un producto disponible en tiempo real, el pronóstico del nivel de mar horario para los próximos tres días, el cual se evalúa contra datos *in situ* recolectados por mareógrafos publicados en tiempo real. Este sistema puede considerarse como punto de partida hacia la incorporación, mediante su impulso en el ámbito de las instituciones nacionales, del territorio marítimo nacional en las iniciativas globales (como el Programa CoastPredict del GOOS).

Contar con un sistema de pronóstico de este tipo permite comprender mejor la respuesta de las aguas estuarinas y oceánicas de Uruguay a las intervenciones actuales y futuras. Esto tendría un enorme impacto para la gestión del sistema estuario-océano y para la adaptación al cambio global, y podría satisfacer, por ejemplo, las necesidades de las autoridades nacionales de medioambiente, navegación y pesca, los gobiernos locales, las organizaciones no gubernamentales medioambientales, los pescadores locales y otras partes interesadas. Además, proporcionaría evidencia cualitativa y, especialmente, cuantitativa para el establecimiento de nuevas áreas marinas protegidas (AMP). Por último, un sistema de pronóstico operativo constituye una gran base de datos de toda la información metocéanica, medida y modelada, procesada y con control de calidad, que podrá ser utilizada para otro tipo de cálculos y aplicaciones.

En este capítulo se describen algunos esfuerzos recientes, de los que el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Fing-UdelaR ha participado y que contribuyen a la generación de un sistema de información confiable y rigurosa, que sirva como base para el desarrollo de un sistema de pronóstico de las condiciones del territorio marítimo nacional. Se describen aspectos de recolección y procesamiento de información, como son las mediciones *in situ*, las campañas oceanográficas y el sensoramiento remoto (tanto satelital como con estaciones fijas al nivel del mar y aeronaves no tripuladas). Por otro lado, se presenta información generada a partir de modelos numéricos, para las mareas, el oleaje, la temperatura y la salinidad del agua, y el transporte de los sedimentos finos que provienen de la cuenca de los ríos Paraná y Uruguay, y abundan en el lecho del Río de la Plata, así como resultados vinculados a la dinámica costera. Finalmente, se presentan productos específicos vinculados a la determinación del potencial de energías renovables marítimas en el mar territorial uruguayo, a la cuantificación del efecto del cambio climático sobre los niveles de mar en la costa uruguaya y al sistema de pronóstico operativo de variables metocéanicas disponible en tiempo real PronUy_RPFM.

Observaciones

Mediciones continuas

El costo de los trabajos en el mar es muy elevado y esto ha limitado históricamente las mediciones en el Río de la Plata y el océano Atlántico. Esto se hace notorio en las mediciones continuas, ya que las maniobras de fondeo de equipos suelen requerir: el uso de embarcaciones mayores; trabajar con buzos especializados en aguas turbias, que muchas veces trabajan a ciegas; desarrollar estrategias de fondeo para lechos de barro con muy

bajo poder soporte; y, por supuesto, el riesgo de perder equipos muy costosos. Como contraparte, las mediciones continuas permiten una comprensión de la dinámica del mar que las campañas oceanográficas puntuales no pueden aportar, permitiendo observar el mar durante eventos de tormenta, en condiciones en que sería imposible navegar, y registrar las variables con resoluciones temporales muy diversas, permitiendo observar variaciones que van desde fracciones de segundo hasta años y décadas.

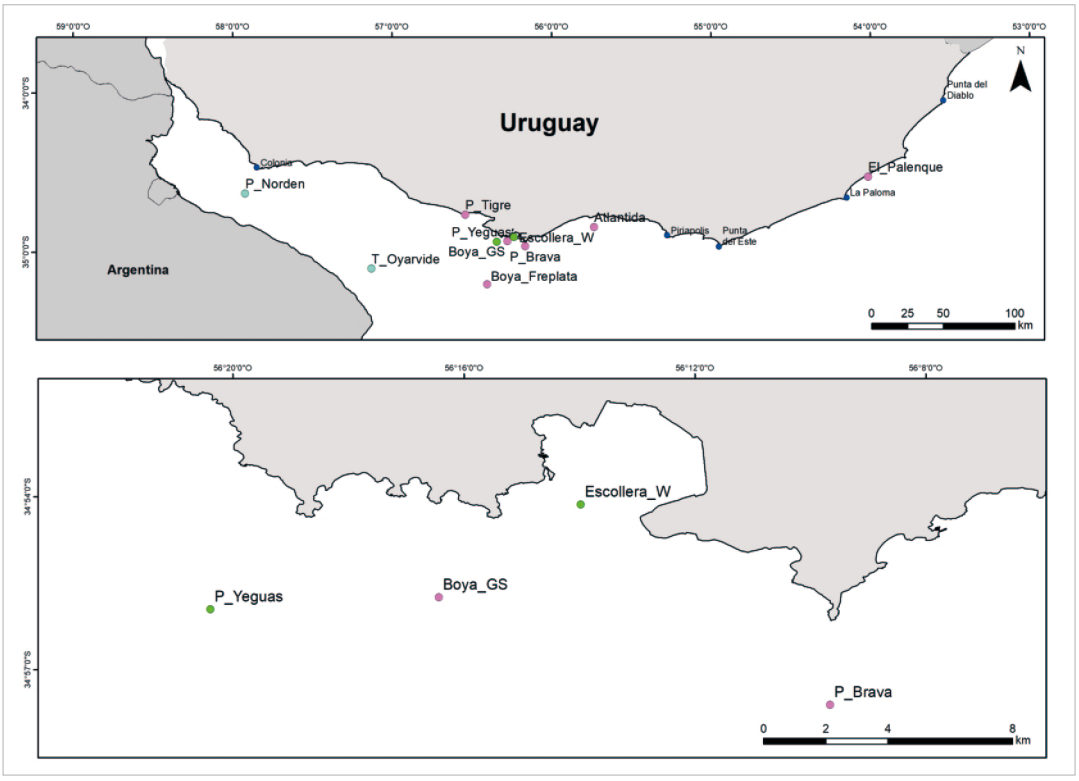


Figura 1: Distribución de los puntos de medición continua en los que participó el IMFIA. Arriba, vista general del Río de la Plata. Abajo, detalle de la costa de Montevideo. Los marcadores rosados indican mediciones de oleaje, corrientes, temperatura y otros parámetros; los verdes, corrientes y temperatura; y los celestes, temperatura salinidad y turbidez.

Desde el año 2005, el IMFIA ha apoyado diversas iniciativas de entidades nacionales públicas y privadas para viabilizar las mediciones continuas, todas en la cercanía de la costa. En algunos casos estas mediciones se realizaron en el marco de convenios de trabajo, durante períodos de tiempo acotados, teniendo a cargo el IMFIA la realización de todos los trabajos y siendo el propietario de los equipos fondeados. En otras ocasiones, el IMFIA, también en el marco de convenios de trabajo, ha apoyado iniciativas para la realización de mediciones, diseñando los fondeos, realizando los mantenimientos y procesando la información recolectada. Finalmente, el IMFIA ha participado activamente de iniciativas nacionales y binacionales para la medición en el Río de la Plata.

En la figura 1 se presenta la ubicación de las distintas iniciativas. A continuación, se describen brevemente algunos de los trabajos realizados en el marco de convenios con distintas entidades y se presentan los principales resultados obtenidos.

Punta Brava y Punta Yeguas, Montevideo, Intendencia de Montevideo

En el marco del seguimiento de la integridad del emisario subacuático que descarga las aguas del saneamiento de la ciudad de Montevideo en Punta Brava y la planificación de las obras del emisario de Punta Yeguas, se fondearon dos equipos capaces de medir corrientes y oleaje. Los trabajos de fondeo estuvieron a cargo de la Armada Nacional, los equipos eran propiedad de la Intendencia de Montevideo (IM) y el IMFIA tuvo a cargo la selección de los equipos, el diseño de la maniobra de fondeo y el procesamiento de los datos recabados. Los equipos fueron perfiladores acústicos de corrientes por efecto Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés) y permitieron la medición de corrientes y oleaje en Punta Brava entre diciembre de 2003 y noviembre de 2009, y de corrientes en Punta Yeguas entre febrero de 2004 y junio de 2008 (IMFIA, 2009).

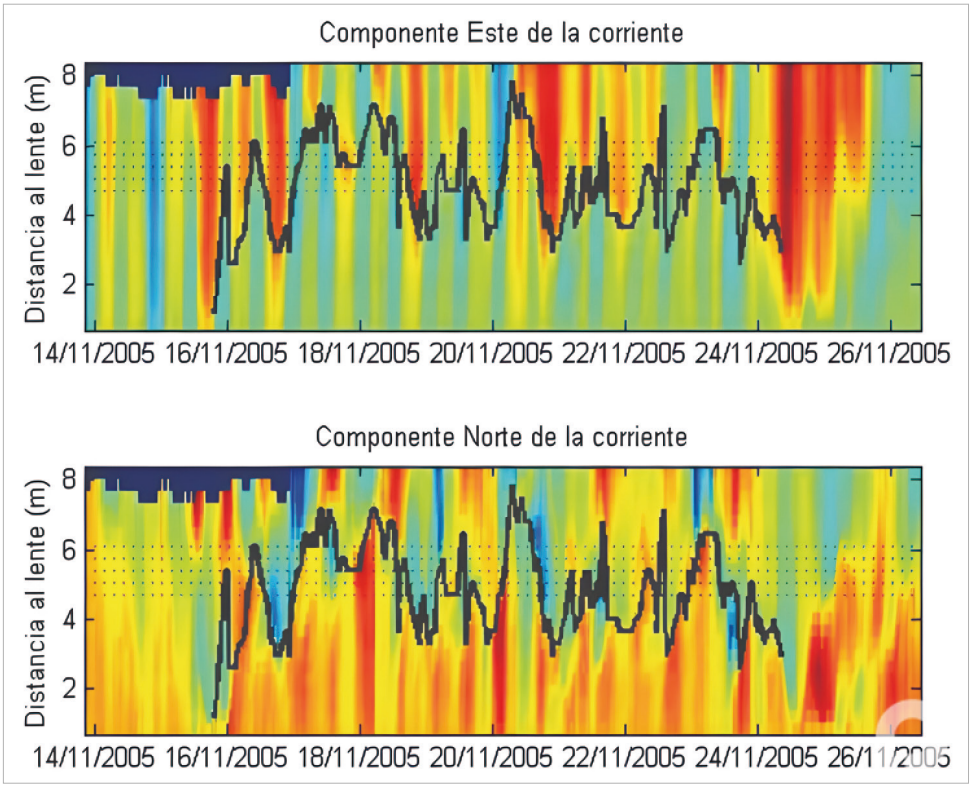


Figura 2: Componentes este y norte del perfil de velocidades registrados en Punta Brava. Los colores indican la magnitud de la velocidad, en rojo valores positivos y en azules los valores negativos. La línea negra muestra la profundidad a la que existe un cambio de densidad del agua. Puede observarse cómo las corrientes son diferentes por encima y por debajo del salto de densidad.

Esta fue la primera vez que se midieron corrientes y oleaje con ADCP en la costa uruguaya, lo que permitió observar de forma continua el perfil de velocidades en la columna de agua y la persistencia de la estratificación de la columna de agua por períodos de una semana. El equipo de Punta Brava se encontraba en el agua durante el temporal del 25 de agosto de 2005 y registró el oleaje hasta que los esfuerzos hidrodinámicos lo volcaron; afortunadamente el equipo pudo ser recuperado. En la figura 2 se presenta un ejemplo de las mediciones de corrientes obtenidas en Punta Brava durante algunos días de noviembre de 2005 (Pedocchi *et al*., 2010, 2012).

Proyecto FREPLATA, Comisión Administradora del Río de la Plata, Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial, Agencia Francesa de Desarrollo

Promovido por el consorcio entre la Comisión Administradora del Río de la Plata y la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CARP-CTMFM), financiado por el Fondo Francés para el Medioambiente Global e implementado por la Agencia de Cooperación Francesa para el Desarrollo y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, el Proyecto FREPLATA "Estudio de la dinámica hidro-sedimentológica del Río de la Plata: Observación y modelación numérica de los sedimentos finos" resultó en un esfuerzo trinacional de colaboración científica entre el Instituto Francés para la Explotación del Mar (IFREMER), de Francia, junto con el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) y el Instituto Nacional del Agua (INA), de Argentina, y el IMFIA, de Uruguay, con el apoyo del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), de Argentina, y el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), de Uruguay.

Durante el proyecto se colocó una boya oceanográfica frente a Montevideo, se instrumentó el Pilote Norden, frente a Colonia, y la Torre Oyarvide, frente a Punta Piedras. Entre noviembre de 2009 y diciembre de 2010 se registraron datos de corrientes, oleaje, temperatura, salinidad, turbidez y otras variables en la boya; y de temperatura, salinidad, turbidez y nivel en Pilote Norden y en Torre Oyarvide. El proyecto fue un hito en la medición continua en el Río de la Plata y permitió contar por primera vez con series simultáneas en la zona intermedia e interior del estuario (FREPLATA, 2011; Simionato *et al*., 2011; Fossati, 2013).

Punta del Tigre, San José, Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE)

En el marco del proyecto y la construcción de la nueva central de ciclo combinado para la producción de energía eléctrica, la UTE financió la medición continua de corrientes, temperatura, salinidad y turbidez frente a la zona de Punta del Tigre. La medición continua fue implementada de forma completa por el IMFIA y fue acompañadas por campañas de medición trimestrales de parámetros fisicoquímicos y biológicos a cargo de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias de la Udelar (IMFIA, 2021b).

Las series de datos registradas probablemente sean de las más largas disponibles en el Río de la Plata y van desde diciembre de 2014 hasta agosto de 2021, e incluyeron el fondeo

de un ADCP y de un sensor combinado de conductividad, temperatura y profundidad (CTD, en inglés). Esta medición permitió observar el cambio en las variables registradas a lo largo del pasaje de un período climático Niño a un período Niña, mostrando de forma explícita la alta variabilidad del Río de la Plata en la zona intermedia. La dinámica general del Río de la Plata, particularmente la descarga de los ríos Paraná y Uruguay, tiene periodicidades de entre 3 y 6 años vinculadas con el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur. Los primeros dos años de medición se encontraron dentro de un período Niño muy fuerte, con descargas fluviales por encima de la media; los años 3 y 4 correspondieron a años Niño y Niña débiles; mientras que los últimos dos fueron dentro de un período Niña moderado, con caudales por debajo de la media (Maciel *et al*., 2021).

Bocana oeste de la bahía de Montevideo, Administración Nacional de Puertos (ANP)

Como parte de estudios de la circulación del agua en la bahía de Montevideo y la renovación del agua dentro de esta para la ANP, se realizaron mediciones de velocidad entre la Escollera Oeste y el Cerro de Montevideo, fondeando un ADCP entre agosto de 2016 y mayo de 2017 (IMFIA, 2016a).

Las mediciones confirmaron los resultados de simulaciones numéricas realizadas en el IMFIA y mostraron la salida/entrada de agua por la bocana oeste y el ingreso/salida de agua por el canal de entrada al puerto entre la Escollera Sarandí y la Escollera Oeste, proceso fuertemente dominado por el ciclo de marea y el viento.

El Palenque, Rocha, Dirección Nacional de Hidrografía (DNH), Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Como parte de los estudios asociados al proyecto de un puerto de aguas profundas, se realizaron mediciones frente a la costa de Rocha, al este del balneario La Paloma. En este caso se fondeó un ADCP a 19 m de profundidad y se registraron corrientes y oleaje, para la DNH, entre febrero y junio de 2016 (IMFIA, 2007). Previamente a este fondo, que gestionó completamente el IMFIA, se realizaron tareas de apoyo en la configuración de instrumentos, mantenimiento durante los fondeos y procesamiento de datos, durante fondeos que estuvieron a cargo del SOHMA. Este conjunto de registros es de los pocos disponibles en la costa oceánica de Rocha.

Punta de Sayago, Montevideo, Gas Sayago SA

Entre diciembre de 2015 y febrero de 2018 el IMFIA brindó servicios de mantenimiento y procesamiento de datos de la boya oceanográfica que adquirió Gas Sayago SA (Figura 3a) (IMFIA, 2018a). La boya estaba equipada con sensores para medir y reportar en tiempo real oleaje, corrientes en la columna de agua, temperatura y salinidad del agua en la superficie, y variables meteorológicas.

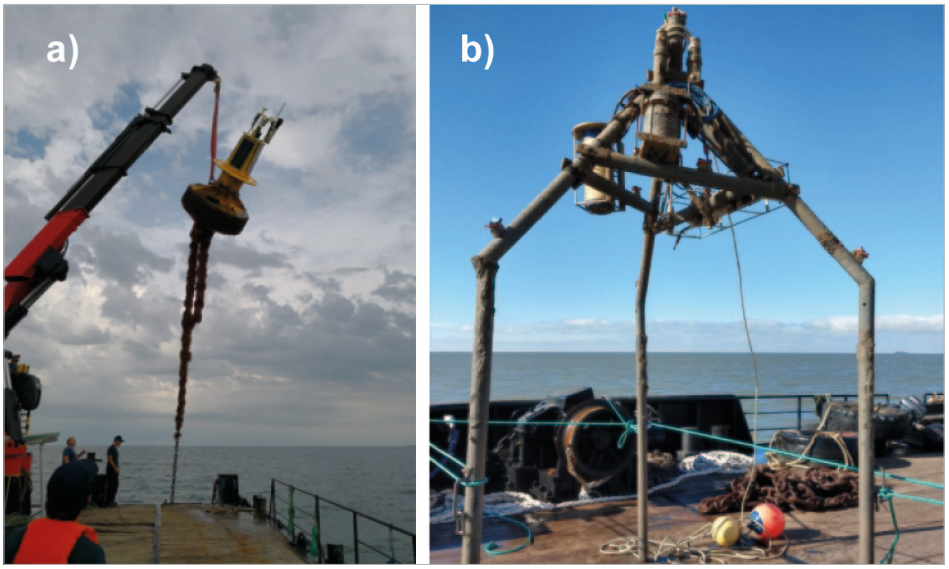


Figura 3: a) Retiro de la boya de Gas Sayago para mantenimiento; b) foto del trípode al ser extraído en agosto de 2018.

Punta de Sayago, Montevideo, CSIC-Udelar

Vinculado al mantenimiento de la boya y aprovechando la existencia de esas mediciones, el IMFIA concursó por fondos del programa de Proyectos de Investigación y Desarrollo de la CSIC, y fondeó un trípode instrumentado junto a la boya entre diciembre de 2017 y febrero de 2018, y entre mayo y agosto de 2018 (IMFIA, 2018b; Mosquera Núñez, 2021). El trípode fue diseñado para hincarse en el lecho de barro, asegurando su estabilidad por fricción entre las patas y el lecho en lugar de utilizar su peso, ya que esta última estrategia lleva a que los equipos se entierren en el barro blando que abunda frente a las costas de Montevideo (figura 3b).

Los equipos instalados en el trípode incluyeron: un CTD para registrar salinidad y temperatura; un perfilador ultrasónico multifrecuencia capaz de registrar altas concentraciones de barro fluido junto al lecho del río, dos sensores ópticos de turbidez y un sensor de velocidades (ADV) capaz de registrar fluctuaciones turbulentas de la velocidad inducida por corrientes y oleaje junto al lecho. Estos equipos se complementaron con los sensores instalados en la boya oceanográfica de Gas Sayago.

Esta fue la primera experiencia nacional de fondeo de un trípode instrumentado en el Río de la Plata y permitió confirmar de forma directa la formación de una capa hiperconcentrada de barro fluido por efecto del oleaje durante las tormentas y la ocurrencia de estratificación de la columna de agua por efecto de la concentración de sedimentos (figura 4). Esta observación es de suma importancia para comprender el proceso de sedimentación en los canales de navegación del puerto.

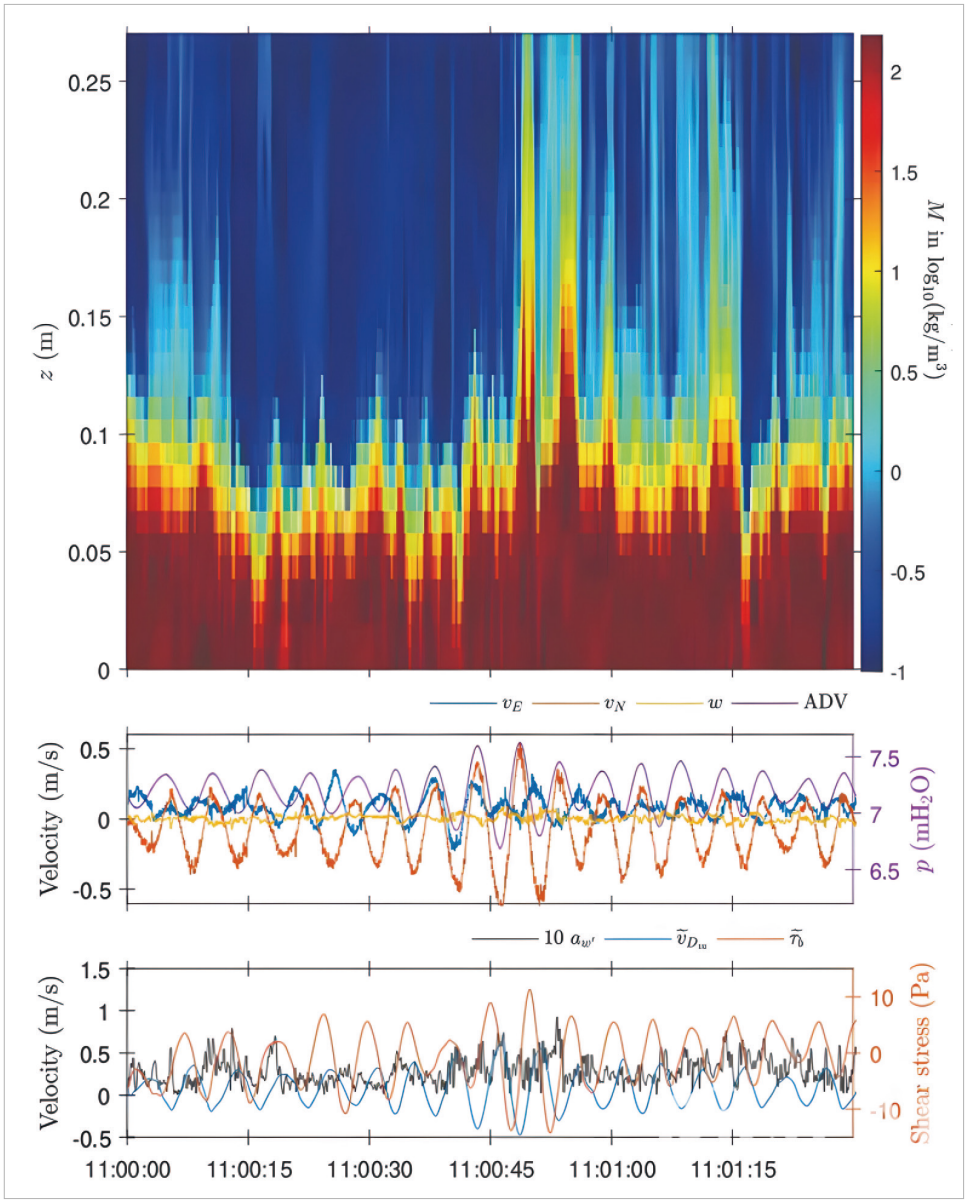


Figura 4: Ejemplo de mediciones realizadas desde el trípode. Se puede apreciar la formación de una capa de barro fluido hiperconcentrado junto al fondo por acción del oleaje.

Atlántida, Canelones, DNH

Como parte de los trabajos realizados para la DNH vinculados al proyecto de un puerto deportivo en Atlántida, se fondeó un ADCP 5 kilómetros mar adentro de la costa (IMFIA, 2020b). En este caso se repitió la estrategia de fondeo por hincado, diseñando una base con patas que se enterraban en el lecho de barro. Se registraron datos de

corrientes y oleaje entre julio de 2019 y mayo de 2020. Las mediciones mostraron una zona con mayor acción de oleaje que la costa de Montevideo, donde los cambios de salinidad resultaban en cambios en el comportamiento de los sedimentos cohesivos.

Punta Brava, Montevideo, Intendencia de Montevideo

La boya propiedad de Gas Sayago SA fue adquirida por la IM y se encuentra fondeada en este momento al sur de Punta Brava. El IMFIA ha acompañado a los profesionales de la IM en el proceso de transferencia de la propiedad, teniendo a cargo el mantenimiento, configuración de los instrumentos y el control de calidad de los datos registrados (IMFIA, 2021a). La boya entró en funcionamiento en el mes de febrero de 2023 y en este momento registra y reporta en tiempo real oleaje, corrientes y temperatura del agua, además de variables meteorológicas. Se espera que esta boya, junto a otras que recientemente ha fondeado la Armada Nacional, conformen los primeros pasos para una red de monitoreo costero del Uruguay.

Sensoramiento remoto

Los sensores remotos ópticos registran información del espectro electromagnético de la luz en distintas bandas del rango visible e infrarrojo. La gran mayoría de los sensores remotos actuales, montados en aeronaves o satelitales, son multiespectrales, lo que significa que cada banda está compuesta por un rango relativamente ancho de longitudes de onda, habiendo poco o nulo solapamiento entre bandas. A medida que se agregan bandas contiguas que cubren rangos menores, se logra capturar de manera continua el espectro electromagnético, denominándose a estos sensores como hiperespectrales.

Imágenes satelitales de color del mar

El Proyecto FREPLATA marcó un primer hito en el uso de imágenes satelitales de color del mar para la cuantificación de sedimentos en suspensión y clorofila-a en el Río de la Plata, mostrando tanto el potencial como las limitaciones que tenían los sensores y algoritmos de procesamiento disponibles en ese momento, que estaban diseñados principalmente para aplicaciones en aguas oceánicas. El lanzamiento de nuevos satélites y el desarrollo de algoritmos de procesamiento enfocados en aguas costeras e interiores han permitido en los últimos años seguir avanzando en el uso de imágenes satelitales para cuantificar turbidez, sedimentos en suspensión, materia orgánica coloreada disuelta y clorofila-a.

El uso de información satelital en el Río de la Plata tiene la gran ventaja de dar una visión sinóptica del estuario, que complementa la alta resolución temporal de las mediciones continuas *in situ*, que tienen grandes limitaciones en la cobertura espacial. Esta visión sinóptica es particularmente relevante cuando se analizan los frentes de salinidad o turbidez, o la ocurrencia de una floración de fitoplancton. Estos fenómenos presentan variaciones bruscas en el espacio, lo que dificulta su caracterización a partir de mediciones en un punto. Esto también se manifiesta en la validación de los modelos numéricos con base en series puntuales; el modelo numérico puede estar realizando un muy buen trabajo en representar la realidad, pero un error de

unos pocos metros en la ubicación del frente salino, por ejemplo, pude manifestarse como un gran error en la predicción de la salinidad en un punto.

Figura 5: Mediciones con espectroradiómetros hiperespectrales desde una embarcación.

Los satélites de observación del mar registran la reflectancia en el tope de la atmósfera para distintas bandas del espectro electromagnético de la luz, en el rango visible e infrarrojo cercano. La señal que registran los sensores satelitales está compuesta por las señales provenientes tanto del agua como de la atmósfera. Estas últimas no son despreciables y deben ser removidas para obtener la reflectancia del agua a nivel del mar. La reflectancia del agua refiere a la fracción de la energía electromagnética incidente por unidad de área, en este caso proveniente del sol, que retorna desde el cuerpo de agua. La forma y la magnitud del espectro de reflectancia son el resultado del tipo y la concentración de las sustancias que se encuentran disueltas y particuladas en el agua.

Los altos valores de turbidez y clorofila-a que se dan en el Río de la Plata, pero principalmente su alta variabilidad temporal y espacial, limitan el uso de algoritmos de corrección atmosférica y de procesamiento del espectro de reflectancia desarrollados en otros ambientes para estimar los sedimentos en suspensión y la clorofila-a, entre otros parámetros. Esto hace necesario, primero, realizar mediciones a nivel del mar del espectro de reflectancia del agua utilizando espectroradiómetros en simultáneo con el pasaje de los satélites, de forma de poder evaluar el desempeño de los algoritmos de corrección atmosférica (figura 5). Segundo, realizar análisis en el laboratorio de muestras de agua tomadas también en simultáneo para caracterizar los principales componentes ópticamente activos[4] del agua (concentración de sedimentos en suspensión, absorción de materia orgánica coloreada disuelta, concentración de clorofila-a y eventualmente otros parámetros, como concentraciones de pigmentos algales o tamaño de partículas en suspensión; figura 6). Estas actividades se desarrollaron en el IMFIA con el apoyo del Fondo María Viñas de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y durante tres años se realizaron mediciones simultáneas al pasaje del satélite Sentinel 2 en la costa del departamento de San José, que permitieron validar un algoritmo de

4 Un componente ópticamente activo es aquel cuya variación produce cambios detectables en la magnitud o la forma del espectro de reflectancia del agua.

corrección atmosférica, evaluar índices para estimación de turbidez y clorofila-a existentes, y desarrollar nuevas metodologías para estimar turbidez, materia orgánica coloreada disuelta y clorofila-a a partir de las imágenes de Sentinel 2 (IMFIA, 2021a; Maciel y Pedocchi, 2021; Maciel *et al*., 2023). A partir de estos resultados fue posible generar mapas con la variabilidad espacial de estos parámetros con una resolución del orden de los 10-20 metros (figuras 7 y 8).

El avance en los sensores que equipan los satélites es permanente y es de esperar que en los próximos años se cuente con misiones hiperespectrales y mejores herramientas para su procesamiento en zonas costeras. Esta mayor resolución en el espectro de reflectancia permitirá mejorar la cuantificación y caracterizar en mayor detalle los componentes que se encuentran en el agua.

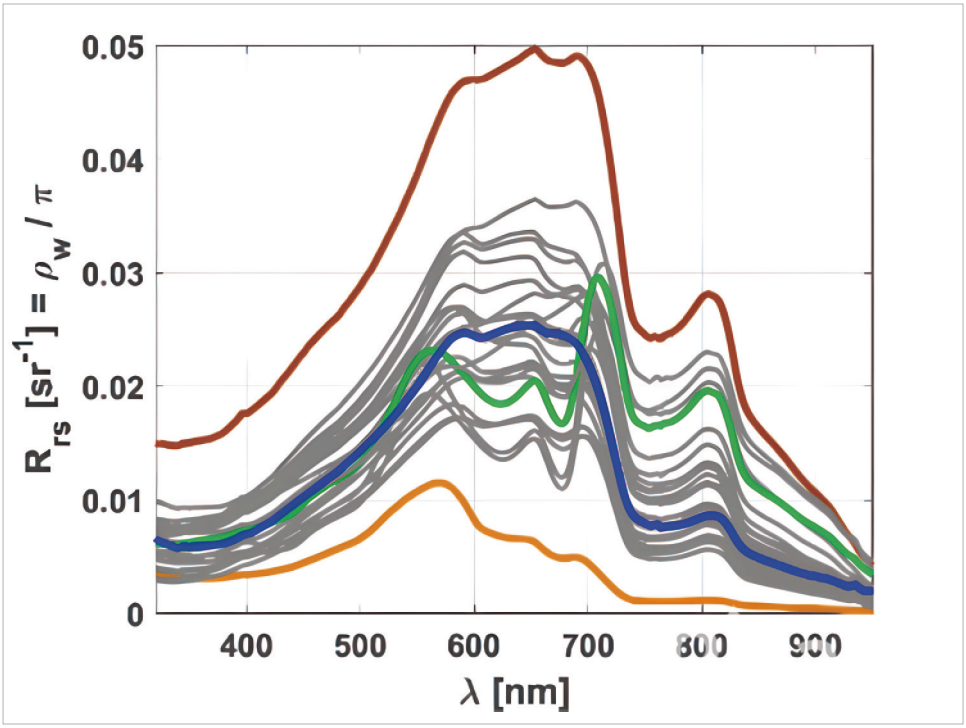


Figura 6: Espectros de reflectancia para distintas condiciones de las aguas del Río de la Plata. Las curvas marrones muestran dos casos de muy baja y muy alta turbidez, la curva azul muestra un caso de baja concentración de clorofila-a y la verde un caso de alta concentración. Tanto el valor como la forma de los espectros permiten identificar y cuantificar las sustancias que se encuentran en el agua.

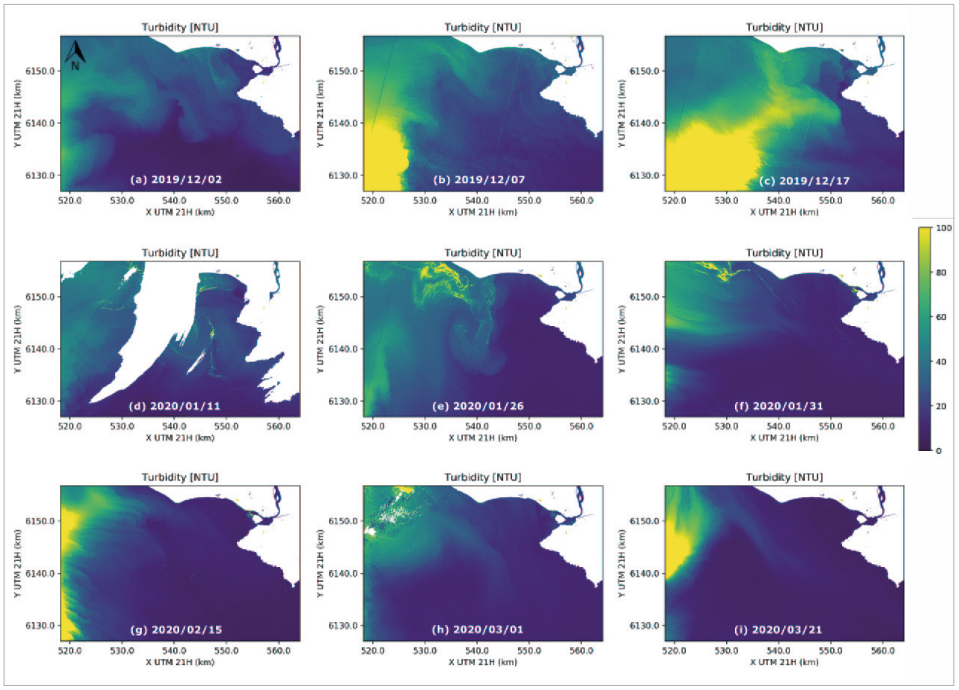


Figura 7: Mapas de niveles de turbidez superficial en la costa norte del Río de la Plata, en la zona de la desembocadura del río Santa Lucía en el verano 2019-2020. Interesa notar que el mapa del panel (d) está afectado por la presencia de nubes. Fuente: Maciel et al.*, 2023.*

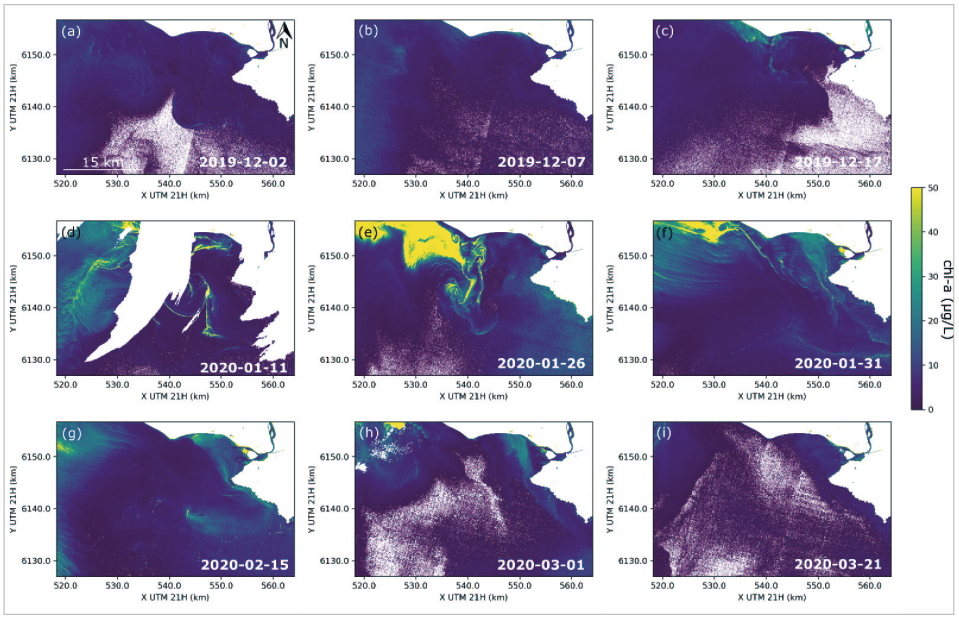


Figura 8: Mapas de concentraciones de clorofila-a superficial en la costa norte del Río de la Plata, en la zona de la desembocadura del río Santa Lucía en el verano 2019-2020. Interesa notar que el mapa del panel (d) está afectado por la presencia de nubes. Fuente: Maciel et al.*, 2023.*

Imágenes tomadas desde aeronaves no tripuladas

En los últimos años se ha popularizado el uso de aeronaves no tripuladas (drones), lo que permite adquirir imágenes desde la altura, que anteriormente sólo podían lograrse utilizando una avioneta. También comenzaron a comercializarse cámaras multiespectrales que registran bandas adicionales más allá de las bandas roja, verde y azul (RGB) de las cámaras a color tradicionales. La combinación de una cámara multiespectral instalada en un dron permite obtener, con un costo acotado, coberturas espaciales relativamente importantes con resoluciones mucho mayores a las que brindan los satélites y a demanda, es decir, no solamente cuando pasa un satélite. Esto es especialmente útil para estudios locales en zonas particulares del Río de la Plata. En el marco de un proyecto gestionado por la CSIC y financiado por la UTE (IMFIA, 2021c), se realizaron mediciones y se desarrollaron herramientas informáticas para procesar imágenes tomadas con una cámara multiespectral en una aeronave no tripulada. Los trabajos permitieron, por ejemplo, observar la extensión de la pluma de descarga de agua caliente de la Central Térmica de Punta del Tigre utilizando una cámara infrarroja (figura 9).

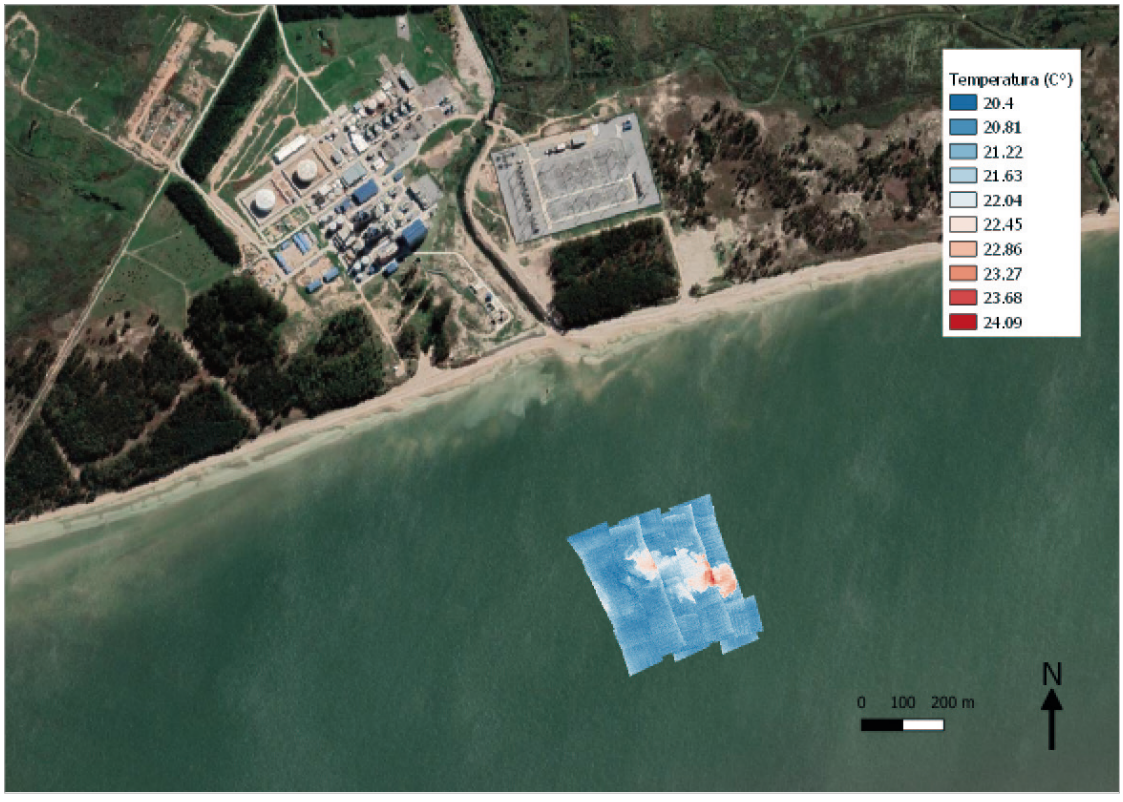


Figura 9: Vista de la Central de Punta del Tigre, mostrando la pluma de agua caliente medida desde una aeronave no tripulada con una cámara infrarroja térmica.

Modelación numérica

Generalidades

Además del monitoreo y los análisis teóricos, el desarrollo y el uso de modelos numéricos hidrodinámicos y de transporte de sustancias, que resuelvan las variables de flujo (niveles, corrientes), el oleaje y las propiedades determinantes para el transporte de sustancias (temperatura, salinidad, sedimento en suspensión), resulta algo imprescindible hoy en día para la gestión de la calidad ambiental del mar territorial uruguayo. A pesar del alto costo computacional de estos modelos (especialmente cuando se simulan procesos tridimensionales), el gran incremento de capacidad de cómputo que se ha dado en los últimos años, por el desarrollo de *hardware* principalmente, ha permitido superar esa barrera y en la actualidad esto no es un obstáculo. En ese sentido, Uruguay cuenta con el Centro Nacional de Supercomputación (ClusterUY), una plataforma de computación de alto desempeño que posee la capacidad de gestionar en forma coordinada múltiples recursos de cómputo y es utilizada por científicos e investigadores de todo el país.

En esta segunda parte del capítulo se describen las implementaciones de modelos numéricos en el mar territorial uruguayo desarrolladas para resolver: 1) la dinámica de mareas, 2) la dinámica del campo salino, 3) la dinámica de los sedimentos finos, 4) la generación y la propagación del oleaje y 5) la dinámica costera. Para cada uno de estos modelos se referencian las ecuaciones gobernantes, se describen las principales características de las mallas de cálculo y forzantes, y los procesos de calibración y validación realizados.

Modelos hidrodinámicos 2D

La hidrodinámica del Río de la Plata y su frente marítimo depende fuertemente de las mareas astronómica y meteorológica que ingresan desde el océano Atlántico (Santoro *et al*., 2013) y de los forzantes locales (atmosféricos, caudales erogados por sus afluentes, etc.). Por tanto, para estudiar la dinámica de mareas en el mar territorial uruguayo se desarrolló un modelo regional que resuelve la marea en el océano Atlántico Sur y modelos locales que reciben dicha condición de borde y resuelven la propagación de la marea en el mar territorial uruguayo.

El modelo regional del Atlántico Sur desarrollado en el IMFIA se denomina AStide (Martínez *et al*., 2015). El AStide utiliza la versión bidimensional barotrópica del modelo numérico en volúmenes finitos MOHID, desarrollado en el Instituto Superior Técnico - Maretec de Portugal (Mateus y Neves, 2013). En el marco de un proyecto de investigación financiado por la CSIC-Udelar (IMFIA, 2015), dicho modelo permitió realizar un pronóstico retrospectivo de niveles (*hindcast*) para las últimas décadas. El modelo se calibró con base en los datos de niveles medidos en los mareógrafos de Mar del Plata (Argentina) y La Paloma (Uruguay). La calibración del modelo se realizó con base en un parámetro vinculado a la rugosidad de fondo. Las principales características de la implementación y de la calibración del modelo regional de niveles AStide se presentan en la tabla 1 y en la figura 10.

Tabla 1: Características principales de la implementación AStide del modelo numérico MOHID para resolver la propagación de las mareas en el océano Atlántico Sur

Malla de cálculo	
Dominio	Océano Atlántico Sur [22S; 54.4S] - [70W; 45.5W]
Coordenada horizontal	Latitud-Longitud
Resolución horizontal	0,1°x0,1°
Resolución vertical	1 capa (modelo 2D)
Forzantes	
Océanico	Armónicos de marea FES2004
Fluvial (ríos Uruguay y Paraná)	Caudal medio histórico (25.000 m^3/s)
Atmosférico	Viento del NCEP reanálisis CFSR/CFSRv2 0,5°x0,5° cada 6 horas
Calibración	
Parámetro	Coeficiente de fricción de fondo
Variable de control	Nivel de mar
Estaciones control (RMSE)	Mar del Plata (0,22m) La Paloma (0,21m)
Simulaciones	
Período disponible	1985 a 2022
Frecuencia resultados	Datos horarios

Para representar la dinámica de mareas en todo el mar territorial uruguayo se generó en el año 2018 un *hindcast* de mareas de 35 años (Jackson *et al*., 2018), con base en la implementación y la calibración del modelo bidimensional TELEMAC-MASCARET.[5] El desarrollo del *hindcast* se realizó en el marco de los estudios del convenio con el Plan Nacional de Adaptación de la Zona Costera (NAP-Costas) (IMFIA, 2020a). El modelo TELEMAC-MASCARET trabaja en una grilla en elementos finitos y para estudiar la propagación de mareas se utiliza el modelo TELEMAC2D, que resuelve las ecuaciones gobernantes de Navier-Stokes integradas en la vertical (Hervouet, 2007). Se trata de un modelo de última generación, de código abierto, muy eficiente computacionalmente, en continuo desarrollo por grupos de reconocido prestigio internacional y con una comunidad de usuarios extendida y con fluida comunicación. El modelo se calibra con datos de niveles medidos en diversos mareógrafos de la costa uruguaya. La calibración del modelo se realizó con base en un parámetro vinculado a la rugosidad de fondo y otro parámetro vinculado al arrastre del viento en la superficie libre. Las principales características de la implementación y de la calibración del *hindcast* de niveles se presentan en la tabla 2 y en la figura 11. El *hindcast* de mareas generado forma parte del atlas de dinámicas marinas impulsado por el NAP-Costas, que está disponible para todo público en el observatorio ambiental nacional del Ministerio de Ambiente.

5 Disponible en http://www.opentelemac.org/

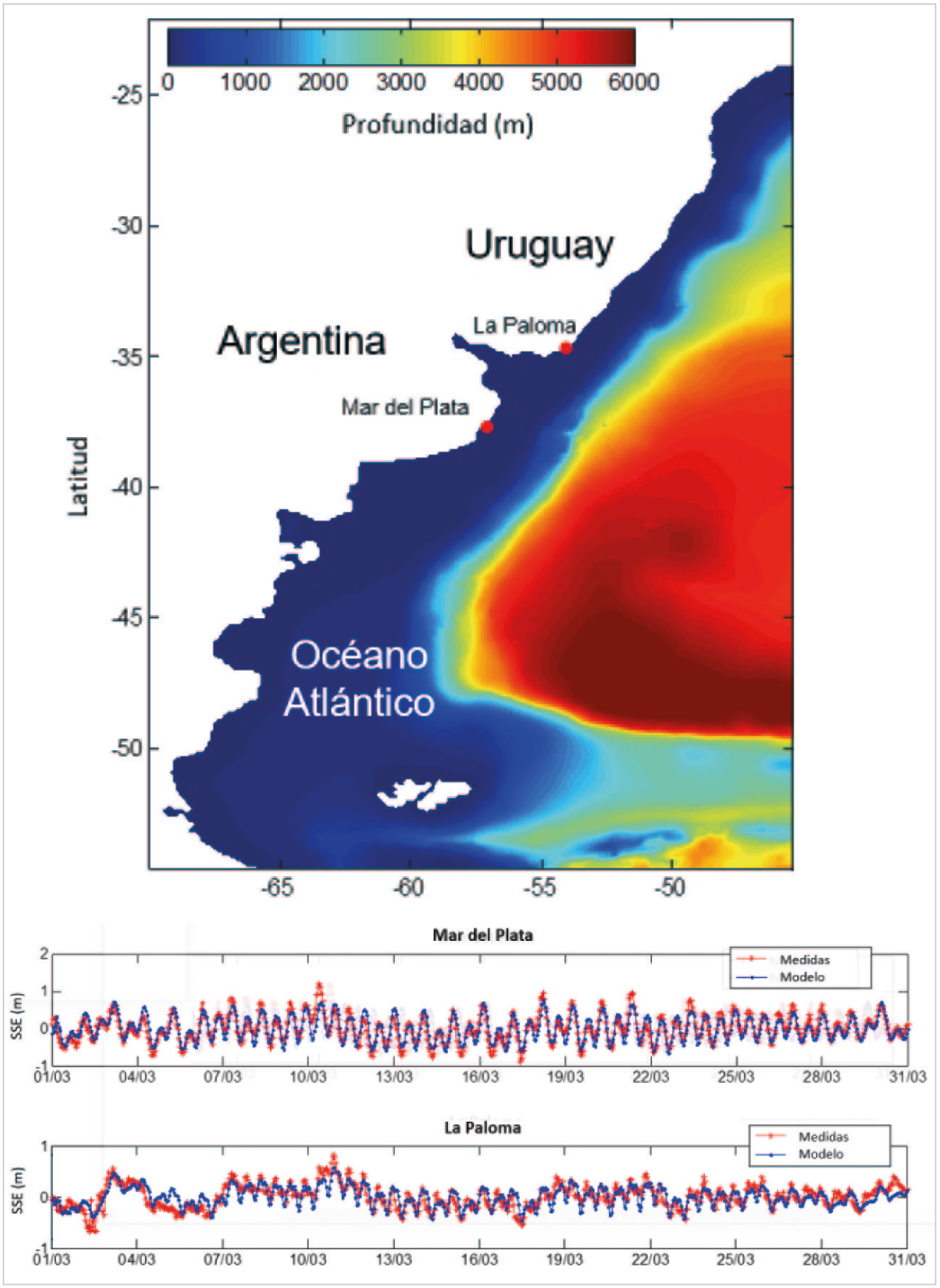


Figura 10: Panel superior: Dominio y batimetría (m) del modelo del Atlántico Sur (AStide). Panel inferior: Ejemplo de resultado del modelo calibrado, serie temporal de nivel medido y modelado en Mar del Plata y La Paloma (marzo de 2004).

Tabla 2: Características principales de la implementación del modelo numérico TELEMAC2D para generar el hindcast *de nivel de mar en el mar territorial uruguayo*

Malla de cálculo	
Dominio	Río de la Plata y Frente Marítimo entre Mar del Plata (Argentina) y Río Grande (Brasil), hasta 170 km *offshore*
Coordenada horizontal	Latitud-Longitud
Resolución horizontal	0,02°x0,02°
Resolución vertical	10 capas tipo sigma
Forzantes	
Océanico	Nivel y corrientes2D horarios modelo AStide
Fluvial (ríos Uruguay y Paraná)	Caudal diario
Atmosférico	Viento del ECMWF reanálisis ERA-INTERIM/ERA-5 0,25°x0,25° cada 6 horas
Calibración	
Parámetros	Coeficiente de fricción de fondo Coeficiente de arrastre del viento
Variable de control	Nivel de mar
Estaciones control (RMSE)	Montevideo (0,18m) Pilote Norden (0,22m) Torre Oyarvide (0,18m)
Variable de control	Salinidad
Estaciones control (RMSE)	Boya Oceanográfica (4 psu)
Variable de control	Corriente
Estaciones control (RMSE)	Boya Oceanográfica (0,18 m/s)

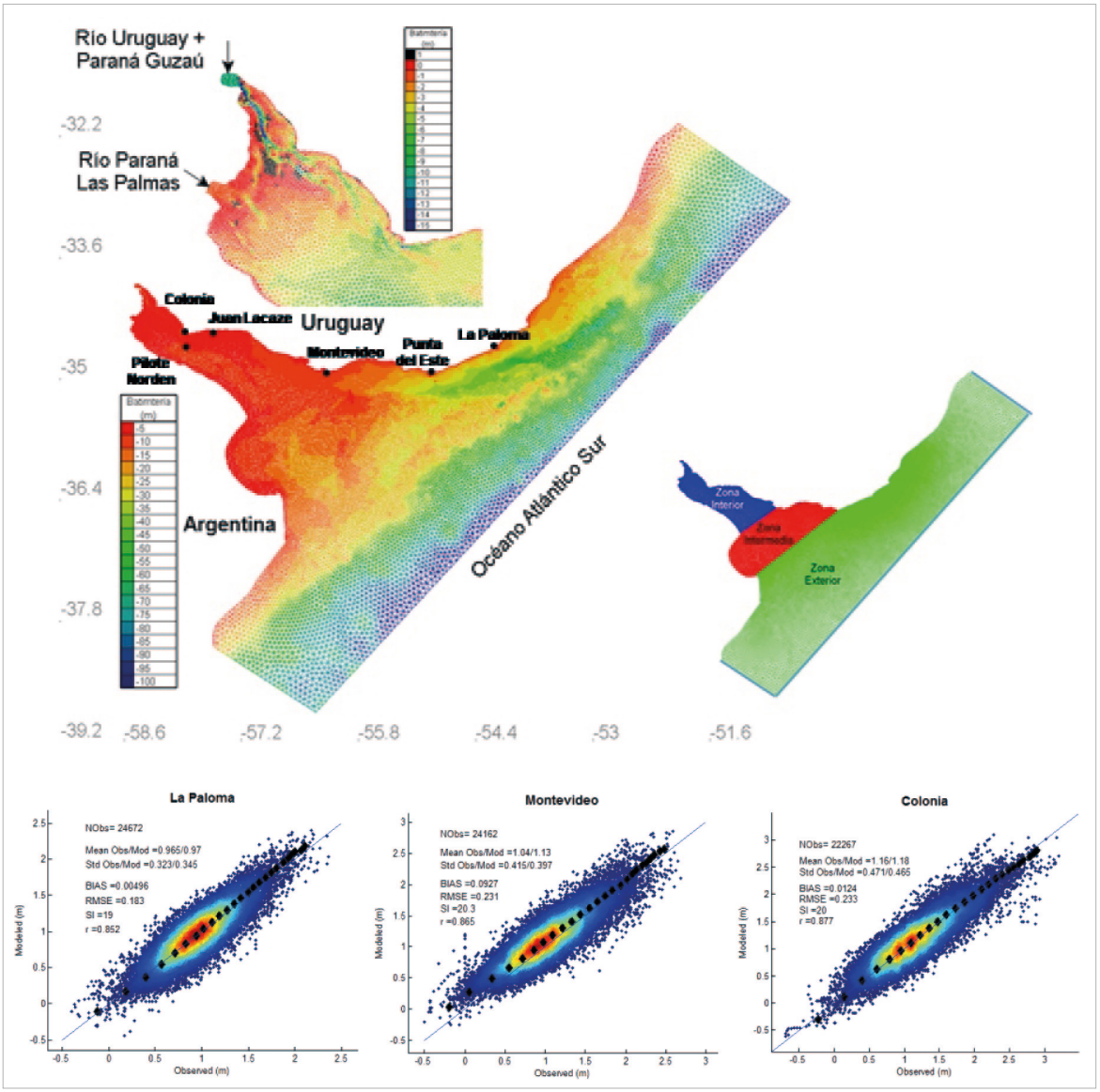


Figura 11: Panel superior: Dominio y batimetría (m) del hindcast *de nivel de mar (modelo TELEMAC2D); en el panel superior izquierdo se presenta un detalle del ingreso de los ríos Paraná y Uruguay; en el panel inferior derecho se marcan las zonas en las cuales se define distinta rugosidad de fondo y los nodos del borde oceánico donde se imponen los niveles del modelo AStide. Panel inferior: Gráficos de dispersión y cuantil-cuantil entre datos medidos y modelados con el* hindcast *en las estaciones de La Paloma, Montevideo y Colonia (modelo calibrado).*

Modelos hidrodinámicos 3D

Para estudiar las corrientes tridimensionales y la dinámica del campo salino en el mar territorial uruguayo se ha implementado y calibrado el modelo hidrodinámico baroclínico tridimensional MOHID en la zona, cuya configuración actual se denomina RPtide (IMFIA, 2015; Alonso *et al*., 2017; Jackson *et al*., 2021). El MOHID resuelve las ecuaciones 3D baroclínicas de Navier-Stokes con la promediación de Reynolds con las aproximaciones de Boussinesq e hidrostática. En la configuración actual el RPtide cuenta con 10 capas en la vertical y 3 km de resolución horizontal en todo el dominio. Esta resolución es suficiente para estudiar aspectos de la hidrodinámica 3D (Fossati y Piedra-Cueva, 2013) y del campo salino (Jackson *et al*., 2021). No obstante, el modelo permite trabajar con modelos anidados, generando submodelos en regiones del mar territorial uruguayo con mayor resolución horizontal, que reciben las condiciones de borde del modelo global. Una serie de modelos anidados fue utilizada para estudios de descargas de emisarios costeros en Montevideo y Punta de Este en el marco de convenios (IMFIA, 2007, 2008; Fossati *et al*., 2013). El modelo se ha calibrado con base en registros *in situ* de niveles, corrientes y salinidad. Las principales características de la implementación y de la calibración del modelo RPtide se presentan en la tabla 3 y en la figura 12.

La dinámica de sedimentos finos es muy relevante para el ecosistema (clima lumínico, adsorción de sustancias, etc.) y, además, es de especial interés para ciertas actividades antrópicas como la navegación y la actividad portuaria. En el IMFIA se han llevado a cabo varios estudios sobre la dinámica de sedimentos finos del Río de la Plata y su frente marítimo en general (Fossati, 2013; FREPLATA, 2011). En particular en la zona costera de Montevideo, donde se ubica la principal zona portuaria del país, el lecho está compuesto por sedimentos finos y mantener los canales de navegación requiere trabajos continuos de dragado. En el marco de proyectos de investigación (IMFIA y LHSV, 2017), tesis de posgrado (Santoro, 2017) y convenios de asesoramiento técnico (IMFIA, 2017) se han estudiado las principales características hidrosedimentológicas de la bahía de Montevideo y el recinto portuario con base en el desarrollo de un modelo tridimensional y mediciones de campo realizadas en la zona. El estudio con herramientas de modelación numérica de la morfodinámica de estos casos requiere alta resolución espacial en las mallas de cálculo implementadas para poder representar adecuadamente la geometría del dominio (canales, escolleras, etc.). Además, modelos que utilicen mallas no estructuradas presentan la ventaja de poder incrementar la resolución espacial específicamente en la zona portuaria y de canales de navegación, y representar mejor la geometría de las estructuras marítimas. Considerando entonces los procesos que deben tenerse en cuenta (por ejemplo, circulación, oleaje, transporte de sedimentos), la ventaja de utilizar mallas no estructuradas y la eficiencia computacional, se escogió como herramienta numérica el modelo TELEMAC-MASCARET (Hervouet, 2007), el cual cuenta con módulos hidrodinámicos tanto bidimensionales como tridimensionales baroclínicos (TELEMAC2D/TELEMAC3D), un módulo de propagación de oleaje (TOMAWAC), módulos de transporte de sedimentos tanto integrado

en vertical (SYSIPHE) como tridimensional (SEDI3D), entre otros. Los mencionados módulos se encuentran acoplados de manera interna, lo que permite modelar la circulación, el oleaje y el transporte de sedimento en forma simultánea sobre una misma grilla de cálculo. La discretización utilizada por el modelo es de elementos finitos.

Tabla 3: Características principales de la implementación 3D del modelo numérico MOHID para modelar la hidrodinámica y el campo salino en el mar territorial uruguayo

Malla de cálculo	
Dominio	Río de la Plata y frente marítimo entre Mar del Plata (Argentina) y Río Grande (Brasil), hasta 170 km *offshore*
Coordenada horizontal	Latitud-Longitud
Resolución horizontal	Variable: 7 km océano, 2 km zona estuario y 1 km costa uruguaya
Resolución vertical	1 capa (modelo 2D)
Forzantes	
Océanico	Nivel y corrientes2D horarios modelo AStide (con ajuste*)
Fluvial (ríos Uruguay y Paraná)	Caudal diario
Atmosférico	Viento del NCEP reanálisis CFSR/CFSRv2 0,31°x0,31° cada 1 hora
Calibración	
Parámetros	Coeficiente de fricción de fondo (variable espacialmente) Coeficiente de arrastre del viento
Variable de control	Nivel de mar
Estaciones control (RMSE)	Montevideo (0,23 m) La Paloma (0,18 m) Colonia (0,23 m) Pilote Norden (0,26 m) Juan Lacaze (0,26m) Punta del Este (0,21 m)
Simulaciones	
Período disponible	1985 a 2016
Frecuencia resultados	Datos horarios

El modelo implementado incluye los principales forzantes externos que intervienen en la dinámica de flujo, sedimentos y oleaje en la costa de Montevideo: las mareas astronómica y meteorológica, así como el oleaje, que provienen del Atlántico Sur, los caudales fluviales y la carga de sedimentos que descargan en el Río de la Plata (ríos Uruguay y Paraná) y los afluentes locales (río Santa Lucía, arroyos Pantanoso y Miguelete), y los forzantes meteorológicos (vientos y presiones) que actúan sobre la superficie libre. Estos tres módulos han sido calibrados utilizando datos *in situ* de niveles, perfiles verticales de corrientes, salinidad, parámetros de oleaje, concentración de sedimento en suspensión y turbidez

(Santoro, 2017; Santoro *et al.*, 2017, 2018). Las principales características de la implementación y de la calibración del modelo de sedimentos finos se presentan en la tabla 4 y en la figura 13.

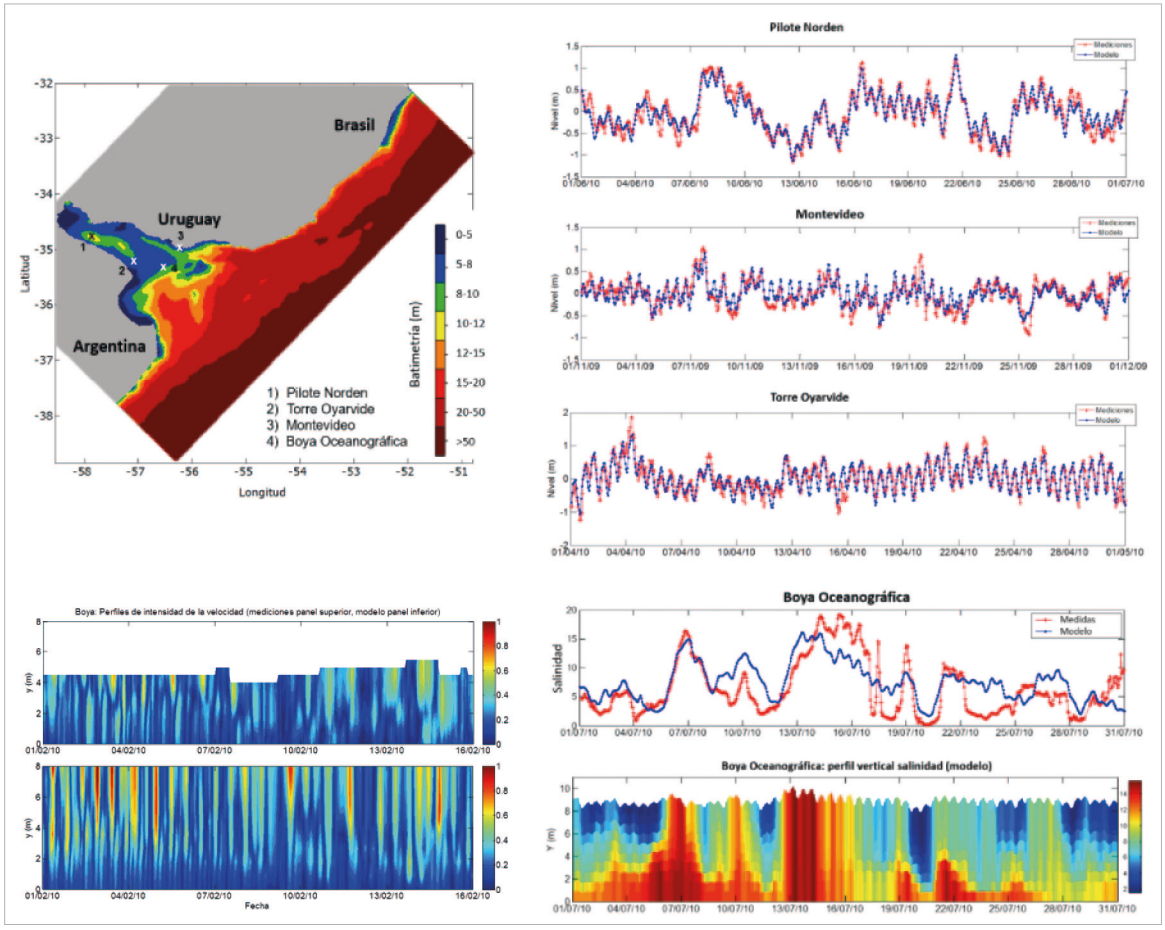


Figura 12: Panel superior izquierdo: Dominio y batimetría (m) del modelo 3D hidrodinámico baroclínico RPtide (modelo MOHID). Panel superior derecho: Ejemplo de comparación de la serie de niveles medida y obtenida con el modelo calibrado en Montevideo, Pilote Norden y Torre Oyarvide. Panel inferior izquierdo: Comparación del perfil vertical de intensidad de corriente medido y obtenido con el modelo calibrado en la boya oceanográfica. Panel inferior derecho: Comparación de la salinidad medida y obtenida con el modelo calibrado en la boya oceanográfica; ejemplo de perfil vertical de salinidad obtenido con el modelo en la boya oceanográfica.

Tabla 4: Características principales de la implementación 3D del modelo numérico TELEMAC para modelar la dinámica de sedimentos finos en el mar territorial uruguayo

Malla de cálculo			
Dominio	Río de la Plata y frente marítimo entre Mar del Plata (Argentina) y Río Grande (Brasil), hasta 170 km *offshore*		
Coordenada horizontal	UTM		
Resolución horizontal	Variable: 2 km océano, 500 m zona estuario y hasta 20m en la Bahía de Montevideo		
Resolución vertical	16 capas sigma (modelo 3D)		
Forzantes			
Océanico	Nivel y corrientes2D horarios modelo AStide		
Fluvial	Ríos Uruguay y Paraná: caudal diario Río Santa Lucía, arroyos Miguelete y Pantanoso: caudal medio		
Atmosférico	Viento y presión atmosférica en superficie del ECMWF ERA-Interim reanálisis 0,125°x0,125° cada 6 horas		
Calibración			
Parámetros	Coeficiente de fricción de fondo Coeficiente de arrastre del viento Tensiones críticas de ersosión y sedimentación Tasa de erosión en función del exceso de tensión Velocidad de caída del sedimento		
Estación de control	Montevideo		
Variables de control		CRMSE	Correlación (Pearson)
	Nivel del mar	0,19 m	0,9
	Corrientes	0,19 m/s	0,75
	Parámeteros de oleaje (Hs / Tp)	0,15m / 2,6 s	0,86 / 0,12
	Salinidad	4,58 ppt	0,57
	Concentración de sedimento en suspensión	76 mg/l	0,49
Simulaciones			
Período disponible	2014-2015		
Frecuencia resultados	Datos horarios		

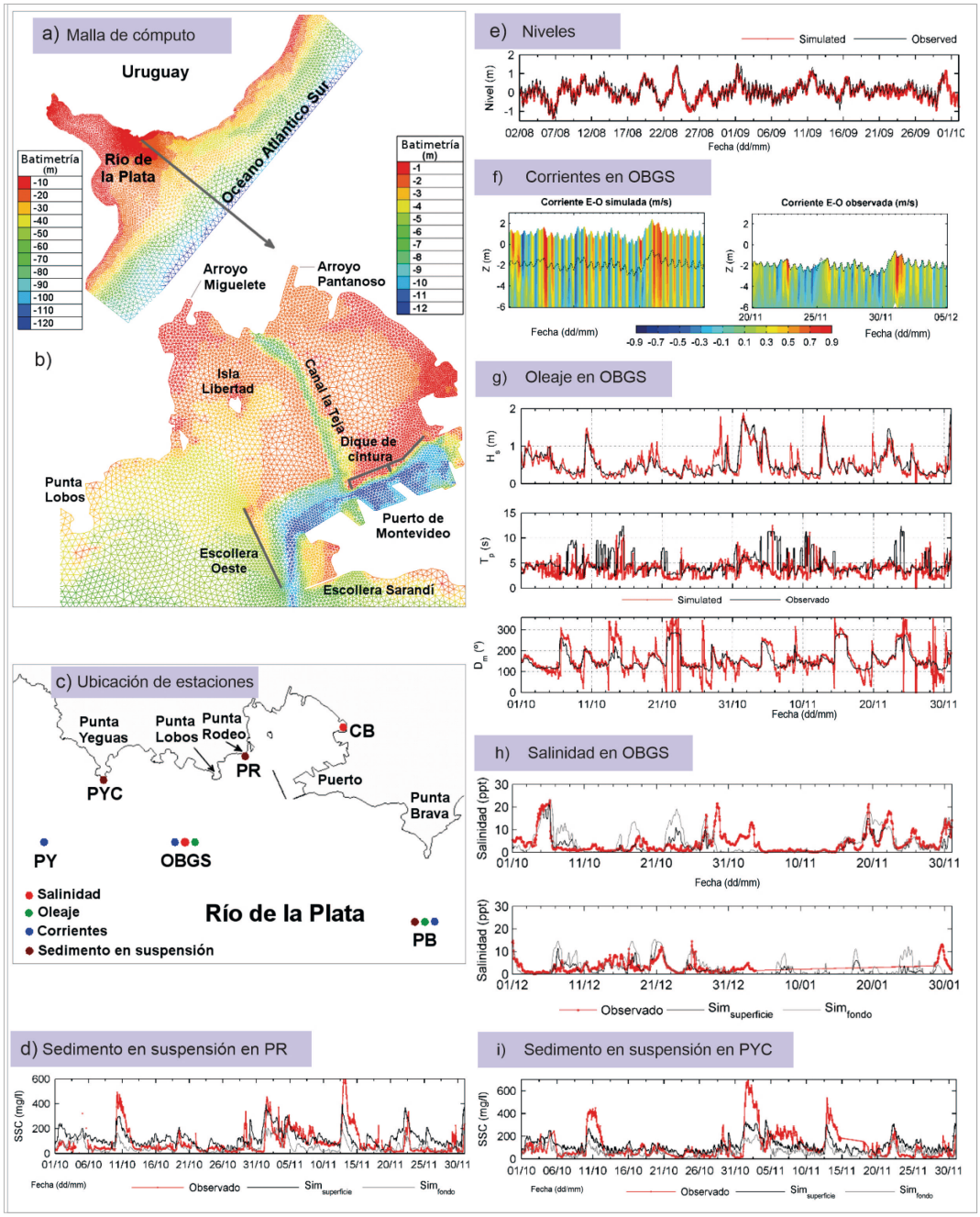


Figura 13: a) Dominio y batimetría (m) del modelo 3D hidrodinámico TELEMAC y b) detalle en la bahía de Montevideo. c) Ubicación de estaciones con datos de campo y variables disponibles. Ejemplos de comparación de resultados del modelo con observaciones para: e) niveles de mar en el puerto de Montevideo; f) corrientes en el punto OBGS (se muestra la dirección principal este-oeste); g) parámetros de oleaje (altura significativa Hs, período pico Tp y Dirección media Dm) en el punto OBGS; h) salinidad en punto OBGS; d) concentración de sedimento en suspensión en el punto PR; i) concentración de sedimento en suspensión en el punto PYC.

El modelo tridimensional permitió analizar las corrientes, el sedimento en suspensión, las tensiones de fondo y la evolución del sedimento del fondo en la costa de Montevideo y en la bahía y recinto portuario (Santoro, 2017). Dicho análisis permitió: identificar patrones de circulación en la bahía y su respuesta a los principales forzantes; cuantificar los flujos de agua y sedimento en las bocas de la bahía; identificar los principales patrones de deposición y erosión de material de fondo; y estimar tiempos de residencia mediante experimentos numéricos con trazadores. A su vez, la herramienta numérica fue utilizada para analizar el efecto de distintas obras marítimas proyectadas en la zona sobre la hidrodinámica, la dinámica de sedimentos finos y los tiempos de residencia del agua en la bahía de Montevideo y el recinto portuario (IMFIA, 2017), así como analizar el efecto de descargas de efluentes en la bahía (IMFIA, 2020c). El modelo fue utilizado también para analizar la variabilidad espaciotemporal del frente de turbidez en el Río de la Plata, combinando análisis de datos de campo, teledetección y modelación numérica (Maciel *et al*., 2021).

Modelos de propagación de oleaje

A partir de 2010, en el marco de un proyecto Fondo Sectorial de Energía (FSE) - ANII (IMFIA, 2012) se implementa en el IMFIA por primera vez un modelo numérico de oleaje que abarca toda el área marítima del país con una resolución que permite aproximarse a 5 km de la costa con resultados fiables a partir de simulaciones no estacionarias de períodos largos. El modelo utilizado fue el WAVEWATCH III (Tolman, 2009), alimentado por campos de viento del reanálisis atmosférico CFSR (Saha *et al*., 2010) y tomando como datos de referencia principal para la selección de parametrizaciones del modelo y posterior calibración datos satelitales altimétricos de altura de ola significativa (Hs). A partir de él se realizó un *hindcast* (por ejemplo, simulación retrospectiva) del período 1979-2010 con el objetivo primario de caracterizar el potencial undimotriz del país (Alonso *et al*., 2015b). Más allá de esta finalidad, la base de datos generada fue aprovechada en los subsiguientes proyectos portuarios y costeros, los cuales dispusieron de datos de oleaje de mejor calidad siguiendo una metodología que consiste en la bajada de escala (*downscaling*) del *hindcast* al sitio de cada proyecto.

Este primer *hindcast* de oleaje para Uruguay, al estar motivado por el estudio del potencial undimotriz, se enfocó principalmente en el Atlántico y si bien incluyó al Río de la Plata no se abordaron con suficiente detalle algunos aspectos relevantes que atañen a la modelación del oleaje en un cuerpo de agua con las particularidades de este estuario de grandes dimensiones. Esto motivó un segundo *hindcast*, desarrollado en el marco de un proyecto FSE-ANII (IMFIA, 2016b). Los principales avances fueron la incorporación de campos no estacionarios de niveles de mar y corrientes como datos de entrada, la mejora en la resolución de los dominios espaciales y espectrales, la actualización de las nuevas parametrizaciones disponibles en el WAVEWATCH III y la consideración en la etapa de calibración de los procesos de interacción del oleaje con el fondo. Estos avances permitieron mejorar los resultados en general y particularmente en el Río de la Plata, a la vez que, a partir de experimentos numéricos con el modelo, prendiendo y apagando

procesos y forzantes, se cuantificó su peso relativo y su distribución espacial (Alonso y Solari, 2020). Este nuevo *hindcast* permitió una caracterización exhaustiva del clima de olas a lo largo de toda la costa del país y la interpretación de su transición entre dos ambientes bien distintos, como son la costa Atlántica y la costa de la zona interior del estuario (Alonso y Solari, 2021). Se destaca que este segundo *hindcast* forma parte del atlas de dinámicas marinas impulsado por el NAP-Costas, que está disponible para todo público en el observatorio ambiental nacional del Ministerio de Ambiente.

Dinámica costera

Nuestra costa está conformada mayoritariamente por playas de arena. Al tratarse de un sedimento plausible de ser transportado por la acción del oleaje, las corrientes y el viento, la morfología de las playas experimenta cambios permanentemente. Estos cambios responden a factores tanto de origen natural —como la variabilidad climática de los agentes forzantes (oleaje, corrientes, viento y nivel de mar) y la variabilidad en las tasas de intercambio de sedimentos con el resto de las componentes del sistema costero (por ejemplo, dunas, afluentes fluviales que descargan en la costa o arcos de playa adyacentes)— como de origen antrópico, producto de intervenciones que modifiquen la hidrodinámica del sistema, restrinjan el espacio que dispone la playa para moverse, alteren el intercambio de sedimentos con las otras componentes del sistema costero o directamente extraigan o aporten arena al sistema. Cuando esta dinámica entra en conflicto con la actividad humana a través de problemas de erosión o sedimentación es que se requieren respuestas desde la ingeniería de costas y los modelos de dinámica costera son herramientas fundamentales para abordar esta tarea.

En el IMFIA se ha trabajado en la adaptación local de estos modelos y su utilización tanto para atender problemáticas de erosión y sedimentación (por ejemplo, Alonso *et al*., 2014, 2018) como para generar insumos para la gestión del espacio costero con base en conocimiento (por ejemplo, Teixeira *et al*., 2012; Teixeira y Solari, 2020; Solari *et al*., 2014, 2018).

Se hace mención a *modelos* en plural, ya que, como la dinámica costera responde a diversas escalas temporales, desde el corto plazo como (por ejemplo, la respuesta de la playa ante un evento de tormenta, en escala de horas/días) hasta el largo plazo (por ejemplo, la respuesta de la playa al aumento del nivel medio del mar, en escala de decenas de años), pasando por el mediano plazo (por ejemplo, la respuesta ante un intervención que altere el transporte litoral, en escala de meses/años), se debe recurrir al tipo de modelo que sea más eficiente y eficaz para resolver la escala donde se busca poner el foco. Para los análisis de corto plazo se ha recurrido a los modelos de base física a partir de procesos XBeach (Roelvink *et al*., 2009) y Delft3D (Delft, 2020); para el mediano plazo se ha trabajado con modelos de una línea como el Shoreline-S (Roelvink *et al*., 2020) e implementando un código propio en Matlab®; mientras que para el largo plazo se ha trabajado con modelos de equilibrio (por ejemplo, MepBay, Klein *et al*., 2003) y modelo de respuesta de la playa al aumento del nivel medio del mar (ShoreTrans, McCarroll *et al*., 2021).

Aplicaciones

Evaluación de energías marinas (undimotriz y mareomotriz) en el mar territorial uruguayo

Las energías marinas en Uruguay por ahora sólo han sido analizadas desde el ámbito académico. Se han realizaron tres proyectos con el apoyo de la ANII, a través del FSE. Dos de ellos fueron sobre energía undimotriz: URU-WAVE I, entre 2010 y 2012 (IMFIA, 2012), y URU-WAVE II, entre 2014 y 2016 (IMFIA, 2016b), y el otro sobre corrientes marinas, entre 2014-2016 (IMFIA, 2016c). Además, investigadores uruguayos participan en dos proyectos internacionales sobre energías marinas: uno en el marco de ERANET - LAC: SUSME y el otro en el marco de CYTED: REMAR, ambos iniciados en 2019 y activos en 2023.

Situado en latitudes medias con una costa micromareal, la energía undimotriz parece ser la forma de energía amarina más adecuada para el aprovechamiento en Uruguay. En este sentido, se desarrollaron dos *hindcasts* de oleaje (Alonso *et al*., 2015b; Alonso y Solari, 2020), a partir de los cuales se investigó el clima de oleaje (Alonso y Solari, 2021) y se evaluó el recurso oleaje, tanto aislado (Alonso *et al*., 2015b) como en combinación con corrientes marinas (Alonso *et al*., 2017).

En cuanto a los dispositivos de captura, priorizando los dispositivos *nearshore*, donde la generación de energía eléctrica puede realizarse en tierra, la investigación uruguaya se ha centrado en un tipo de WEC conocido como Oscillating Wave Surge Converter (OWSC), que bombea agua oceánica en tierra mediante un cilindro hidráulico. Partiendo de una aproximación analítica que permitió evaluar el potencial técnico de este dispositivo ubicado en el rompeolas del puerto de La Paloma (Alonso *et al*., 2015a), la investigación continuó con un modelo físico 1:10 del OWSC bajo oleaje regular e irregular realizado en el gran canal de oleaje del IMFIA (Brito *et al*., 2019a, 2020). El experimento fue acompañado de estudios numéricos (Brito *et al*., 2019b) y también de un estudio experimental del cilindro hidráulico utilizado como toma de fuerza (Brito *et al*., 2017).

Para las pruebas de laboratorio de los *wave energy converters* (WEC), el IMFIA dispone de un gran canal de olas, que mide aproximadamente 60 m de largo (dirección de las olas), 1,5 m de ancho y 1,8 m de profundidad, y está equipado con un generador de olas de tipo pistón. Este generador de olas está controlado por AwaSys 6 (Andersen y Frigaard, 2014), que puede generar olas regulares e irregulares con absorción activa de las olas reflejadas. Al final del canal de olas, hay una playa de absorción pasiva con una pendiente longitudinal de 0,3 m/m.

Con base en los resultados del modelo de corrientes 3D RPtide y del oleaje calculado por el *hindcast*, se realizó la determinación de las zonas del mar territorial uruguayo potenciales para la obtención de energía mareomotriz y undimotriz (Alonso *et al*., 2017). Como resultado se generaron mapas de energía potencial para ambas fuentes, que fueron superpuestos con otros usos para identificar zonas de posible explotación. Los resultados confirman que, debido a que se trata de una zona micromareal, la energía de

oleaje es de mayor magnitud que la energía hidrocinética. Los estudios muestran un potencial de energía undimotriz de 30 kW/m en el rompiente de la plataforma continental, es decir, a 200 km de la costa, que disminuye a 20 kW/m a 70 km de la costa y a unos 10 kW/m cerca de la costa atlántica en la isóbata de 20 m (figura 14), mientras que en el Río de la Plata exterior, debido a su escasa profundidad, las olas de tormenta se disipan por la fricción del fondo y el recurso energético de las olas disminuye de 7 kW/m a 1 kW/m e incluso a valores inferiores al pasar a la zona intermedia e interior del estuario. La zona exterior del mar territorial uruguayo se identifica como la zona más prometedora para implementar granjas experimentales de energía marina, incluso para testear ambas fuentes.

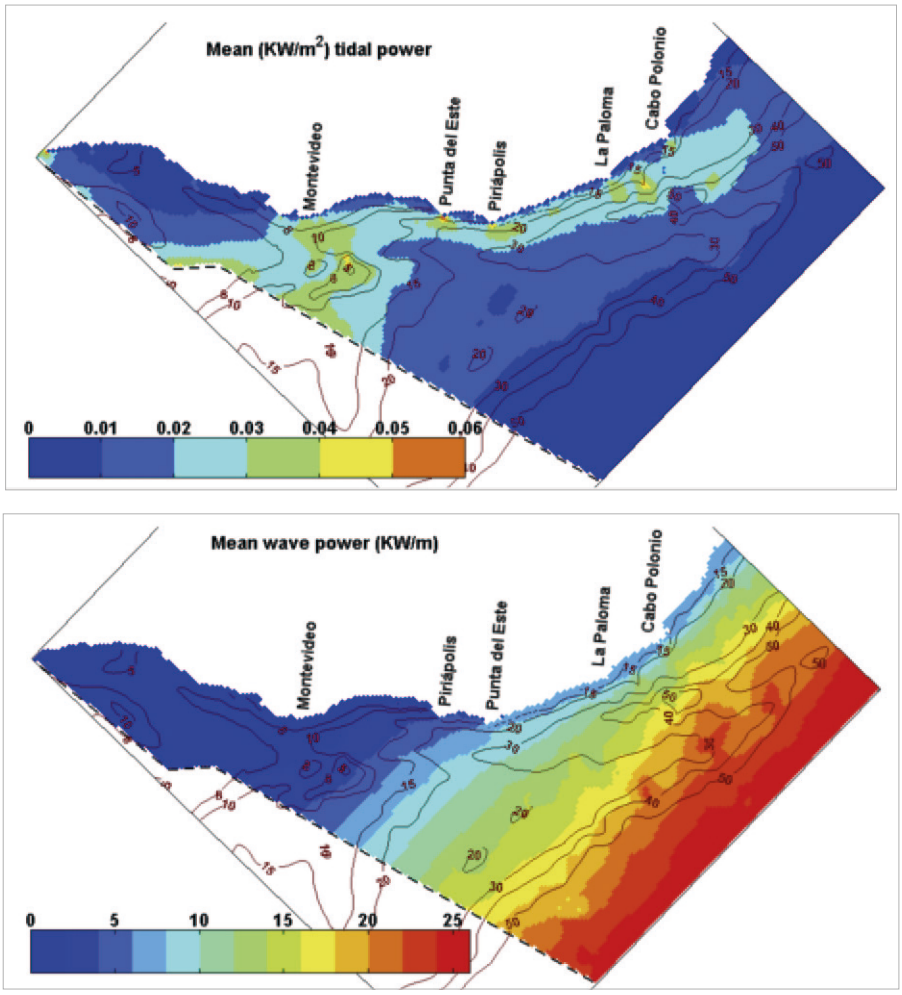


Figura 14: Panel superior: Mapas de potencia hidrocinética por unidad de superficie (kW/m²) (valor medio) calculados utilizando la velocidad de la corriente promediada en profundidad. Panel inferior: Mapas de potencia media de las olas por unidad de longitud (kW/m). Fuente: Alonso et al. *(2017).*

Cuantificación de los efectos del cambio climático sobre el nivel del mar en la costa uruguaya

Con base en los modelos de marea descriptos (AStide y *hindcast* local), se realizó un estudio de la cuantificación del efecto del cambio climático en los niveles de mar en el mar territorial uruguayo (Jackson, 2021; Jackson *et al*., 2022a, 2022b). Con la aproximación de *downscalling* dinámico, se utilizaron las proyecciones de vientos superficiales y presiones a nivel de mar de modelos climáticos globales correspondientes a la fase 5 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) para forzar los modelos de marea. Las simulaciones de nivel de mar se realizaron para tres horizontes temporales: histórico (1985-2005), corto plazo (2027-2045) y largo plazo (2082-2100), y para dos escenarios: RCP 4.5 y RCP 8.5.

Del trabajo realizado se concluye que la principal componente del cambio en el nivel del mar es el aumento del nivel medio del mar, siguiéndole el efecto que este aumento tiene sobre la marea astronómica. Además, se obtuvo que los cambios en los residuos meteorológicos de marea asociados a los cambios potenciales en los patrones atmosféricos de circulación son despreciables en el área de estudio. El cambio en la media de nivel de mar total a largo plazo y para el escenario más severo RCP 8.5 es de 61 cm, mientras que el aumento en el cuantil 99% a largo plazo para el escenario más severo RCP 8.5 alcanza los 74 cm en la zona costera desde Colonia hacia el interior del estuario y los 71 cm en la zona costera de Montevideo. Estos resultados reafirmaron la necesidad de utilizar la metodología de *downscaling* dinámico para proyectar los cambios en el nivel de mar total en áreas estuariales de poca profundidad y gran ancho, como el mar territorial uruguayo, ya que esta metodología resuelve las interacciones que puede haber entre las ondas de marea astronómica y meteorológica y el nivel medio del mar, algo que no se representa con la aproximación de *downscaling* estadístico.

Sistema de pronóstico PronUY_RPFM

En Uruguay existe actualmente el sistema de pronóstico de condiciones metoceánicas en las aguas territoriales marítimas, PronUy_RPFM. El sistema cuenta actualmente con un producto disponible en tiempo real: el pronóstico del nivel de mar horario para los próximos tres días, el cual se evalúa contra datos *in situ* recolectados por mareógrafos y publicados en tiempo real.[6]

El sistema de pronóstico desarrollado tiene cinco componentes: 1) extracción de datos externos, 2) base de datos, 3) modelo numérico, 4) evaluación del sistema y 5) difusión. Estos componentes se relacionan entre sí y son ejecutados de manera secuencial. El primer componente (extracción de datos externos) se refiere a la descarga y curaduría diaria de datos que necesita el modelo numérico para realizar las simulaciones (como, por ejemplo, los forzantes externos provenientes de modelos globales) o para evaluar los resultados (mediciones de mareógrafos en el área de estudio). El segundo componente es el mantenimiento de base de datos, donde se acumulan tanto los datos descargados como los resultados del pronóstico. El tercer

6 Disponible en https://www.fing.edu.uy/imfia/pronostico-marea/

componente (el modelo numérico hidrodinámico) es lo que define el prototipo específico del pronóstico y refiere a las características de implementación del modelo (modelo numérico, dominio, malla de cálculo, forzantes, parámetros, variables, entre otros). El cuarto componente (evaluación del sistema) incluye todos los aspectos de evaluación de la calidad del pronóstico, lo cual son utilizados datos medidos *in situ* (niveles de mareógrafos) en toda la zona de interés. El quinto componente incluye el diseño y la ejecución de la interfaz del pronóstico de manera pública para todo usuario y en tiempo real.

El proceso de trabajo mantiene dos ambientes: desarrollo y producción. En la modalidad de desarrollo es donde se desarrollan y testean distintas variaciones de un prototipo (condición de borde, parámetros del modelo numérico, períodos históricos, etc.) y una vez que los cambios son definitivos se pasan a la modalidad de producción, que corresponde al prototipo ejecutado en tiempo real y difundido públicamente.

El prototipo actual (prototipo_1) del sistema de pronóstico desarrollado está automatizado y en funcionamiento desde el año 2021, publica resultados en tiempo real y refiere al pronóstico de niveles de marea. El modelo numérico es forzado con pronósticos diarios de modelos globales (oceánico y atmosférico). El sistema se ejecuta una vez al día generando un pronóstico hidrodinámico con un horizonte temporal de tres días. En la figura 15 se resume en forma gráfica la arquitectura del sistema diseñado, con las principales interacciones entre los diferentes componentes y el orden cronológico de las tareas. El modelo numérico de base utilizado es el TELEMAC2D y es forzado con el pronóstico diario oceánico global RTOFS- HYCOM y el pronóstico meteorológico global del NCEP (NOAA), ambos con información horaria. El pronóstico de niveles es evaluado en tiempo real con datos medidos *in situ* por diez mareógrafos ubicados en al área de estudio cuyos datos están disponibles en línea publicados por Argentina y Uruguay y son descargados diariamente por el sistema. El modelo hidrodinámico fue calibrado con base en la modificación de los parámetros vinculados a fricción de fondo y tensión de corte superficial del viento. Como resultado, el modelo ha sido ajustado y el pronóstico disponible permite predecir los niveles con buena calidad tanto en condiciones medias como en condiciones de niveles extremos altos y bajos (Balparda *et al*., 2022).

Para el desarrollo de este pronóstico se trabaja de manera interdisciplinaria, entre ingenieros especialistas en computación y especialistas en modelación numérica de estuarios, y actualmente se están sumando especialistas en modelación atmosférica para generar un producto específico de PronUY_RPFM de pronóstico local de vientos y presiones con el modelo de atmosfera WRF. Además, se está desarrollando la implementación de un pronóstico de propiedades del agua, salinidad y temperatura en el Río de la Plata y frente marítimo, con base en el modelo numérico MOHID utilizado para desarrollar el pronóstico operacional de Portugal.[7]

7 Disponible en http://forecast.maretec.org/aqua/index.html

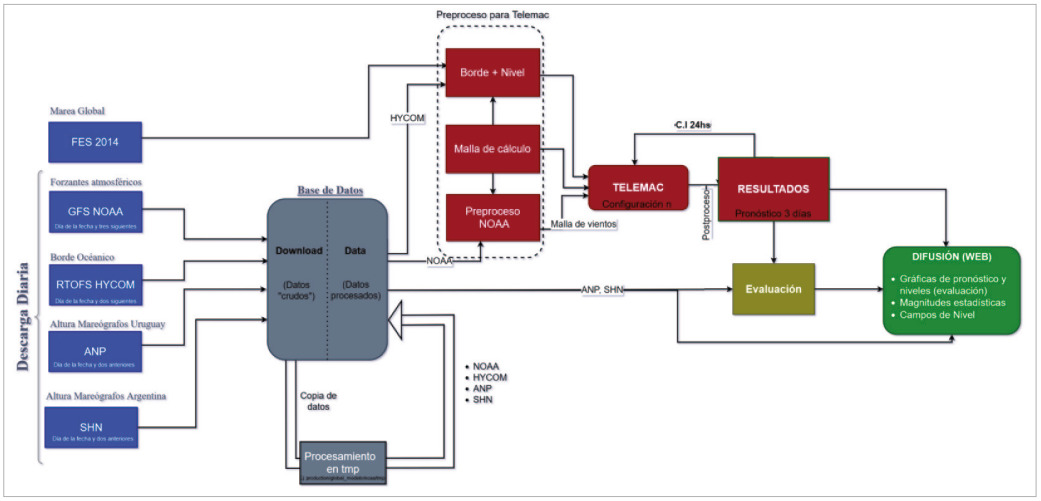


Figura 15: Diagrama general del sistema de pronóstico PronUy_RPFM, donde se incluyen los componentes (acceso a datos externos en azul, base de datos en gris, modelo numérico en rojo, evaluación en amarillo y difusión en verde) y las interacciones entre ellos.

Desafíos

El país tiene la oportunidad actualmente de avanzar en el conocimiento y la gestión de su mar territorial aprovechando el gran avance reciente en la capacidad de recolección de datos *in situ* y la gran disponibilidad actual de información remota. Esta información recolectada, correctamente depurada y analizada, y en conjunto con el desarrollo de herramientas tecnológicas como los modelos numéricos, permitirá resolver de manera integrada aspectos de gestión de nuestra zona marítima. Desde el IMFIA y la Facultad de Ingeniería hemos mostrado cómo las investigaciones aplicadas generan conocimiento local que puede volcarse al desarrollo nacional y, en concreto, avanzar en un sistema integrado de pronóstico que esté disponible en tiempo real y de manera operativa para todos los usuarios.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Fossati, M., R. Alonso, F. Maciel, R. Mosquera, P. Santoro, S. Solari y F. Pedocchi, 2024, Desafíos desde la ingeniería marítima: bases para el desarrollo de un sistema de pronóstico integrado del territorio marítimo nacional, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 321-353, doi: 10.70952/a8827tmuc4-1

Capítulo 4.2
Desarrollo marítimo y navegación
Delineatio omnium oram totius Australis partis Americæ, dictæ Peruvianæ, à R. de la Plata, Brasiliam & Castellum Desiderii extendentis, usq; ad promont. floridæ, vulgo, cabo de la florida: Item Isthmi inter Panamam & Nombre de dios, Terræ Peru auriferæ, cum ejus metropoli Cusco, & comodissimo portu Limæ: Orarum etiam Chilæ, freti inter terram Patagonum, & terram del fuego, vulgo Estrecho de Fernando Magallanes. Et omnium portuum, insularum, scopulorum, pulvinorum, & vadorum, tractusq; ventorum, ex optimis Lusitanicis cartis hydrographicis delineata atq; emendata.
Arnoldus Florentius à Langren, Author & Sculptor.
1596
Tropicus Capricorni
Estrecho de Fernando Magallanes
Terra do Fogos
Terra Noua
Terra da Pescaria
Baja Fremosa
Terra del Fuego
C. de S. Thoma
R. de los Pescadores
B. da Lagoa
B. de muchas Islas
C. de Seado
Carripana
R. del Fuego
R. Grande
P. del Nort
Bolcanos
B. de Gente grande
C. de Seado
C. de las Baxas
Lago Serado
G. de Pescaria
Terra alta
Lagunas de Farillonas
Ilha Queimada
R. da Pescaria
blanco
C. do Norte
J. de Acençam
Punta Razo
Ilha de Lobos
Miliaria Germanica, quorum 15 uni gradui respondent
Hispanicæ leucæ 17½ uni gradui correspondent
CHILE
Patagonum regio, ubi incolæ sunt Gigantes 9. & ad summum 10. pedes longi, facies suas variis coloribus ex diversis herbis expressis pingunt.
Terra de Sedros
Rio de Sabrido
Los coronados
Montañas de Gigantes
Camechinganes
Giumumacus
Osteco S. Miguel de Timman
Talabora
Rio Pati
Cordaba
Mepenes
Rio de Tercyron
Rio dos Quilgoas
Rio Xanaes
Rio de Mecoreas
Nin gatas
S. Spirito
S. Anna
Rio de Lucan
Rio de Caramagna
Rio de Calcerania
Rio de la Plata
R. Negro alias de Leperi
Mor pion
S. Francisco
Tououpi nambaultij
Oueta cares
Taba iarres
Margaiates
PERVVI
Hanc bestiam, quæ a quibusdam Haute, & à Tououpinambaultis Brasiliæ populo Hay vocatur, nemo ut scribunt, vel edentem vel bibentem unquam vidit hinc quidam opinantur eam neque cibum capere, neque potu ali, neque alio alimento, quam haustu aeris vivere.
ANA
PARANA
Rio Paragioa
Rio Parana
Rio Paraguate
ACVTIA
BR SI
Paixos dos Castellanos
Parana vocatur.
C. Frio
J. de S. Clara
J. de S. Catharina

Delineatio Omnium Orarum Totius Australis Partis Americae, Dictae Peruvianae, a R. de la Plata, Brasiliam, Pariam, &... Arnold Florent van Langren, Ámsterdam, 1596. Publicado en Jan Huyghen van Linschoten. Itinerario, voyage ofte schipvaert, van Ian Huygen van Linschoten naer de Oost ofte Portugaels Indien, inhoudende een corte beschrijvinghe der selver landen ende zeecusten... Fuente: Biblioteca Digital Real Academia de la Historia (https://bibliotecadigital.rah.es/es/consulta/registro.do?id=62207).

Capítulo 4.2
Desarrollo marítimo y navegación

Mónica Ageitos[1]

[1] *Centro de Navegación*

Introducción

El amplio desarrollo de las costas marítimas y fluviales del Uruguay, la navegación de sus ríos y arroyos internos, la naturaleza y las condiciones de sus puertos naturales en la zona atlántica, el Río de la Plata y el río Uruguay, el intenso tráfico marítimo y fluvial que caracteriza a la gran cuenca del Plata, por ser ella el centro de un comercio activísimo, han obligado a los diversos gobiernos a prestar atención preferente a los problemas de la navegación de ultramar, fluvial y de cabotaje (López Campaña y Castells Carafi, 1925).

Así, se han protegido y potenciado la navegación y el comercio desde las ideas políticas, pero también desde las normas jurídicas, la infraestructura y el desarrollo de los servicios. Las ayudas a la navegación, el balizamiento de las vías marítimas y fluviales, la facilitación de la navegación por terceras banderas, la protección y los beneficios a la bandera nacional, así como a banderas de países hermanos, son algunos de los ejemplos de la importancia de este desarrollo en el Uruguay.

Las principales vías navegables de integración regional que nutren al país de buques y mercaderías son la hidrovía Paraguay-Paraná, el Río de la Plata y el río Uruguay. En este sentido, este capítulo reseña los aspectos más sobresalientes que hacen a la utilización de esas vías de navegación que se encuentran al servicio de los buques e instalaciones portuarias de nuestro país.

Hidrovía Paraguay-Paraná

Con el nombre de hidrovía Paraguay-Paraná se conoce al sistema fluvial platense que recorre longitudinalmente 3.442 kilómetros desde el puerto de Cáceres al puerto de Nueva Palmira, integrado por el Canal Tamengo y los ríos Paraguay y Paraná, incluyendo los brazos de este último en su desembocadura.

Se trata de un sistema fluvial que ha significado un desarrollo económico para la región (gran productora y exportadora de alimentos y otros productos primarios) y tiene gran potencialidad para transformar el destino de los países del área (especialmente para los mediterráneos) si es explotado en forma inteligente y adecuada (González Cuñarro, 1990).

La hidrovía Paraguay-Paraná es una ruta para la unificación, un instrumento de circulación de mercaderías y de creación de riquezas, y el medio de hacer de Bolivia y Paraguay países atlánticos, además de permitir a otros países productores exportar sus bienes por medio de un puerto distinto al de su país.

El territorio ofrece grandes potencialidades para el desarrollo integral de la región, donde se produce principalmente soja y sus derivados, algodón, girasol, trigo, lino, mineral de hierro y otros productos industriales y agroindustriales.

La hidrovía conlleva una cantidad de beneficios significativos para la región: promueve el aumento del consumo en la región portuaria, favorece el comercio, otorga una salida al mar a los países limítrofes, estimula la importación y la exportación de mercaderías, reduce los costos logísticos y de transporte, así como las emisiones medioambientales, y mejora la competitividad y la comunicación fluvial entre los distintos países que la conforman.

El Acuerdo de Transporte Fluvial por la Hidrovía (puerto de Cáceres - puerto de Nueva Palmira), denominado Acuerdo de Santa Cruz de la Sierra, suscrito el 26 de junio de 1992 y vigente desde el 13 de febrero de 1995, constituye uno de los instrumentos jurídicos más importantes creados en el marco de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), por su significación política, económica y comercial, y su proyección futura en un proceso de integración regional (ALADI, 2016).

En su artículo 4 establece que los países signatarios reconocen recíprocamente la libertad de navegación en toda la hidrovía de las embarcaciones de sus respectivas banderas, así como la navegación de embarcaciones de terceras banderas. En su artículo 10 reserva a los armadores de los países signatarios, en igualdad de derechos, tratamientos y condiciones, el transporte de bienes y personas entre países signatarios que se realice con origen y destino en los puertos localizados en la hidrovía. El artículo 11, por su parte, elimina a favor de las embarcaciones de bandera de los países que integran la hidrovía las limitaciones existentes al transporte de determinados bienes o personas, reservado en su totalidad o en parte a las embarcaciones que naveguen bajo bandera nacional del país de destino o de origen. Asimismo, queda excluido del ámbito de aplicación del Acuerdo el transporte de cabotaje nacional, reservado a las embarcaciones de los respectivos países.

El Comité Intergubernamental de la Hidrovía Paraguay-Paraná (CIH), integrado por Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, es el órgano político que interviene en el funcionamiento del Acuerdo de Transporte Fluvial de la Hidrovía. Es el encargado de coordinar, proponer, promover y ejecutar las acciones identificadas por los Estados miembros respecto de la hidrovía, así como de gestionar y negociar acuerdos de cooperación técnica para el desarrollo de un sistema eficiente de transporte fluvial.

Actualmente funcionan varias comisiones técnicas que armonizan aspectos relativos a las dimensiones de los convoyes que navegan de manera segura por la hidrovía en sus diferentes tramos, la capacitación del personal a bordo de dichas embarcaciones, la informatización y la interconexión de las aduanas de los países signatarios, entre otros temas.

Se debe recordar que, en la década del noventa, cuando se desarrolló esta idea, se estaba en un momento de efervescencia de las políticas de integración, lo que era acompañado por desregulación portuaria y mayor

participación de los privados en los puertos regionales, todo lo cual impulsó extraordinarias inversiones, tanto locales como extranjeras, entre otras, de los principales *traders* de granos, en relación con la infraestructura portuaria. Este fenómeno está directamente ligado, entre otros aspectos, al incremento de los volúmenes a transportar, debido una mayor demanda de *commodities*.

Con referencia a la importancia de la hidrovía para el país y la región, se destacan los siguientes puntos:

- Es el mayor sistema navegable del planeta: se trata de un corredor natural de transporte fluvial de más de 3.440 kilómetros de largo, que involucra a los ríos Paraguay y Paraná, y desemboca en los ríos Uruguay y de la Plata, y a través de este último, sale al océano Atlántico.
- Es la mayor arteria de comunicación fluvial y de transporte para los países que la comparten: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay.
- Es la reserva hídrica más importante, por la diversidad biológica del área y la riqueza de los territorios.

Recién al final de la hidrovía se encuentra situado el puerto de Nueva Palmira, principal puerto granelero del país, donde se almacenan granos, mineral de hierro y celulosa, y cuenta con instalaciones portuarias que operan bajo el régimen de puerto libre y zona franca. Sus instalaciones han tenido una gran evolución en los últimos años, efecto del intercambio fluido y de la adecuación de los regímenes en el marco de los cuales opera. Esto se evidencia al analizar las estadísticas portuarias de Nueva Palmira, según las cuales para el año 1989 este puerto operaba apenas 4 productos, mientras que hoy se han diversificado a 18, entre los que se destacan, en movimiento desde o hacia plaza: soja, celulosa, trigo, fertilizantes, colza, malta, cebada, entre otros. Asimismo, los principales productos que se movilizan en tránsito son: mineral de hierro, fertilizante, harina de soja, maíz, soja, entre otros.

Río de la Plata

Este estuario se rige por el Tratado de Límites del Río de la Plata y su Frente Marítimo, de 1973, que sentó las bases para dar lugar a un proceso de cooperación regional. Se basa en el principio de equidistancia, es decir, que la frontera marítima se establece a igual distancia de la costa de cada país, y estableció que el Río de La Plata y su frente marítimo serían de uso común para Uruguay y Argentina. El tratado no solo contribuyó al aprovechamiento integral del río, sino que creó un marco de estabilidad y confianza para proyectar acuerdos de integración regional y la realización de obras.

Por medio de este tratado se creó la Comisión Administradora del Río de la Plata (CARP), organismo de carácter binacional que brinda el marco jurídico y encauza el diálogo entre la República Argentina y la República Oriental del Uruguay para la gestión compartida del Río de la Plata. La CARP tiene varias funciones, entre las que destacan la realización de estudios e investigaciones de carácter científico, el dictado de las normas reguladoras de la actividad de pesca en el río con relación a la conservación y la preservación de los recursos vivos, la coordinación de las normas

reglamentarias sobre practicaje y canales de navegación, la fijación de las zonas de alijo y complemento de carga, entre otras.

La Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, otro organismo creado por el tratado, tiene por cometido la realización de estudios y la adopción y la coordinación de planes y medidas relativas a la conservación, la preservación y la racional explotación de los recursos vivos, así como la protección del medio marino.

El régimen jurídico de este tratado fue ámbito fértil para conformar la reforma portuaria de 1992, que determinó el notable desarrollo de nuestros puertos, así como también la definición acerca de cómo realizar las obras de profundización y el mantenimiento de dragado en diferentes tramos del río. De esta forma, se ha logrado la profundización de los canales de Martín García, que, finalmente, están a igual profundidad que el Canal Emilio Mitre y se extienden entre los kilómetros 39 y 145,500 del Río de la Plata, con un dragado de 34 pies en fondos blandos y 38 pies en fondos duros. Estos canales son los que otorgan la salida segura de los buques con las cargas que bajan por el río Paraná y de los que salen de las instalaciones portuarias de Nueva Palmira, así como de otros buques que son cargados en puertos apostados en el río Uruguay, como Fray Bentos, Concepción del Uruguay y Paysandú.

En las costas uruguayas del Río de la Plata se encuentran diferentes puertos comerciales, deportivos, públicos y privados, como Punta Pereira, Colonia, Juan Lacaze, Piriápolis y Punta del Este, y toma la mayor dimensión el puerto de Montevideo, que es el principal puerto multipropósito del país, a donde llegan los buques de mayor calado que cargan mercaderías en contenedores, carga general y a granel, cruceros de turismo, entre otros.

El canal de acceso al puerto de Montevideo se encuentra dragado a -13 m de profundidad. El objetivo es permitir el acceso de barcos de mayor calado, lo que implica una mejora en su capacidad para manejar más carga haciendo de él un puerto más competitivo, lo cual incide de manera positiva en la economía del país y en la eficiencia de las operaciones portuarias, y, por otro lado, aumenta la seguridad de la navegación. En la actualidad, luego de haberse gestionado a través de la CARP el proyecto de profundización a -14 m, se entiende que se otorga con ello ventajas competitivas y comparativas que nos permitirán asegurar estar en el concierto de las decisiones que toman las navieras a la hora de decidir qué puertos estarán dentro de sus itinerarios en las rutas marítimas a las que brinden sus servicios. Esto, consolidará a Montevideo como el puerto de aguas profundas del Río de la Plata.

Otro aspecto que fomenta la venta de servicios en puertos operados por la Administración Nacional de Puertos (ANP) y en las zonas de alijo fijadas en el Tratado del Río de la Plata es el que se promueve mediante el artículo 320 de la Ley n.º 19.924 (Poder Legislativo, 2020), por el que se legaliza la posibilidad de vender combustibles en dichos espacios, lo que se traduce en otro servicio para los buques.

En referencia a los niveles de actividad del Puerto de Montevideo, se puede medir su evolución en función de los movimientos de contenedores y de las toneladas movilizadas en bodegas convencionales.

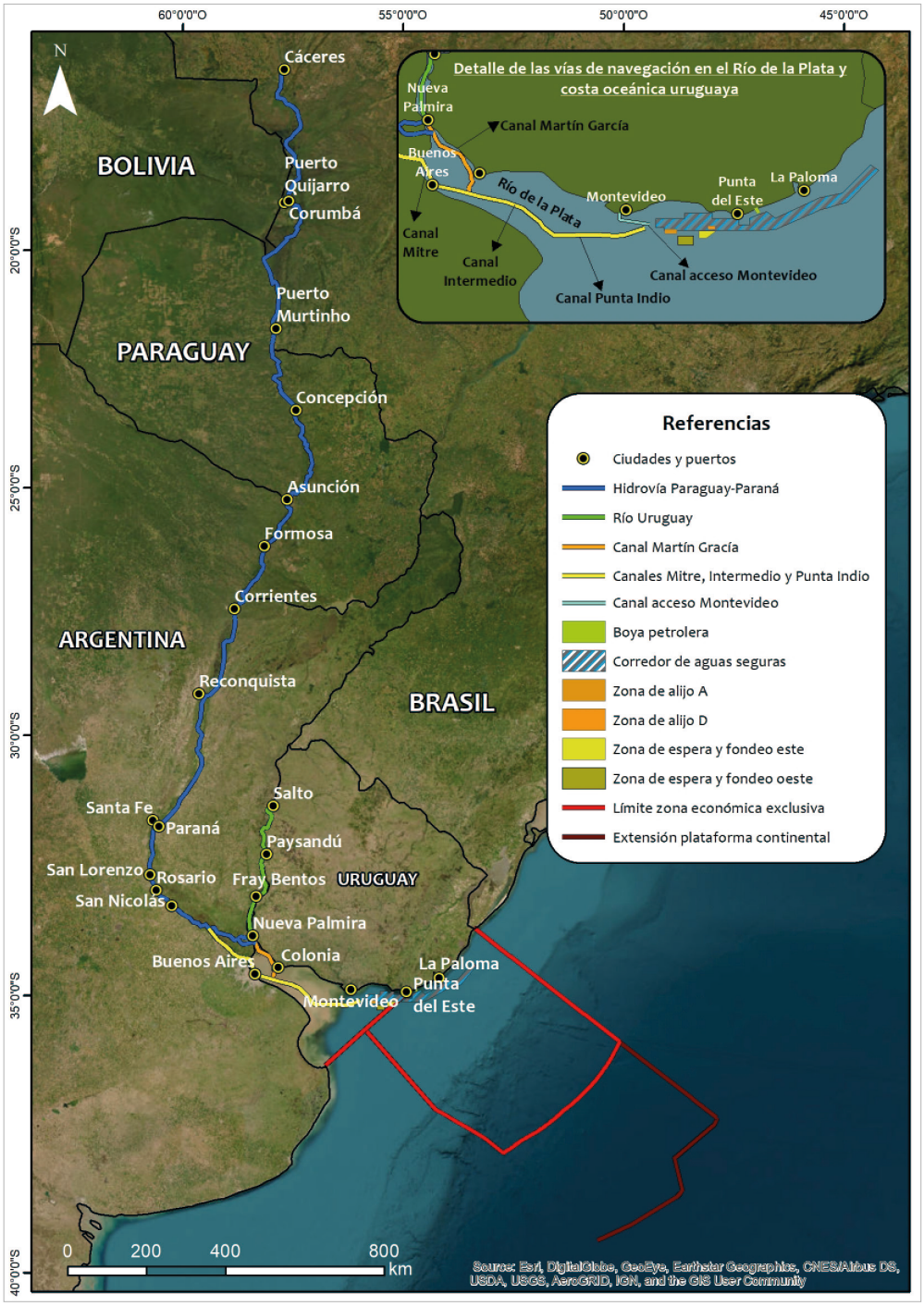


Figura 1: Elementos del transporte marítimo y fluvial mencionados en el texto: 1) principales puertos nacionales en el río Uruguay, el Río de la Plata y el océano Atlántico; 2) hidrovía Paraná-Paraguay; 3) corredor de aguas seguras en el océano Atlántico y canales en el Río de la Plata: canal de acceso al puerto de Montevideo, Canal Mitre y Canal Martín García.

Tabla 1: Movimiento de contenedores en el puerto de Montevideo, evolución comparativa entre 2013 y 2023 (unidades: TEU). Fuente: Centro de Navegación.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Var. % 2023 -2013
Importación	159.356	153.944	143.348	126.028	144.007	144.481	136.574	126.192	157.901	160.116	166.772	5%
Exportación	122.849	138.760	129.426	127.824	141.155	138.937	127.120	129.620	140.420	128.876	130.005	6%
Tránsitos	309.110	279.488	328.067	391.811	419.097	314.667	305.142	342.910	466.517	506.715	539.232	74%
Total llenos	**591.315**	**572.192**	**600.841**	**645.663**	**704.259**	**598.085**	**568.836**	**598.722**	**764.838**	**795.707**	**836.009**	**41%**
Vacíos	234.500	199.544	203.893	232.850	215.731	189.331	178.264	163.133	206.629	289.662	289.281	23%
TOTAL llenos + vacíos	**825.815**	**771.736**	**804.734**	**878.513**	**919.990**	**787.416**	**747.100**	**761.855**	**971.467**	**1.085.369**	**1.125.290**	**36%**

En cuanto a la variación del total de movimientos de contenedores, la tabla 1 muestra que en un período de diez años los movimientos totales se incrementaron en un 36%, destacando que en 2023 se obtuvo el récord de movimientos, con 1.125.290 TEU (*twenty-foot equivalent unit*). Lo anterior muestra una variación de 5% en las importaciones de 2013 a la fecha, de 6% en las exportaciones, de 74% en tránsitos, de 41% del total de llenos y de 23% de vacíos.

En cuanto al incremento ocurrido en los últimos años, habría que tener en cuenta que el aumento de los totales es de 3,5% entre 2022 y 2023 y de 50,6% entre 2023 y 2019 (prepandemia).

Con estas cifras, se puede concluir que el incremento de los movimientos totales de contenedores responde, en primer lugar, del gran incremento de los tránsitos, los que significan el 64,5% de los movimientos de contenedores llenos, mientras que el 35,5% restante refiere a cargas cautivas (importaciones y exportaciones), y, en segundo lugar, del movimiento de contenedores vacíos, que representa un 26% del movimiento de contenedores totales. Por ende, el puerto de Montevideo depende del tránsito y esto significa que su conectividad—esto es, la cantidad de buques que recalan en él y la cantidad de destinos que esos buques abarcan— no se explica por la mercadería de importación y exportación. Esa mercadería —es decir, el comercio exterior nacional— no es suficiente para alcanzar la conectividad actual, sino que esta es producto del pasaje por los puertos uruguayos de mercadería de terceros países que se dirige a terceros países, que usan a Uruguay como *hub*. Interesa considerar lo anterior porque el país tiene la misión de cuidar ese tránsito, esos transbordos y reembarcos.

Con respecto a la mercadería no transportada en contenedores, en 2023 se movieron 6.364.466 toneladas. En este caso el 96% son cargas de importación y exportación, y queda una mínima expresión, de poco más de 4%, para las cargas de tránsito. Esto hace que entre las bodegas convencionales los graneles ocupen el primer lugar, con un 50% de las cargas, seguidos por la madera en rolos, con un 17%, la carga general, con un 14%, los tanqueros, con un 13%, y el 6% restante está

conformado por vehículos, cargas refrigeradas y animales en pie. En cuanto a las toneladas totales movilizadas por el puerto de Montevideo en 2023, entre las descargadas y cargadas en bodegas convencionales (40%) y las correspondientes a movimientos de contenedores llenos (60%) suman 15.879.043.

En la tabla 2 se muestran las cifras analizadas para el año 2023, que incluyen los tonelajes movilizados según bodega convencional y contenedores llenos por el puerto de Montevideo y los porcentajes correspondientes al comercio exterior y a las cargas en tránsito.

Para concluir con los niveles de actividad del puerto de Montevideo, resta hablar de la actividad de cruceros, que se conjuga de manera complementaria con la del Puerto de Punta del Este. En la figura 2 se muestra la evolución de esta actividad a lo largo de las temporadas y se destaca la recuperación que tuvo lugar en la última (2023-2024), que, además, ha sido récord. A su vez, se observa el fuerte impacto de la pandemia de COVID-19.

Tabla 2: Datos detallados del movimiento en el puerto de Montevideo, año 2023. Fuente: Centro de Navegación.

	Plaza			Tránsito			Total		
Bodega	**Toneladas**	**%**	**Unidades**	**Toneladas**	**%**	**Unidades**	**Toneladas**	**%**	**Unidades**
General	877.654	14,4%	1.319.465	6.673	2,5%	1.490	884.327	13,9%	1.320.955
Refrigerada	4.167	0,1%	0	140.706	53,4%	0	144.873	2,3%	0
Granel	3.158.614	51,8%	0	28.406	10,8%	0	3.187.020	50,1%	0
Madera	1.078.146	17,7%	0	0		0	1.078.146	16,9%	0
Vehículos	89.421	1,5%	51.092	87.908	33,3%	45.127	177.329	2,8%	96.219
Tanqueros	808.545	13,3%	0	0		0	808.545	12,7%	0
Animales en pie	84.226	1,4%	298.505	0		0	84.226	1,3%	298.505
Subtotal bodega	**6.100.773**	**100,0%**	**1.669.062**	**263.693**	**100,0%**	**46.617**	**6.364.466**	**100,0%**	**1.715.679**
Contenedores	**Toneladas**	**%**	**TEU**	**Toneladas**	**%**	**TEU**	**Toneladas**	**%**	**TEU**
Carga seca	2.407.610		240.576	5.359.033		459.549	7.766.643		700.125
Carga refrigerada	697.831		56.201	1.050.103		79.683	1.747.934		135.884
Subtotal contenedores	**3.105.441**		**296.777**	**6.409.136**		**539.232**	**9.514.577**		**836.009**
Total general bodega + contenedores	**9.206.214**			**6.672.829**			**15.879.043**		

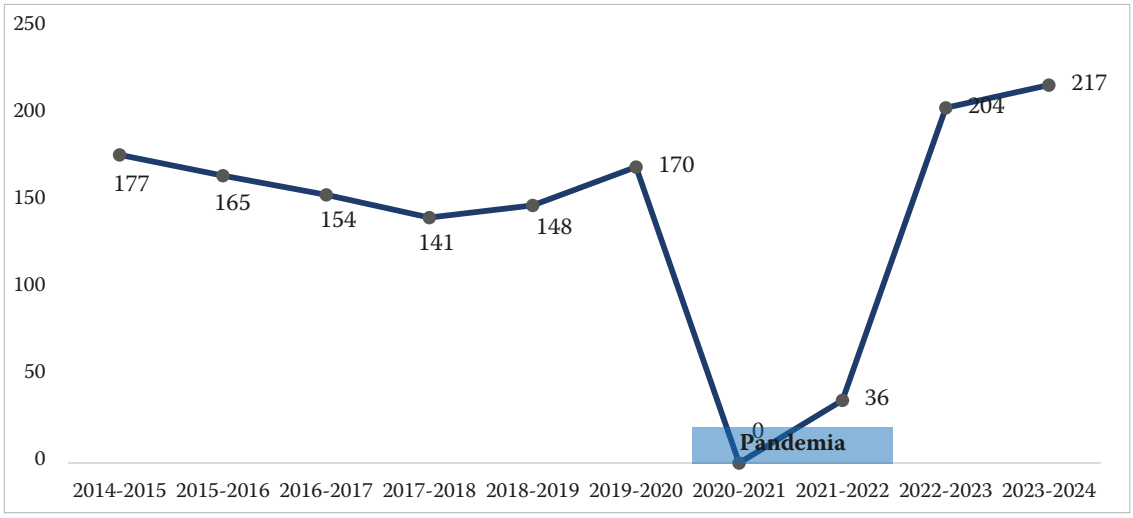


Figura 2: Evolución de escalas totales de cruceros en los puertos de Montevideo y Punta del Este, por temporada (2014-2015 a 2023-2024). Fuente: Centro de Navegación.

Río Uruguay

Este río se rige según el Estatuto del Río Uruguay, de 1975, que tiene como antecedente el Tratado de Límites del Río Uruguay, de 1961, que instaló la Comisión Administradora del Río Uruguay, un organismo internacional creado por la República de Argentina y la República Oriental del Uruguay como concreción de la voluntad de ambos países de institucionalizar un sistema de administración global del río Uruguay en el tramo que comparten.

El objetivo principal de su creación responde a contar con un mecanismo idóneo para un óptimo y racional aprovechamiento del río. Esta comisión se hace cargo del seguimiento del mantenimiento del dragado de los canales del río y su balizamiento, propendiendo a que la navegación se pueda realizar tanto de manera diurna como nocturna.

Zona atlántica

Son parte también del llamado espacio marítimo uruguayo las aguas y el lecho marino del océano Atlántico, con la extensión y la jurisdicción comentadas en los capítulos 1.2 y 1.4 de este libro, e incluye la extensión de los límites de la plataforma continental, tal como se describe en el capítulo 1.3.

En 2007 comenzó un proceso de preparación de rondas licitatorias para atraer empresas petroleras de primer nivel que estuvieran dispuestas a invertir en la exploración en la plataforma marítima de nuestro país, tal como se describe en el capítulo 4.5 del presente libro. Se han llevado adelante tres rondas con una excelente preparación y difusión internacional del conocimiento existente respecto del subsuelo uruguayo, bajo la responsabilidad de ANCAP, porque todos los depósitos de hidrocarburos y sustancias que

acompañan, situados en el territorio nacional, solamente pueden ser explorados y explotados por el Estado.

Actualmente, en la zona atlántica se desarrollan actividades relacionadas con las operaciones de transbordo de buques con combustibles, en la zona enmarcada frente al puerto de La Paloma. Este puerto está principalmente dedicado a actividades relacionadas con el apoyo, el alije, el rescate y los servicios como intermediarios entre proveedores nacionales e internacionales. También se realizan allí traslados de tripulaciones a los buques petroleros que operan haciendo transbordos de hidrocarburos en la zona antes mencionada, suministros de combustible y víveres, emergencias y refugio por inclemencias climáticas.

Normas para la integración regional, el desarrollo y la promoción del uso de las vías marítimas y fluviales

Ley de Puertos y decreto reglamentario

En el contexto de la realidad portuaria nacional y las necesidades producto de la globalización, la competencia y los procesos de privatización portuaria en la región llevaron a Uruguay a impulsar la reforma portuaria mediante la Ley n.º 16.246 (Poder Legislativo, 1992a), aprobada en abril de 1992.

Esta ley adecuó la actividad a los nuevos tiempos, obligando a un cambio de paradigma, y es el marco para ofrecer la confiabilidad que un puerto debe tener para que esté integrado al contexto internacional. Con esto se inició el camino a la adecuación de las estructuras del órgano portuario en beneficio de la disminución de costos para el comercio exterior y las economías de escala, y no sólo eso, sino que también abrió el horizonte a nuevas posibilidades de negocios, regímenes de concesiones, permisos y autorización para la prestación de servicios por parte de privados.

Los hechos demuestran que esta ley fue uno de los acontecimientos de mayor relevancia en la vida económica del país, por los beneficios que significa para el sector y para el comercio exterior del país, marcando un antes y un después en el sector marítimo portuario y logístico.

La Ley de Puertos implicó dos cambios fundamentales: por un lado, la libre competencia y, por el otro, la libre concurrencia para la actividad portuaria, abriendo de esta forma la vía para una mayor participación del sector privado en las operaciones portuarias. Otro de los puntos relevantes de esta ley es la creación del régimen de puerto libre, un régimen aduanero especial en el que se habilita la libre circulación de mercaderías, sin necesidad de autorizaciones ni trámites formales.

Mediante esta norma se autorizó el otorgamiento de concesiones, permisos y autorizaciones para la explotación de los servicios portuarios, marítimos y terrestres. A su vez, la Ley de Puertos redefinió el rol de la ANP como organismo encargado de administrar, conservar y desarrollar el puerto de Montevideo, así como los demás puertos de carácter comercial que le encomiende el Poder Ejecutivo, a quien se encarga de asesorar en materia portuaria.

La Ley de Puertos fue reglamentada por el Decreto n.º 412/992, de setiembre de 1992 (Poder Ejecutivo, 1992b), que incluyó incisos dedicados a asegurar las operaciones de manera continua, las 24 horas los 365 días del año.

En la figura 3 se visualiza cómo evolucionó el puerto de Montevideo a lo largo de 140 años y demuestra cómo la adecuación del sistema y el cambio en las políticas portuarias influyeron exponencialmente en el desarrollo de los tonelajes movidos.

Esta realidad puede ser expresada de varias maneras, sin embargo, es necesario dejar en claro que las posibilidades de crecimiento y desarrollo se encuentran en los servicios que es posible brindar a las navieras para que hagan escalar sus buques en nuestro puerto y transiten desde aquí una gran porción de sus cargas desde y para la región. Lo mismo ocurre con las instalaciones portuarias que se ubican a la salida de la hidrovía.

En la figura 4 se observa una evolución estadística de las toneladas movidas en buques de ultramar en las instalaciones portuarias de Nueva Palmira, ilustrando el incremento que se ha producido tanto para las mercaderías de comercio exterior como para las cargas en tránsito.

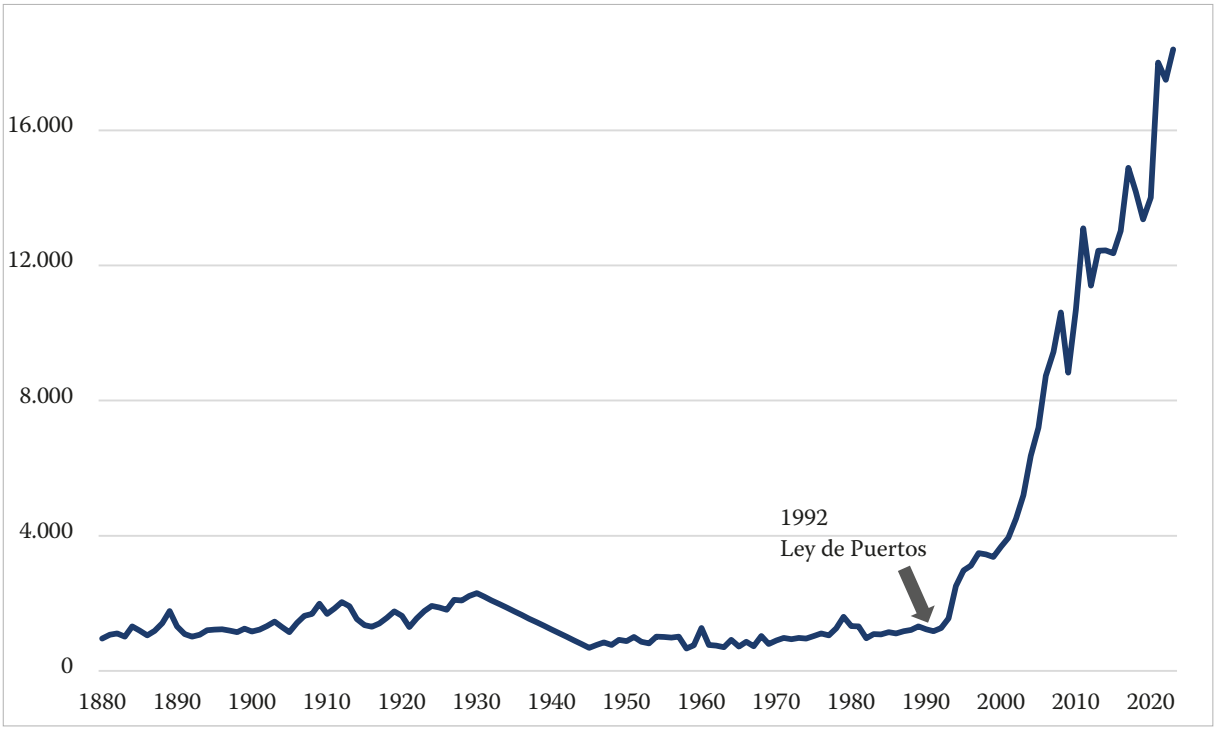


Figura 3: Evolución de los movimientos de mercaderías en el puerto de Montevideo, en miles de toneladas. Fuente: Centro de Navegación, con base en datos oficiales de la ANP.

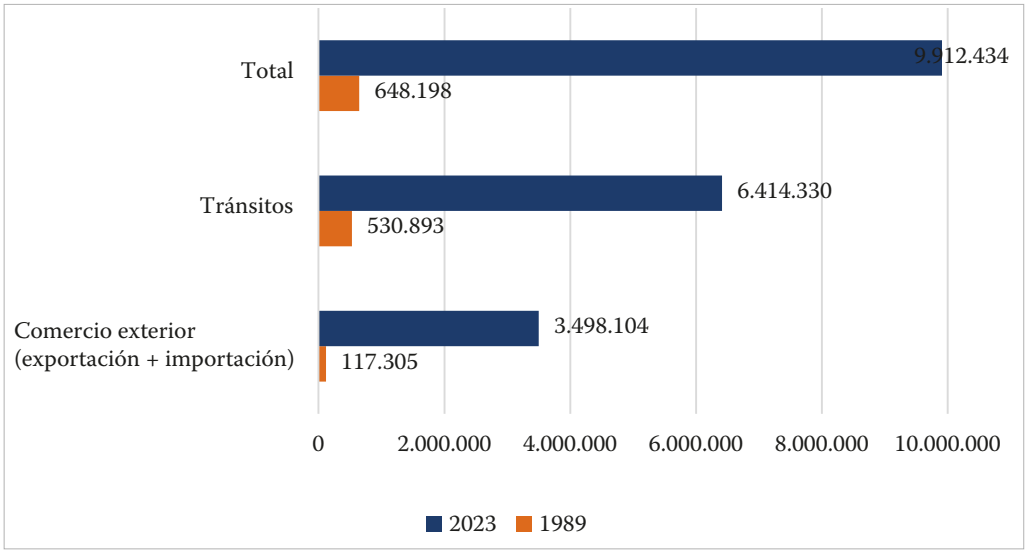


Figura 4: Evolución de los movimientos de mercaderías en el puerto de Nueva Palmira. Fuente: Centro de Navegación.

Normas sobre cabotaje

Con respecto a las normas sobre cabotaje, es necesario realizar una división entre aquellos que son nacionales y los regionales.

Dentro de nuestro marco normativo se encuentra la Ley n.º 12.091 (Poder Legislativo, 1954), que refiere, precisamente, a la navegación y el comercio de cabotaje nacional. Esta disposición fue reglamentada por los decretos del 1 de febrero de 1956, el 25 de julio de 1956 y el 23 de setiembre de 1958.

Dicha ley y su reglamento confieren a los buques de cabotaje nacional prelación en el atraque y la realización de operaciones en relación con los buques de cabotaje extranjeros. Esto no significa que un buque de cabotaje nacional tenga preferencia o derecho de exigir un determinado muelle. Lo único que faculta es que si hay un buque extranjero y otro nacional y ambos quieren realizar operaciones en un puerto el nacional tiene prelación ante el extranjero.

Lo anterior funciona en términos generales y rige para todos los buques extranjeros, salvo para los de bandera paraguaya, que se encuentran beneficiados por la Convención de Cabotaje entre Uruguay y Paraguay, del 31 de octubre de 1918, y para los buques de bandera boliviana, a los que, mediante convenio, también se les otorga la cláusula de trato nacional.

En lo que tiene que ver con cuestiones de carácter regional y con el objetivo de fomentar el comercio regional y la integración económica, es posible destacar los siguientes convenios:

- Convención de Cabotaje, suscrita con la República del Paraguay, del 31 de octubre de 1918. Los Estados conceden a los buques que realicen en los ríos y puertos de

su jurisdicción el comercio de cabotaje, las franquicias y las facilidades aduaneras que se hayan acordado a los buques de su respectiva bandera.

- Convenio de Transporte por Agua entre Uruguay y Argentina, aprobado por Ley n.º 18.891, del 20 de abril de 2012. Este convenio alcanza al transporte fluvial transversal de pasajeros y vehículos entre puertos de ambos países, excluyendo a los cruceros de turismo y excursiones.

- Convenio sobre Cabotaje entre Uruguay y Bolivia, del 27 de abril de 1917. Los Estados conceden a los buques que realicen en los ríos y puertos de su jurisdicción el comercio de cabotaje, las franquicias y las facilidades aduaneras que se hayan acordado para los buques de su respectiva bandera.

Desafíos y perspectivas

Existen varios desafíos para continuar y mejorar el desarrollo marítimo y la navegación en el país. Tal vez el desafío principal sea contar con un plan maestro sobre política portuaria, que no es otra cosa que una planificación portuaria que ordene, con el conocimiento del pasado y la visión del presente, qué es lo que será necesario en los próximos años en cuanto a proyectos portuarios, para, a partir de él, desarrollar diferentes objetivos específicos, que podrían estar ligados a:

- Fortalecer, promover y fomentar el desarrollo de nuestros puertos, en particular, Montevideo y Nueva Palmira, por ser los que están mejor posicionados y tienen las mejores condiciones geopolíticas, geográficas e infraestructurales.

- Evaluar las posibilidades de dragar los canales Martín García y el río Uruguay para continuar incrementando las capacidades de carga por parte de los puertos del litoral, siempre en función de las necesidades futuras y proyectos realizables.

- Evaluar el momento y las posibilidades de continuar dragando el canal de acceso de Montevideo, teniendo en cuenta las fututas necesidades.

- Proyectar cambios en la infraestructura del puerto de Montevideo para contar con espacios de atraques más profundos.

- Propender a la mejor reglamentación para suministrar combustibles en puerto y zonas de alije.

- Propender a la digitalización de nuestros puertos, dotándolos de mejores herramientas para adecuarse a las nuevas tendencias mundiales.

- Contribuir con las metas globales de descarbonización para 2050, promoviendo y desarrollando proyectos, como los de estancias marítimas para hidrógeno verde, con los que se pueda seguir materializando la transformación energética, ya que, si bien a nivel país se ha alcanzado un cambio de la matriz del orden del 97%, quizás la evaluación de nuevos proyectos sostenibles permita tener mayor eficiencia energética y contribuir con el medioambiente.

- Contribuir con un acuerdo multilateral entre los países del MERCOSUR y la Unión Europea, en términos en los que las condiciones no limiten la libertad de transitar a los buques y sus cargas, independientemente de su bandera, por cualquier puerto de los países signatarios.

- Contribuir con el Comité Intergubernamental de la hidrovía, fortaleciendo y fomentando condiciones de igualdad y de reciprocidad entre los países signatarios, área en la cual queda mucho trabajo por hacer, tanto en el ámbito de comisiones técnicas como en lo que refiere a negociación política. Un ejemplo de ello es la atención colocada hoy por los países de la región en cómo se dilucidará el nuevo peaje que dispuso Argentina en la hidrovía Paraguay-Paraná, en el tramo entre Confluencia y Santa Fe; cuáles serán las mejoras en las condiciones de navegabilidad en toda la extensión de la hidrovía; cómo facilitar y simplificar los trámites para propender a una libre navegación de tripulantes y equipos; cuáles serán las acciones medioambientales para contribuir con la mejora del flujo del agua en la hidrovía; y cómo actualizarnos en la aplicación de tecnologías que propendan a una mayor seguridad en la navegación. En conclusión, se trata en todos los casos de acciones que contribuyen con el crecimiento de la actividad y el fortalecimiento de los puertos de la región, con seguridad, eficiencia y competitividad y con sistemas integrados de libre navegación, y tendiendo al desarrollo de una hidrovía más sustentable.

- Internalizar las normas internacionales en materia de contratos de transporte marítimo para dar mayor seguridad jurídica a las empresas internacionales.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Ageitos, M., 2024, Desarrollo marítimo y navegación, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 355-369, doi: 10.70952/a8827tmuc4-2

Capítulo 4.3
Aspectos e impactos ambientales de usos y actividades en el territorio marítimo uruguayo

Mosaico de fotografías aéreas de la bahía de Montevideo, obtenidas por el vuelo aerofotogramétrico nacional realizado entre los años 1966-1967 a escala 1:40.000. Al centro de la imagen se observa una pluma de descarga de los efluentes de un buque atracado en el muelle de la refinería; hasta la implementación de MARPOL y otras regulaciones, la limpieza de tanques en los buques petroleros era una operación común y aceptada. También se observa la descarga de los arroyos Miguelete y Pantanoso, que ilustran las presiones que se ejercen en el ambiente estuarino y marino desde el continente. Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales (https://visualizador.ide.uy).

Capítulo 4.3
Aspectos e impactos ambientales de usos y actividades en el territorio marítimo uruguayo

Pablo Gristo Savornin[1]

[1] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

Introducción[1]

Los aspectos ambientales son los elementos de una actividad, producto o servicio que interactúan con el ambiente físico, biológico o antrópico, y pueden provocar un impacto (UNIT, 2015). Se entiende por impacto ambiental negativo toda alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas del ambiente causada por cualquier forma de materia o energía resultante de las actividades humanas que directa o indirectamente perjudiquen o dañen la salud, seguridad o calidad de vida de la población, las condiciones estéticas, culturales o sanitarias del medio, o la configuración, calidad y diversidad de los recursos naturales (Poder Legislativo, 1994a). Todas las actividades y usos del mar tienen aspectos ambientales asociados: descargas de efluentes líquidos, productos químicos, agentes biológicos y residuos, emisiones a la atmósfera e interacciones físicas con el medio marino. Sumado a estas presiones, el ambiente marino recibe descargas desde el continente y está sujeto a presiones globales como el cambio climático. Para la conservación del ecosistema marino es necesario identificar y caracterizar los usos y actividades en el mar y sus aspectos ambientales, porque permite definir y aplicar medidas de gestión para prevenir y mitigar sus impactos ambientales negativos.

En Uruguay, la evaluación de impacto ambiental es un instrumento de gestión que se aplica desde hace treinta años, a partir de la Ley n.º 16.466 (Poder Legislativo, 1994a), que es regulada por el Decreto n.º 349/2005 (Poder Ejecutivo, 2005b) y posteriores decretos que amplían o modifican su alcance. Solamente unos pocos emprendimientos entre los que se propone desarrollar en el territorio marítimo están sujetos a un proceso de evaluación de impacto y autorización ambiental: aquellos que implican construcción de infraestructura marítima o en la faja de defensa costera (por ejemplo, puertos, terminales, tuberías), la extracción de minerales incluyendo el dragado y la perforación de pozos de exploración, y la exploración

1 El autor agradece especialmente la revisión y las sugerencias realizadas al capítulo por Yamandú Marín, Carlos Sagrera y Andrés Fígoli, en sus áreas de conocimiento y experticia; a María Victoria Zorrilla, por la información respecto a normativa; y a Madelón Iglesias, por la elaboración de las figuras.

por métodos acústicos y electromagnéticos. Otras actividades humanas con un potencial de impacto real en este territorio, tales como el tránsito y las operaciones marítimas, la pesca y los cables submarinos fuera de la costa, no están sujetas a un procedimiento de evaluación previo ni al control por la autoridad ambiental nacional. La autorización de estos emprendimientos y su control, cuando existen, tampoco están sometidos al conocimiento del público en general ni están previstos mecanismos formales para incorporar la opinión de la población o de las partes interesadas, como es común en los procesos de evaluación y autorización ambiental.

Entre los esfuerzos para conocer el estado de situación ambiental de esta región, cabe destacar el realizado por el proyecto PNUD-GEF Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats (FREPLATA, 2005). Aun considerando el avance del conocimiento y los paradigmas y preocupaciones ambientales, este trabajo, realizado hace veinte años, sigue siendo un antecedente de relevancia mayor por su alcance, contenido y producción académica. En el programa de acción estratégica que deriva del proyecto (FREPLATA, 2007) se identifican las principales amenazas ambientales de carácter transfronterizo: la contaminación química y petroquímica, la contaminación por vertidos directos e indirectos de efluentes industriales y emisarios cloacales sin tratamiento o con tratamiento inadecuado, los aportes de fuentes difusas (agropecuarias y otras), la eutrofización, el dragado y la disposición de sedimentos, la destrucción de hábitats naturales, la pérdida de biodiversidad y la introducción de especies invasoras. Los principales problemas de contaminación se observaron en las franjas costeras y son consecuencia de las descargas de efluentes industriales y cloacales de los grandes conglomerados urbanos en ambos países. Este proyecto se enfocó más en conocer el estado del ambiente en esta región que en realizar una evaluación comprehensiva de los usos, actividades o fenómenos de interés y sus potenciales impactos ambientales.

Se han realizado esfuerzos posteriores en campañas oceanográficas cuyos resultados se han hecho públicos, como el programa de investigación de aguas profundas realizado con el B/O Miguel Oliver (Muñoz Recio *et al*., 2010), el crucero de investigación M78 realizado con el R/V Meteor (Krastel *et al*., 2012) y la campaña de línea de base ambiental regional con el B/I Sarmiento de Gamboa (Advisian, 2016). Estas campañas, aunque sinópticas y con un alcance y objetivos limitados, representan hitos en la adquisición y el análisis de datos primarios y la generación de conocimiento relevante sobre el territorio marítimo. No obstante, no contribuyen directamente a la identificación y la caracterización de los impactos ambientales de los usos y actividades.

En cuanto a las regulaciones para prevenir y mitigar los impactos ambientales en este territorio, la mayoría corresponde a convenios internacionales ratificados por Uruguay y están centradas en la protección de determinadas especies emblemáticas o en la adopción de mejores prácticas y tecnologías para prevenir impactos derivados de actividades específicas. Sin embargo, como se discutirá más adelante, estos instrumentos tienen limitaciones en su aplicación, alcance y cumplimiento.

Más recientemente, y con el foco en la planificación espacial marina, se han realizado esfuerzos académicos para identificar y caracterizar espacialmente las actividades humanas en este territorio (Marín *et al*., 2018; Echevarría *et al*., 2021). Dichos trabajos se han centrado en el análisis de los usos del espacio marino, pero no se han establecido relaciones entre sus aspectos y potenciales impactos ambientales ni en los elementos ecológicos eventualmente impactados.

El presente capítulo tiene como objetivo identificar y caracterizar los aspectos y potenciales impactos ambientales derivados de actividades humanas y usos del territorio marítimo uruguayo. Se incluyen, además, actividades o fenómenos que tienen un carácter transfronterizo o global. En la medida de lo posible, se ha intentado identificar y analizar los potenciales impactos, al menos teórica y cualitativamente cuando no existen registros específicos para Uruguay, mediante una exhaustiva revisión bibliográfica.

Metodología

Para este capítulo se establece un área de análisis comprendida por el mar territorial y la zona económica exclusiva del uruguay (ZEE), según las jurisdicciones definidas en los capítulos 1.2, 1.3 y 1.4 de este libro e ilustradas en el mapa de la figura 2 del capítulo 4.4. Esta región comprende varios ambientes físicos y biológicos, zonas de transición entre estos ambientes y una importante dinámica estacional e interanual asociada a procesos climáticos y oceanográficos.

La identificación y caracterización de los usos y actividades humanas dentro del área se ha realizado a través de la revisión de diversas fuentes bibliográficas y, principalmente, a partir de los estudios de planificación espacial marina que con anterioridad han implicado un esfuerzo importante de compilación (Marín *et al*., 2018; Echevarría *et al*., 2021). En este análisis no se consideran aquellas actividades y usos pasados, que han desaparecido por cambios tecnológicos o económicos, ni los potenciales usos futuros, como la producción de energía y de recursos minerales.

La cuantificación y la ubicación espacial y temporal es fundamental para la caracterización de los usos y actividades; el mismo aspecto ambiental puede provocar impactos significativamente diferentes según su magnitud, su localización y su frecuencia. El medio físico en el área de análisis es diverso y en ocasiones muy dinámico (por ejemplo, batimetría, temperatura y salinidad, etc.), los organismos pueden ubicarse en áreas o compartimentos ambientales diferentes a lo largo de su ciclo vital y momento del año, y encontrarse en condiciones más o menos vulnerables ante los impactos. A la vez, la existencia de efectos cuantitativamente significativos en individuos de una especie, en respuesta a un impacto, no necesariamente se traduce en impactos a nivel de población (Slabbekoorn *et al*., 2019) y, por tanto, no representa una amenaza para su conservación.

Recientemente se han analizado los conflictos por el uso del espacio marino cuando dos actividades compiten por el uso de un área o una actividad inhibe o excluye otras actividades en el mar (Marín *et al*., 2018; Echevarría *et al*., 2021). Por ejemplo, para la pesca industrial se reportan superposición o incompatibilidades de uso con las zonas de alijo y

de transferencia de carga, con los cables submarinos y con la exploración de hidrocarburos (Marín *et al*., 2013). Estos conflictos, que pueden considerarse impactos negativos en el medio antrópico, no se abordan en el presente capítulo ya que tienen un desarrollo detallado en el capítulo 4.4 de este libro.

Por último, se identifican, aunque no se desarrollan en profundidad, las prácticas y tecnologías para prevenir, minimizar o mitigar los impactos de los usos y actividades, lo cual constituye una oportunidad para futuros trabajos en este tema.

Impactos transfronterizos

Por impactos ambientales transfronterizos se definen aquí todos aquellos que son generados por actividades humanas fuera del área de análisis, incluyendo los fenómenos globales como el cambio climático.

En la cuenca del Plata se descargan residuos y efluentes generados por 110 millones de habitantes, por industrias de todo tipo y por el intenso uso agropecuario de un territorio continental de más de 3 millones de km^2 (CIC, 2017), una diversidad de fuentes puntuales y difusas que descargan a la cuenca sus residuos y contaminantes biológicos y químicos (metales pesados, hidrocarburos, nutrientes, contaminantes orgánicos persistentes, agroquímicos y fertilizantes, productos farmacéuticos y veterinarios, entre otros). La cantidad de contaminantes y residuos que efectivamente llega al Río de la Plata (RdlP), y de allí al territorio marítimo, depende de los sistemas de tratamiento y gestión (en continente) y de los procesos naturales de dilución, retención y transformación que ocurren en el medio fluvial, estuarino y marino. En tal sentido, las descargas continentales se suman a las presiones derivadas de los usos y actividades en el área de análisis.

Contaminantes químicos y biológicos

En FREPLATA (2005) se estiman las cargas de contaminantes que recibe el RdlP a partir de los aportes de los principales cuerpos de agua tributarios (el más importante de los cuales es el río Paraná): 102 t/d de metales pesados, 1.908 t/d de hidrocarburos, 62 t/d de amonio y 443 t/d de nitratos (concentraciones totales: disueltos en la columna de agua y adsorbidos en el material en suspensión). Si bien estas cargas son muy elevadas, también se indica que están diluidas en un volumen promedio de 22.000 m^3/s que los ríos Uruguay y Paraná descargan al sistema. Estos aportes se ven significativamente afectados por el clima, que determina el caudal de agua y el tipo y la cantidad de sedimentos que los tributarios descargan al RdlP. Se han reportado estimaciones más actualizadas, con valores significativamente superiores en cuanto a metales pesados y nitrógeno total, que indican que el río Paraguay es el segundo contribuyente de contaminantes a la cuenca del Plata (CIC, 2017).

Pero ¿qué mecanismos de transporte y qué destino tienen estos contaminantes (y también los residuos sólidos) que son descargados continuamente en la cuenca? Al momento no existe una respuesta específica, pero se sabe que los contaminantes y residuos van a distribuirse en el área de acuerdo a sus propias características fisicoquímicas e influenciados por la circulación en el RdlP y el área atlántica.

Ciertos contaminantes químicos, tales como los metales pesados y los compuestos orgánicos persistentes (por ejemplo, PCB, plaguicidas organoclorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos), tienen afinidad por los sedimentos finos y la materia orgánica, lo cual reduce su concentración en la columna de agua, pero los concentra en el lecho marino. Estos contaminantes son de especial interés por su elevada persistencia en el ambiente, la toxicidad para la biota marina y la posibilidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y en la cadena trófica (biomagnificación).

En cuanto a la circulación dentro del RdlP, en la literatura se describe una "cuña salina" en el estuario, formada por las descargas fluviales que fluyen en superficie hacia el océano Atlántico y un flujo profundo de agua marina, más densa, que ingresa al estuario. También se describe una zona de máxima turbidez en el sector exterior del RdlP próximo al límite de la cuña salina (y cuya posición depende de la topografía de fondo), que presenta una elevada concentración de sedimentos en suspensión. El material en suspensión, los contaminantes y los residuos transportados por el RdlP interior y medio sedimentan y se acumulan en esta región exterior, limitando su llegada a aguas más profundas. La Barra del Indio (López Laborde y Nagy, 1999), un extenso banco arcilloso ubicado entre Punta Piedras (Argentina) y Montevideo (Uruguay), en el límite de la zona de máxima turbidez, se ha señalado como un sumidero del aporte terrígeno en RdlP exterior (Marrero, 2016).

La descarga de la cuenca del Plata en el estuario forma lo que algunos autores denominan la pluma del Río de la Plata, una masa de agua superficial de relativamente baja salinidad cuya extensión varía estacionalmente, controlada fundamentalmente por forzantes externos (mareas y vientos). Su extensión sobre la plataforma depende principalmente de los vientos locales: durante el invierno vientos del sudoeste confinan la pluma sobre la costa, haciendo que se extienda hasta 28° S (Florianópolis) en la dirección de la corriente, mientras que durante el verano los vientos dominantes del noreste invierten la dirección de la pluma causando su expansión hacia la plataforma y una retracción latitudinal hasta 32° S (Río Grande) (Piola *et al*., 2000). Esta dinámica es afectada por los eventos de El Niño - Oscilación Sur (ENSO), durante los cuales la descarga del RdlP se expande alejándose de la costa (Chidichimo *et al*., 2022). Por este motivo, es razonable esperar que una parte de los contaminantes y residuos descargados en la cuenca del Plata que no son retenidos o transformados en los ríos tributarios y el RdlP pueda alcanzar la región de plataforma interior (aguas someras del océano Atlántico) y llegar a hasta el sur de Brasil.

Con respecto a la sedimentación de material fino transportado por la pluma del RdlP, cabe destacar los depocentros de barros que se extienden en la plataforma interna uruguaya hasta el sur de Brasil y constituyen geoformas que tienen la capacidad de adsorber e incorporar contaminantes orgánicos e inorgánicos (Dias *et al*., 2023). Los denominados pozos de fango, o "cinturón de barro", ubicados en la plataforma continental a lo largo de la costa Atlántica uruguaya, han sido señalados como un sitio de acumulación de sedimentos de origen terrígeno, cuyo estudio permite identificar variaciones climáticas y

la influencia humana en un período de décadas (Marrero *et al*., 2014).

En cuanto a la transferencia de sedimentos y contaminantes desde la región de plataforma continental hacia el talud y aguas profundas, la literatura y los resultados analíticos sugieren que la región exterior del área no está afectada significativamente por las descargas de contaminantes en el RdlP. En el capítulo 2.1 de este libro se describe la morfología actual de la plataforma externa y el talud continental, sugiriendo que el sistema de cañones submarinos no está conectado con sistemas de drenaje actuales o pasados en la plataforma y que estos cañones posiblemente se desarrollan por flujos gravitatorios (por ejemplo, desestabilización del talud).

Los resultados reportados por FREPLATA (2005) y trabajos posteriores muestran que los metales disueltos o adsorbidos en el material particulado precipitan y sedimentan rápidamente en el frente de máxima turbidez, depositándolos en el lecho del estuario. Estudios realizados en agua y sedimentos de la ZEE muestran que las concentraciones de la mayoría de metales pesados y metaloides presentan un gradiente negativo de costa hacia el talud, con máximos valores en el sector costero, condicionadas por las descargas del RdlP, pero en general menores a los estándares de referencia (Advisian, 2016), y que los niveles de hidrocarburos no muestran indicios de contaminación. Tudurí *et al*. (2014) realizan una revisión de los datos disponibles para contaminantes químicos y encuentran que en la región exterior del RdlP (fluviomarina) y la ZEE de Uruguay la concentración de metales pesados en agua es inferior a la del RdlP interior y medio (ambiente fluvial), aunque se hallaron concentraciones de plomo y cobre ligeramente superiores al nivel guía para la protección de la biota. Los valores reportados de compuestos orgánicos persistentes (por ejemplo, PCB y plaguicidas organoclorados) para la región fluviomarina son inferiores al límite de detección. En cuanto a la presencia de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes en invertebrados y peces en el RdlP exterior y el océano Atlántico, los valores son inferiores a los límites establecidos para consumo humano.

Es posible suponer, entonces, que la contaminación de tipo transfronterizo está limitada en el área de análisis por los procesos naturales que ocurren en el estuario y la plataforma continental interna, al menos para el caso de los metales pesados, compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos. No obstante, debe considerarse que la eficiencia de estos procesos depende de las condiciones oceanográficas y meteorológicas. Se identifican distintos patrones de circulación de agua en la costa atlántica uruguaya, que dependen del viento y el volumen de descarga del RdlP; las aguas continentales fluyen contorneando la costa uruguaya y en dirección NNE como consecuencia del efecto de la rotación de la Tierra, pero el viento puede provocar una reversión en el flujo natural del agua forzando el ingreso de aguas desde el NE de la costa uruguaya (FREPLATA, 2005). La marea y los cambios de salinidad pueden provocar remoción y resuspensión de los sedimentos, lo que eventualmente podría conducir a mayores cargas de contaminantes que las esperadas por el aporte de los ríos Paraná y Uruguay (FREPLATA, 2005). Por todo ello, no pueden subestimarse los aportes de contaminantes al área de análisis provenientes

de la cuenca del Plata, en particular de contaminantes persistentes.

En cuanto a la contaminación biológica, en FREPLATA (2005) se identifican áreas comprometidas en el RdlP por la descarga de efluentes cloacales, directamente o a través de sus tributarios. Se esperan situaciones de contaminación similares por las urbanizaciones y los cursos de agua que descargan en la costa atlántica uruguaya, aunque de menor magnitud, localizadas y circunscriptas a los puntos de descarga. Otros eventos relevantes de contaminación biológica son las floraciones algales nocivas, de dinoflagelados y cianobacterias, que son cada vez más frecuentes en el RdlP y su frente marítimo (al igual que en otras regiones del mundo) y pueden producir impactos drásticos en los recursos pesqueros, la biodiversidad y la salud pública, y, consecuentemente, en el uso de espacios costeros para recreación y turismo o como fuentes de agua potable (Méndez, 2006).

En cuanto a otros contaminantes químicos que son descargados en la cuenca del Plata, tales como agroquímicos, productos veterinarios o farmacéuticos, el estado de conocimiento es escaso. Con respecto al aporte de contaminantes desde la costa atlántica uruguaya, puede suponerse muy poco significativo en comparación con el de la cuenca del Plata, considerando la población y las actividades que se realizan desde Punta del Este hasta el Chuy, pero a escala local puede ser importante por las descargas de centros urbanos y cursos de agua tributarios al océano Atlántico o en forma estacional por efecto del turismo.

Residuos en el ambiente marino

La presencia de residuos sólidos en las costas es una de las manifestaciones más evidentes, al menos para la población en general, del impacto de las actividades humanas en los ecosistemas marinos. Menos evidente, pero de importancia sustantiva, es la acumulación de estos residuos lejos de la costa: flotando en la superficie, en la columna de agua o depositados en el lecho marino. Esta preocupación viene siendo abordada por diversos acuerdos internacionales y regionales, aunque la mayoría de ellos están dirigidos al transporte marítimo como fuente de generación de residuos, lo cual se analizará en el apartado siguiente, y no a las fuentes terrestres. Esto está explícitamente incorporado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2018), en particular en la meta 14.1, que expresa: "De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes". La prevención y la reducción de residuos en el mar es una cuestión transfronteriza, en la cual deben contribuir con acciones no sólo los usuarios del mar, sino también los Estados ribereños y otros Estados que aportan contaminantes y residuos al océano indirectamente a través de sus descargas en las cuencas continentales.

A escala global, entre el 50% y el 80% de los residuos que llegan a los ecosistemas marinos provienen de fuentes terrestres, tales como usos recreacionales y turismo en las costas, puertos, astilleros, sitios de disposición final de residuos próximos a la costa, zonas urbanas e industriales, descargas de

saneamiento y cursos de agua (Angiolillo, 2019). Aun así, no pueden subestimarse los aportes de fuentes marítimas, tales como el tránsito en general, la pesca, los usos militares y de investigación, la acuicultura y las instalaciones o plataformas costa afuera, así como las descargas legales e ilegales de residuos al mar. Es una preocupación creciente en la región, por el incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y su descarga en diversos cursos de agua urbanos y suburbanos, por una deficiente gestión municipal o por la actividad de recolectores de residuos (CIC, 2017), generando un aporte sustantivo en los cursos de agua de la cuenca del Plata. Entre los residuos que se producen en el ambiente marino, se destacan los generados por el tránsito marítimo y por las artes y otros elementos de pesca abandonados o descartados, temas que se abordarán en detalle en los apartados correspondientes.

Los residuos se distribuyen de forma muy irregular al alcanzar el ambiente marino-costero, dependiendo de factores como la morfología de la costa, la topografía (terrestre o submarina), la geografía, la hidrodinámica y los procesos oceanográficos. Algunos de estos factores naturales tienen variabilidad estacional, a lo cual hay que sumar la influencia de factores humanos, también variables. A escala regional es posible inferir sitios de acumulación de residuos marinos, tales como la costa y la zona litoral próxima a grandes centros urbanos, industriales o puertos, bancos o islas, zonas de pesca, rutas marítimas y zonas de alta sedimentación. Los residuos pesados tienden a quedar atrapados en áreas de baja circulación y altas tasas de sedimentación, mientras que los flotantes se acumulan en zonas frontales (Acha *et al*., 2003).

El transporte y el destino de los residuos en el medio marino están influidos por las propiedades del material original; en particular, su densidad determina si se encuentran en la superficie o columna de agua, o sedimentan en el lecho marino. A la vez, diversos procesos naturales y actividades humanas pueden alterar las propiedades del residuo o su destino: degradación y fragmentación, ingesta, excreta y colonización por organismos, resuspensión por tormentas y corrientes, por pesca de arrastre o por dragado.

Se estima que entre el 60% y el 80% de todos los residuos marinos son plásticos, entre 5 y 13 millones de toneladas que terminan cada año en los ecosistemas marinos globales (Barboza *et al*., 2019a). Sus características físicas, tales como la resistencia a la degradación y la densidad, permiten su transporte por largas distancias y la acumulación en determinados sitios del océano y la costa, convirtiéndose en un problema que puede persistir por décadas. Desde su fuente de generación son transportados por cursos de agua o el viento hacia el mar, distribuidos por corrientes superficiales en la costa o mar adentro, por corrientes de fondo en aguas más profundas y a través de cañones submarinos al talud continental, encontrándose en prácticamente todos los ambientes marinos conocidos. La descomposición química y biológica de los residuos plásticos, ya de por sí muy lenta, se reduce al llegar al lecho marino por la ausencia de luz y oxígeno y las bajas temperaturas.

Si bien existe un limitado conocimiento de la distribución global de los residuos plásticos en los océanos, se reconoce que las zonas de convergencia de los giros subtropicales

son sitios de acumulación (Angiolillo, 2019). Estos vórtices impulsan los residuos flotantes hacia el centro de las cuencas oceánicas, alrededor de 30° de latitud en cada hemisferio. Mucho menor conocimiento existe sobre los sitios de sedimentación de los residuos plásticos y sólo se han identificado algunos fondos que actúan como sumideros, próximos a zonas de aporte de residuos.

Para el caso de estuarios como el RdlP, los mecanismos de transporte y acumulación de residuos generados en el continente están fuertemente relacionados con su dinámica oceanográfica. Se ha observado que el frente de salinidad entre el estuario y el océano Atlántico puede actuar como una barrera física para la acumulación de residuos y su sedimentación en el fondo de Barra del Indio (Acha et al., 2003). Tal como ha sido indicado en otros trabajos, este frente actúa como barrera para los contaminantes químicos descargados en la cuenca del Plata y, por lo tanto, también es un sumidero o sitio de acumulación de contaminantes y de residuos de mayor peso. En el caso de residuos flotantes (livianos), se espera una dinámica diferente, con una deriva marcada por la circulación del estuario y oceánica.

El tipo y la magnitud de los impactos de los residuos en la biota marina dependen, entre otros factores, de su tamaño; los de mayor tamaño pueden provocan atrapamiento (*entanglement*) cuando las extremidades de un individuo se enredan o enganchan con los agujeros o nudos presentes en el residuo. El atrapamiento con un objeto reduce las capacidades físicas del individuo para moverse, alimentarse y respirar, y, a la vez, puede provocarle heridas que limitan más aún estas capacidades, haciéndolo más vulnerable a predadores. En casos extremos, el atrapamiento puede ocasionar su muerte por ahogamiento, sofocación o estrangulamiento. Las crías de varias especies pueden enredarse con elementos como aros, cintas o correas alrededor del cuello u otras partes del cuerpo, lo que puede afectar su crecimiento y ocasionar estrangulamiento al aumentar de tamaño. Estos daños han sido observados en aves marinas, tortugas, mamíferos, peces y cangrejos.

La ingesta de los residuos puede ocasionar una serie de efectos físicos, fisiológicos y toxicológicos en los organismos (Barboza *et al*., 2019a); efectos inmediatos, tales como lesiones del sistema digestivo por la rugosidad o forma del objeto ingerido (por ejemplo, úlceras, lesiones, infección e inflamación), obstrucción por objetos que se retienen en el sistema gástrico, exponiendo a otros órganos a los fluidos digestivos y ocasionando una falsa sensación de saciedad, o retención del objeto por largos períodos en el tracto digestivo. La acumulación de plástico en los intestinos genera una flotabilidad positiva en el individuo, que modifica su capacidad de nado y control de flotación, y, en el extremo, ahogo, que lo hace más vulnerable a predadores. La ingesta de residuos provoca efectos fisiológicos, en la nutrición, el desarrollo, inmunológicos y toxicológicos. La presencia de sustancias tóxicas en el residuo produce efectos subletales en el desarrollo del animal, su ciclo reproductivo y la dinámica de las poblaciones, a la vez que constituye una vía de transferencia y acumulación de estas sustancias en la cadena trófica. Por ejemplo, los plásticos pueden contener aditivos tóxicos y persistentes (por ejemplo, pigmentos

metálicos, bisfenol A, ftalatos), o bien absorber y concentrar contaminantes orgánicos persistentes que se encuentran en el medio marino (Lindgren *et al*., 2016).

La sedimentación y la acumulación de los residuos en el fondo marino provocan modificaciones de este hábitat, por daños físicos directos, reducción de la luminosidad y generación de condiciones anóxicas (inhibición del intercambio de gases en la interfase agua-sedimento). Estos cambios, a la vez, producen una serie de efectos en otras condiciones del hábitat o directamente en la fauna bentónica, por ejemplo, el ahogo y la muerte de los corales. Estos efectos son más radicales con los residuos plásticos, por su persistencia en el ambiente (Barboza *et al*., 2019a). La sedimentación de residuos en un fondo marino blando puede brindar un sustrato o refugio para ciertos organismos, que promueve un aumento en el número de especies y la abundancia de individuos en un hábitat específico. Sin embargo, los residuos y otras estructuras fijas permanentes en el fondo marino, tales como los naufragios y los cables submarinos, tienen riesgos ambientales asociados que se verán en detalle en los apartados correspondientes.

Los residuos antropogénicos que flotan, se encuentran a la deriva y se transportan largas distancias, son otro vector importante de especies exóticas (NIS, por sus siglas en inglés, *non-indigenous species*) (Barboza *et al*., 2019a). Ofrecen una alternativa de supervivencia efectiva para el transporte de estos organismos por largas distancias.

Los residuos contienen sustancias químicas que pueden ser liberadas al ambiente marino: en la superficie o columna de agua, o en el lecho marino cuando sedimentan. En el caso de los plásticos, además de los monómeros y polímeros que se liberan por descomposición del plástico, existe una variedad de aditivos que lo componen (por ejempmlo, fotoestabilizantes, plastificantes, antioxidantes, pigmentos, retardadores de llama, biocidas) y una diversidad de sustancias que son adsorbidas en su camino en y hacia el ambiente marino. Los metales pesados y los contaminantes orgánicos persistentes (por ejemplo, PCB, PAH, DDT) tienen afinidad por adsorción en medios hidrofóbicos, como los sedimentos, la materia orgánica y los residuos plásticos. En estos últimos la adsorción es mucho más eficiente, ofreciendo un sustrato para la acumulación de contaminantes.

Los residuos en el ambiente marino también representan una amenaza para la seguridad de la navegación, ya que puede bloquear las hélices o tapar las entradas de agua (Lindgren *et al*., 2016).

Los microplásticos son un tipo de residuo marino que se ha convertido en una preocupación creciente y se estima que representan más del 90% de todas las partículas plásticas que se encuentran en los océanos (Barboza *et al*., 2019b). El término es usado para describir pequeños residuos plásticos, de escala milimétrica (de menos de 5 mm o 500 µm, según la referencia), que debido a su tamaño tienen un comportamiento y una peligrosidad diferentes a los de otros residuos plásticos. Son un conjunto heterogéneo de partículas y fibras de varios tipos de polímeros y llegan al ambiente marino provenientes de fuentes primarias, o sea, de residuos de productos industriales o domésticos que

contienen partículas de ese tamaño (por ejemplo, textiles sintéticos, equipos electrónicos, productos de higiene y cuidado personal), o de fuentes secundarias, o sea, por la desintegración de residuos plásticos más grandes y que en el mar generan pequeños fragmentos debido a diversos procesos naturales.

Una característica de los microplásticos es su alta relación superficie a volumen, por lo tanto, son proclives a una mayor adsorción de sustancias peligrosas hidrofóbicas que se encuentren en el medio marino. A la vez, pueden ser un vector para microorganismos potencialmente dañinos (por ejemplo, patógenos). Los microplásticos pueden ser confundidos con presas o ser ingeridos durante la filtración pasiva de agua por varios organismos marinos y pueden ser transferidos de presa a predador. Esta transferencia es también un mecanismo de transporte de los microplásticos en la columna de agua, dentro del individuo que los ingiere. Por lo anterior, la ingesta de microplásticos puede conducir a una exposición elevada a las sustancias adsorbidas en su superficie, a los monómeros que se liberan por descomposición del polímero y a los aditivos que componen el plástico. Además de estos efectos toxicológicos, pueden producir efectos físicos en los organismos, afectar su movilidad y obstruir el tracto digestivo. Se ha reportado la presencia de microplásticos en una variedad de especies, desde el zooplancton hasta grandes vertebrados, y, por lo tanto, el consumo de pescado es una potencial fuente de exposición adicional a los microplásticos en humanos.

Existe acuerdo en que los sistemas acuáticos en Uruguay (continentales, costeros, marinos y bentos) están afectados por la contaminación por residuos plásticos (Lozoya *et al*., 2015). Se han realizado algunos estudios para la caracterización de los residuos plásticos presentes en el espacio marino-costero de Uruguay, cuyos resultados son en general comparables con lo reportado en la bibliografía internacional, por ejemplo en playas de Punta del Este (Lozoya *et al*., 2016) o de Punta del Diablo (Rodríguez *et al*., 2020). La acumulación de residuos plásticos en estas playas se relacionó con actividades y usos terrestres y marinos (por ejemplo, tránsito marítimo, turismo), así como con la dinámica costero-marina.

Uno de los pocos trabajos publicados con datos sistematizados sobre la presencia y la distribución de residuos marinos en el territorio marítimo uruguayo es el de Chocca *et al*. (2013). Incluyó 8 campañas entre 1999 y 2012 en el RdlP y la zona común de pesca, realizando lances de pesca durante 30 minutos y colectando residuos marinos de tamaño medio y grande. Los residuos fueron clasificados en 7 categorías (plástico, metal, textil, vidrio, madera, residuos de pesca y otros) y se determinó su abundancia por número de residuos. Se encontró una mayor abundancia en el frente del RdlP y en el frente subtropical de plataforma; en la zona costera predominan los plásticos (70%), mientras que en la zona profunda predominan los residuos de la pesca (40%). Estos resultados estarían indicando una predominancia de origen continental de los residuos próximo a la costa y de la pesca en áreas más profundas.

En el año 2010 se reportó una tasa de generación de residuos plásticos para Uruguay de 250 g/persona/día, lo que lo ubicó entre los 10 países que mayor cantidad de plástico generan per cápita, y se estimaba que el país contribuía a los océanos con alrededor de 5.600 t/a de residuos plásticos de origen terrestre, derivados de una gestión inadecuada (por ejemplo, disposición final inadecuada o en vertederos a cielo abierto) (Limongi, 2020).

Cambio climático

El cambio climático tiene un efecto directo en el área de análisis y efectos indirectos por los cambios inducidos en el océano Atlántico Sudoccidental y la cuenca del Plata. El aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera tiene impacto directo en los océanos, porque operan como reguladores del clima global y son sumideros de calor y de CO_2. A la vez, el calentamiento tiene efectos en la circulación y provoca la estratificación de las capas de agua, limitando el aporte de oxígeno y nutrientes a los ecosistemas marinos profundos. Todos estos efectos físicos introducen un estrés climático para los ecosistemas marinos, que puede afectar localmente su ciclo vital, la productividad, la estacionalidad y la distribución de especies marinas, lo que se suma a otras presiones de origen antrópico. Los efectos directos del cambio climático en los océanos son difíciles de predecir y están sujetos a una incertidumbre significativa, y mucho más impreciso es inferir los cambios en la vida marina, pero se han publicado algunos trabajos para Uruguay y la región con base en cambios observados y modelos. En el capítulo 2.3 de este libro se detallan estos cambios.

El Atlántico Sudoccidental es una de las regiones de mayor productividad biológica a escala global y donde se ha registrado un mayor aumento de la temperatura superficial del mar en las últimas décadas debido a un desplazamiento hacia el polo de los patrones de vientos, determinando una expansión al sur del giro subtropical y una extensión al sur de la Corriente de Brasil (Franco *et al*., 2020). La descarga del RdlP varía en forma estacional e interanual, dirigida por la circulación atmosférica en superficie, y afecta el desove, el reclutamiento y la alimentación de la mayoría de los peces pelágicos más abundantes. A la vez, la temperatura y la salinidad están controladas fundamentalmente por las condiciones atmosféricas locales y en forma subsidiaria por las variabilidades regionales y globales del clima. Por esta razón, los efectos del cambio climático en el continente también van a afectar a esta región del Atlántico.

Se han reportado cambios importantes en la temperatura superficial de mar en toda la región, en el período 1981-2017, identificándose dos máximos: uno en el RdlP interior y medio (más marcado en primavera y verano) y el otro en la zona de talud continental, el cual presenta tendencias de aumento de entre 2 y 3 °C. Estos cambios se asocian a fenómenos derivados del cambio climático y su influencia, en esta región, en el patrón de vientos y en el aumento del número de olas de calor marinas (Barreiro *et al*., 2019), que provocan mortandad masiva de peces y floraciones de algas. Estas olas de calor marino se han vuelto más frecuentes desde el año 2014 (Manta *et al*., 2018).

Asociados al aumento en la temperatura superficial del mar, se han registrado impactos

en las pesquerías de la región (Franco *et al*., 2020). Para la anchoíta (*Engraulis anchoíta*) se ha observado una tendencia decreciente en la abundancia de huevos y larvas, y una reducción en el volumen de desembarques, talla y pesos de la especie en Argentina. La caballa (*Scomber colias*) exhibe una expansión de su distribución hacia el sur en el verano austral durante las últimas décadas, asociada a una expansión similar de las áreas de alimentación de grandes organismos de zooplancton. Se ha sugerido también que para el período 1973-2017 se produjo un cambio en la composición de desembarques en Uruguay de especies de aguas frías a cálidas, acompañado de una declinación en los últimos años de las capturas por unidad de esfuerzo y desembarques de merluza, la cual es una especie con afinidad por aguas frías. También se reportan cambios en la distribución de la sardina (*Sardinella brasiliensis*), hacia el sur, en los últimos veinte o treinta años, observándose una tropicalización de las comunidades marinas: algunas especies con valor comercial han tenido tasas de crecimiento de población más altas, otras desaparecieron o disminuyeron drásticamente su abundancia. Otro ejemplo es la almeja amarilla (*Amarilladesma mactroides*), que se ha visto afectada por eventos de mortalidad masiva, fundamentalmente en primavera y verano, que se localizan cada vez más hacia el sur. Finalmente, también se ha registrado un aumento de especies de fitoplancton con afinidad por aguas cálidas, asociado a un aumento de temperatura a lo largo de la costa uruguaya; por su parte, una mayor frecuencia y duración de las floraciones de algas tóxicas afecta sensiblemente a las pesquerías en esta región.

En cuanto a las proyecciones de largo plazo, continuará la tendencia de calentamiento y extensión al sur de la Corriente de Brasil. Se prevé un aumento de precipitaciones en la región (mayor en verano), lo cual aumentará la descarga del RdlP, con una mayor disponibilidad de nutrientes y una extensión de la influencia de este volumen de agua en las costas y plataforma interior (Franco *et al*., 2020). Esto puede producir condiciones más adecuadas para el desove, el reclutamiento y la alimentación de peces en la región, pero también puede afectar negativamente a las especies que desovan en el estuario exterior del RdlP.

Otro fenómeno global asociado al cambio climático es la acidificación de los océanos: son sumideros de CO_2 y se estima que ya absorbieron entre un 20% y un 30% de las emisiones antropogénicas, lo que modifica la dinámica de los carbonatos y provoca una disminución del pH del agua y de la concentración de CO_3^{2-} (Chidichimo *et al*., 2022). Estos cambios influyen en las tasas de fijación de carbono por el fitoplancton, la calcificación, la reproducción y el reclutamiento de organismos en distintos niveles tróficos. El denominado mar patagónico se considera un sumidero de carbono regional, de magnitud moderada a escala global, con variaciones estacionales marcadas, y se estima que su pH ha disminuido 0,1 unidades desde la era preindustrial.

La desoxigenación oceánica o disminución de la concentración de O_2, asociada al cambio climático, se ha estimado en un 2% en los últimos cincuenta años (Chidichimo *et al*., 2022) y constituye otra de las presiones sobre los ecosistemas marinos del área, en

particular por el estrés respiratorio en peces y moluscos. El aporte de nutrientes desde el continente, por un aumento del uso de fertilizantes, podría intensificar la desoxigenación en la región de plataforma, pero el estado de conocimiento de este fenómeno en la región es limitado.

La salinidad también puede verse afectada por el cambio climático, en particular en el área de análisis por los cambios en las descargas del RdlP y el corrimiento al sur de la Corriente de Brasil, que se señaló anteriormente. No se encontraron estudios específicos en el área sobre la evolución y proyección de la salinidad a escala local, pero a nivel global se ha sugerido una disminución en altas latitudes, por fusión del hielo, y en áreas dominadas por las precipitaciones, y un aumento en regiones subtropicales dominadas por la alta evaporación.

Uno de los efectos más conocidos del cambio climático es el aumento del nivel del mar. Los modelos indican que la mayor contribución a los cambios físicos proyectados en la costa uruguaya del RdlP y el océano Atlántico es el aumento regional del nivel de mar, seguido en importancia por el efecto del aumento de la profundidad de agua en la amplitud de la componente de mareas (Jackson *et al*., 2022a). En cuanto a la magnitud de los cambios proyectados, se identificaron dos regiones con el mayor incremento en el nivel de mar total hacia el fin del presente siglo: desde Colonia hacia la región interna del estuario (hasta 55 cm) y la costa alrededor de Montevideo (hasta 50 cm).

Se prevén otros efectos en el espacio costero-marino, tales como la ocurrencia de eventos extremos con impacto en los procesos sedimentarios de erosión y acreción, la inundación de zonas urbanas, la salinización de acuíferos costeros y otros cambios en la conformación de la línea de costa y los procesos asociados (Echevarría *et al*., 2021).

En cuanto a los potenciales impactos en la pesca, un estudio reciente (Gianelli *et al*., 2023) analizó la sensibilidad al cambio climático de diferentes especies en la región sur del Atlántico y los potenciales cambios en la distribución de recursos pesqueros de importancia económica. La mayoría de las especies mostraron una sensibilidad moderada a alta y el mayor impacto esperado es en la situación del *stock* o conservación. Aunque la mayoría de las capturas en la región son de especies relativamente resilientes al cambio climático, la explotación de otros recursos e incluso las pesquerías de fondo pueden estar en riesgo.

Tránsito marítimo

La navegación del RdlP y el océano Atlántico en esta región es uno de los primeros y más importantes usos desde el siglo XVI y una puerta de entrada compartida por puertos de intensa actividad, como Montevideo, Buenos Aires y los del río Paraná desde el siglo pasado y ya en este siglo los del bajo río Uruguay.

A escala global, la mayoría del tránsito marítimo corresponde al transporte (*cargo* o *shipping*) dominado por buques graneleros (*bulk carriers*), tanqueros (*tankers*) y portacontenedores (*container ships*), y, en menor medida, por buques multipropósito, quimiqueros y gaseros (Walker *et al*., 2019). El transporte

de pasajeros, *ferry* y cruceros (*cruise ships*), representa un porcentaje menor de los buques registrados. En los últimos veinte años el comercio internacional marítimo se duplicó en volumen, llegando a 12.000 millones de toneladas (UNCTAD, 2023). El tamaño de los buques ha aumentado, pero también se observa un crecimiento del número de buques que navegan en un momento dado en el mundo. Con sus propias particularidades, el tránsito marítimo en el territorio uruguayo sigue esta tendencia, tal como se detalla en el capítulo 4.2 de este libro. Como consecuencia, las presiones y los riesgos ambientales del transporte marítimo también han aumentado en los últimos treinta años (Marín *et al*., 2018).

Los aspectos ambientales específicos de otros tipos de tránsito marítimo, como la pesca, requieren un abordaje particular y se analizan en otros apartados de este capítulo. El transporte de pasajeros o la navegación recreativa se desarrolla fundamentalmente en el espacio costero y litoral del área de análisis, y en general se trata de un tipo de tránsito marítimo de menor escala que los anteriores, con excepción de los cruceros, cuyo tránsito en la región ha aumentado significativamente (Giusto *et al*., 2023; Presidencia de la República, 2023), concentrado en la temporada estival. La navegación recreativa no es una fuente importante de contaminantes en términos relativos, pero, debido a que generalmente está concentrada en un área costera relativamente pequeña, puede generar impactos locales significativos (Lindgren *et al*., 2016).

En la práctica existen varias rutas marítimas en el océano Atlántico y el RdlP de jurisdicción uruguaya (Marín *et al.*, 2018; MarineTraffic, 2023), pero la mayor densidad se verifica en el corredor de aguas seguras, que es un espacio de navegación de 6 millas marinas cartografiado y sondeado en detalle (SOHMA, 2021), y en las zonas de espera y fondeo. En la figura 4 del capítulo 4.4 se presenta un mapa con la ubicación del corredor y las zonas mencionadas. Estos espacios funcionan principalmente para el ingreso de transporte marítimo al puerto de Montevideo, el de Buenos Aires y otros puertos fluviales en los ríos Paraná y Uruguay. Marín *et al*. (2018) realizaron un análisis de los tipos de buques y tiempos de espera en cada zona de fondeo, reportando 49% de graneleros, 24% de tanqueros y quimiqueros y 7% de portacontenedores. De los buques fondeados con destino al RdlP, sólo un 28% tenía como destino los puertos de Uruguay, fundamentalmente Montevideo. Se verifica un aumento del tamaño de las zonas de espera y fondeo en las últimas décadas (Marín *et al*., 2021), atribuible a un mayor flujo de transporte marítimo en la región. Además de potenciales conflictos de uso del espacio marino, también cabe inferir un mayor riesgo de impactos ambientales por la estadía de los buques en estas zonas. Todas ellas, salvo la zona de maniobras para transbordo de hidrocarburos buque a buque (STS, *ship to ship*) (PRENA, 2017), se ubican en el RdlP fuera del área de análisis.

Tomando como medio receptor el ambiente marino, los aspectos ambientales significativos del tránsito marítimo pueden agruparse, como lo muestra la figura 1, en descargas al agua, interacciones físicas y emisiones a la atmósfera (Lindgren *et al*., 2016; Jägerbrand *et al*., 2019). Están relacionados con

operaciones normales que se realizan a bordo, o bien con eventos no deseados o incidentales. En el ciclo de vida del transporte marítimo se verifican otros efectos que exceden el ámbito de análisis espacial y temporal de este capítulo, tales como la actividad portuaria, la construcción, la reparación y el desguace de buques, entre otros.

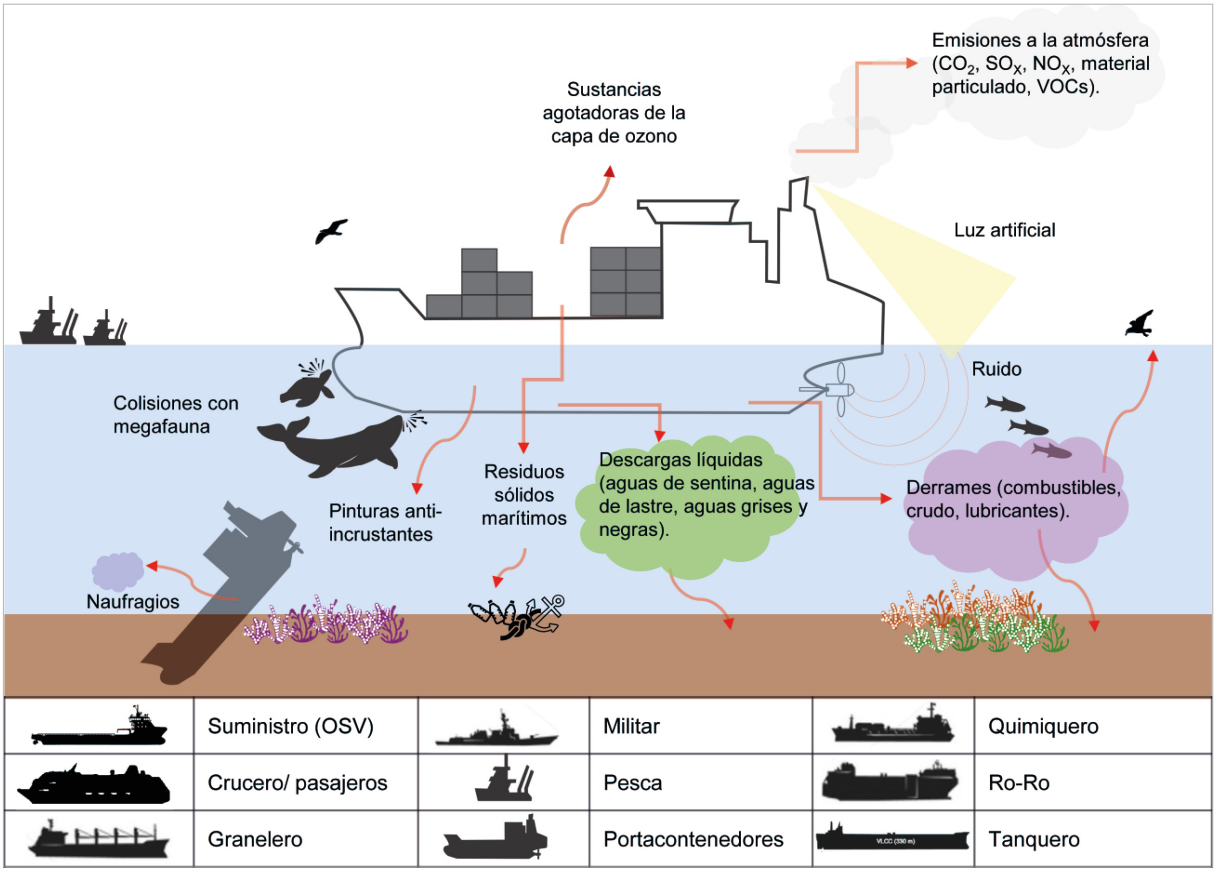


Figura 1: Principales aspectos ambientales asociados al tránsito marítimo. Adaptado de Jägerbrand et al. *(2019) y Andersson* et al. *(2016). En la imagen principal se ilustran las descargas, emisiones a la atmósfera e interacciones físicas de un buque portacontenedor, pero estos aspectos son comunes a todos los tipos de buques, algunos de los cuales se ilustran debajo.*

La regulación ambiental referida al tránsito marítimo ha sido reactiva (Moldanová *et al.*, 2022), impulsada por eventos desencadenantes, catástrofes ambientales o conmoción pública y, en su mayoría, promovida por la Organización Marítima Internacional (OMI). Tiene diferentes abordajes (Lindgren *et al.*, 2016): precautorio y de diseño de buques y equipos, de monitoreo y control o de mitigación. La Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación, el convenio de 1973, el protocolo de 1978 y sus enmiendas, conjunto denominado de aquí en adelante MARPOL (Poder Ejecutivo, 1979;

OMI, s. f., Convenio internacional…), es la regulación internacional más comprensiva y relevante. Aborda diferentes fuentes potenciales de contaminación del transporte marítimo (Lindgren *et al*., 2016; Moldanová *et al*., 2022): descargas operacionales de petróleo y derivados (anexo I), de productos químicos tóxicos a granel (anexo II) o empacadas (anexo III), efluentes sanitarios (anexo IV), residuos (anexo V) y emisiones a la atmósfera (anexo VI). Sin embargo, este y otros instrumentos tienen limitaciones en aplicación, alcance y cumplimiento, y están lejos de incorporar en la práctica marítima global la gestión de todos los aspectos ambientales asociados a este sector, como se verá en este apartado. Entre la ocurrencia y el registro de impactos por causa de un aspecto ambiental del tránsito marítimo pueden transcurrir años o décadas para que exista una sensibilización efectiva de la comunidad internacional, se promuevan acuerdos, entren en vigor y sean ratificados por un número significativo de naciones.

A continuación, se describen los aspectos y potenciales impactos ambientales del tránsito marítimo que son de aplicación a toda la navegación en general, incluyendo los usos que se desarrollarán más adelante: pesca, transbordo de cargas y exploración de hidrocarburos.

Descargas al mar

Las operaciones de rutina en los buques generan efluentes líquidos y residuos sólidos que contienen agentes físicos, químicos o biológicos que si se descargan directamente al mar pueden ser nocivos para el ecosistema receptor. Situaciones no deseadas o planificadas pueden generar la descarga de productos químicos transportados por el buque, también nocivos para el ecosistema marino, como es el caso del desgaste de pinturas antiincrustantes, o la situación extrema de los derrames.

En Uruguay existe una serie de regulaciones vinculadas a la gestión de las aguas residuales y los residuos sólidos de los buques, que se adoptan a partir de la ratificación de convenios internacionales, tratados binacionales y la promulgación de otras normativas de diferente jerarquía (leyes, decretos y disposiciones marítimas). Estos instrumentos tienen limitaciones en su alcance espacial (por ejemplo, prohibición de descargas al mar en un espacio determinado) o de los sujetos de regulación (por ejemplo, sólo aplicados a buques mayores a determinado tamaño o de bandera nacional). A la vez, existen limitaciones en las capacidades nacionales para el control y el cumplimiento de dichas normas, en particular en regiones remotas y para buques de otras banderas que tienen una estadía corta en el territorio marítimo uruguayo.

Aguas de lastre

El agua de lastre (*ballast water*) permite compensar el peso y lograr la flotación óptima del buque y una inmersión adecuada de sus hélices, evitar la inclinación transversal y longitudinal, evitar o reducir los esfuerzos estáticos y dinámicos del casco, y lograr una estabilidad estática y dinámica adecuada (Gollasch y David, 2019). El agua de lastre se toma directamente del entorno y se almacena en tanques o depósitos diseñados con ese propósito, ubicados en el interior del casco. En función de la carga transportada por el

buque y los requerimientos de navegación, este lastre puede expulsarse en otros mares u océanos diferentes a los de origen. Se estima que la transferencia anual global de agua de lastre es de entre 3.000 y 5.000 millones de toneladas (Walker *et al*., 2019) y se espera que estos volúmenes aumenten por el crecimiento del transporte marítimo.

La capacidad de carga de agua de lastre depende del tipo de buque y su carga; a mayor carga, más agua de lastre es necesaria (Gollasch y David, 2019). La toma o la expulsión de agua de lastre pueden realizarse durante diversas operaciones y situaciones: carga o descarga en puertos, aproximación o salida de aguas someras, en ruta por condiciones climáticas o para mejorar la eficiencia.

La mayor preocupación es la toma, el transporte y la liberación de especies que no son autóctonas del sitio donde se expulsa el agua de lastre. Las especies exóticas son especies o subespecies introducidas fuera de su alcance natural, actual o pasado, y más allá de su potencial de dispersión natural. Las que tienen un efecto adverso en la diversidad biológica, valores económicos, la salud humana o el funcionamiento del ecosistema son consideradas especies exóticas invasoras (EEI). Aumentan rápidamente su abundancia y distribución en el área y al hacerlo alteran negativamente la estructura o el funcionamiento del ecosistema. Se ha reportado la introducción de más de 100 especies invasoras con aguas de lastre (Walker *et al*., 2019), en prácticamente todos los países y costas del mundo (Gollasch y David, 2019), y con efectos probados en el ambiente, la salud (por ejemplo, dispersión de la epidemia de cólera, introducción de bacterias y otros vectores) y la economía (por ejemplo, reducción de las capturas de pesca, algas tóxicas). Este riesgo ha aumentado en las últimas décadas con el crecimiento del transporte marítimo y la mayor velocidad de los buques, que hace crecer las chances de supervivencia de los organismos en los tanques de lastre (Lindgren *et al*., 2016).

Una gran variedad de especies (cientos y hasta miles de tipos de bacterias, plantas y animales, incluyendo peces) pueden sobrevivir en un tanque de lastre, tanto en la columna de agua como en el sedimento de fondo o adheridas a las paredes internas (Gollasch y David, 2019). Cada buque representa un riesgo de introducción de especies, pero no necesariamente la colonización por dicha especie, pues se requiere una serie de eventos para que las especies exóticas se adapten y prosperen en el nuevo ambiente. La dispersión de estas especies desde su sitio de liberación se produce por corrientes y objetos flotantes en cuerpos de agua (residuales y naturales). En principio, los organismos deben sobrevivir a las condiciones de oscuridad y baja concentración de oxígeno presentes en los tanques de lastre. Al descargarse, la supervivencia depende de la tolerancia y la capacidad de adaptación del organismo, en particular a condiciones de temperatura y salinidad diferentes (Lindgren *et al*., 2016).

Las estrategias de gestión del riesgo de las aguas de lastre están orientadas a la reducción de la presión por propágulos (por ejemplo, germen, parte o estructura de un organismo, capaz de desarrollarse de manera separada, tales como yemas, bulbos, tubérculos, semillas o esporas) y se han establecido mediante convenios internacionales, regulaciones

regionales o locales y prácticas voluntarias (Walker *et al*., 2019). La Convención sobre los Derechos del Mar (CONVEMAR) (Naciones Unidas, 1982; Poder Legislativo, 1992b) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) (Naciones Unidas, 1992; Poder Legislativo, 1993) incluyen estipulaciones vinculadas a la introducción de especies invasoras. Pero el instrumento más reciente y específico de la OMI es el Convenio para la Gestión de Aguas de Lastre (BWM, por sus siglas en inglés), adoptado en 2004 y vigente desde 2017 (OMI, s. f.). Este convenio busca prevenir, minimizar y eliminar los riesgos de la transferencia de organismos acuáticos dañinos y patógenos (HAOP, por sus siglas en inglés) a través de aguas de lastre y sus sedimentos. Esta definición no sólo incluye a las especies exóticas o NIS, sino también a las especies que aún no se ha determinado si son nativas, denominadas criptogénicas. Las medidas de gestión establecidas en el BWM incluyen (Lindgren *et al*., 2016): el tratamiento a bordo de las aguas de lastre, su disposición final en puertos (u otras posibles soluciones futuras), la definición de límites de concentración de organismos viables en el agua de lastre a descargar y de ciertos organismos indicadores en particular (por ejemplo, *Vibrio cholera*, *Escherichia Coli*, enterococo). No obstante, su implementación presenta algunas dificultades (Gollasch y David, 2019), como el monitoreo y el control de las aguas de lastre. Uruguay no ha ratificado el BWM, aunque sí lo han hecho Argentina y Brasil.

El intercambio de agua de lastre en océano abierto es otra medida de gestión que puede reducir el riesgo de NIS y es recomendada por algunas regulaciones nacionales antes del ingreso a una región de aguas someras o la costa (Lindgren *et al*., 2016). Los organismos presentes en el agua de lastre son liberados en un ambiente de mayor salinidad, ocasionando una elevada mortalidad (Walker *et al*., 2019), aunque algunos organismos tienen amplio rango de tolerancia de salinidad y la medida tiene una eficiencia limitada (Gollasch y David, 2019). En el largo plazo, para lograr mayor eficiencia en la prevención de especies invasoras, se debería considerar la recepción y el tratamiento de aguas de lastre en puerto.

Muchas especies invasoras no son detectadas hasta que sus efectos son observados, así que el monitoreo es fundamental para la detección temprana. Una vez identificadas, pueden aplicarse medidas de control, y hasta de erradicación, pero el éxito de estas medidas es medio a bajo.

En FREPLATA (2005) se reportaban las principales especies marinas invasoras reconocidas en el RdlP y su frente marítimo, asociadas a las aguas de lastre pero también a otros orígenes. Una revisión reciente de las especies exóticas invasoras en Uruguay (Brazeiro *et al*., 2023) indica que en los ecosistemas costero-marinos las especies exóticas (15) se encuentran presentes predominantemente en el RdlP y en las desembocaduras de arroyos y ríos. Para el océano Atlántico se identifica un número menor de especies exóticas (6): invertebrados invasores como la ascidia *Styela plicata* y el briozoario *Membraniporosis tubigera*, el caracol rapana venosa (*Muricidae, Rapaninae*), los crustáceos no categorizados como invasores para Uruguay, el balano (*Amphibalanus amphitrite*) y el anfípodo (*Monocorophium insidiosum*); en el caso de la *Ligia exótica*, un

crustáceo también identificado como especie invasora en el océano Atlántico, se sugiere su reclasificación a especie exótica.

El mejillón dorado es un ejemplo de rápida invasión asociada a la navegación y el transporte marítimo. Es un molusco de agua dulce originario de Asia, que ingresó a principios de la década de 1990 en el RdlP y se ha extendido por toda la cuenca del Plata (Brugnoli *et al*., 2021), en donde tuvo una extensión muy rápida posiblemente mediada por la navegación. Se ha identificado una serie de impactos ecológicos de esta invasión, incluyendo la modificación de la estructura de las comunidades bentónicas y planctónicas, de los hábitos alimenticios de peces autóctonos, de las características del agua y la generación de incrustaciones en infraestructura hidráulica.

El caracol rapana es un molusco gasterópodo proveniente del sudeste asiático, que fue registrado por primera vez en Uruguay en el año 1998 (Muniz *et al*., 2021). Es un organismo invasor exitoso en ecosistemas costeros y estuarinos, con una alta dispersión global desde mediados del siglo XX asociada en parte al transporte en aguas de lastre. Habita en sustratos rocosos y areno-fangosos, se alimenta de bivalvos y tiene amplia tolerancia de temperatura, oxígeno y salinidad. En Muniz *et al*. (2021) se realiza una caracterización detallada de este invasor y sus impactos ecológicos.

Otro ejemplo más antiguo de invasión asociada al transporte por aguas de lastre es el de la almeja asiática.

En Brugnoli *et al.* (2021) se indica que las especies exóticas son un grave problema ambiental del país y se recomienda tomar acciones para la prevención de la introducción de nuevas especies, como la ratificación del convenio BWM y el establecimiento de un efectivo control del agua de lastre y sedimentos y de las incrustaciones en los cascos de buques.

No se identificaron estudios específicos sobre las descargas de agua de lastre en el área analizada, pero se estima una mayor ocurrencia de estas emisiones en las zonas de alto tránsito de buques: en las zonas de espera y fondeo o en el corredor de aguas seguras. La OMI, por medio de enmiendas al MARPOL y resoluciones, ha establecido directrices para la gestión de las aguas de lastre en el sector marítimo internacional (OMI, s. f., Gestión del agua de lastre), que son de aplicación para el área de análisis. El Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (Poder Ejecutivo, 1974a) define una zona entre el límite exterior del RdlP y la ZEE de Uruguay y Argentina en la cual se prohíbe el vertimiento de hidrocarburos provenientes del lavado de tanques, aguas de sentinas y de lastre ("zona de prohibición de acciones contaminantes"). Posteriormente, se establecieron directrices para el registro y la descarga del agua de lastre para todos los buques de navegación marítima internacional que ingresen a puertos nacionales, estableciendo el cambio del agua de lastre en la zona oceánica fuera de la isóbata de 200 metros (PRENA, 2006).

Aguas de sentina

Los líquidos oleosos que se generan en la sala de máquinas de un buque, debido a pérdidas menores y no planificadas en tuberías, juntas y otros equipos, drenan hacia la parte más

baja de la sala y son colectados y tratados a bordo en una unidad de tratamiento (separadores de agua-aceite, OWS, por sus siglas en inglés), generando un líquido oleoso concentrado (*slop*) y un agua residual tratada pero todavía con altos niveles de hidrocarburos, denominada agua de sentina (*bilge*). El tratamiento puede incluir etapas posteriores como membranas, la oxidación química, la floculación o el tratamiento biológico combinado con los separadores OWS (Lindgren *et al*., 2016).

Los hidrocarburos provienen del combustible del buque (fueloil o gasoil) y de los lubricantes usados en las máquinas. Además, contienen grasas, solventes de limpieza y desengrasantes, detergentes y metales pesados provenientes de los combustibles y lubricantes (Lindgren *et al*., 2016). La generación de aguas de sentina es muy variable, depende de cada buque, pero existe una correlación entre la potencia motriz del buque y el volumen generado diariamente, y es mayor en buques de pasajeros que en los de transporte de cargas, variando entre 1 y 11.000 litros por día (Magnusson *et al*., 2018).

Se estima que alrededor del 75% de las aguas de sentina tratadas se descargan en el mar, mientras que un 25% es recibido en puertos (Magnusson *et al*., 2018) y más de 16.000 t/a de hidrocarburos son descargadas por la flota marítima comercial global, aun suponiendo un buen cumplimiento de estas normas (Lindgren *et al*., 2016).

La descarga de las aguas de sentina se realiza a través de una salida en el casco, debajo de la línea de flotación. El efecto de esta descarga en el medio marino depende del volumen, la concentración y el tipo de contaminantes presentes en el agua de sentina, pero también del medio receptor: su capacidad de dilución, dispersión, degradación, absorción en material particulado, sedimentación y otros fenómenos. La turbulencia ocasionada por las hélices del buque favorece la mezcla y la dilución del agua de sentina en la columna de agua, pero también reduce la posibilidad de degradación de los hidrocarburos por procesos como la fotooxidación por luz UV y la evaporación al aire. La degradación por microorganismos es el principal mecanismo de eliminación de los hidrocarburos emitidos con las aguas de sentina, aunque también puede haber sedimentación por absorción en partículas. En tal sentido, se espera una variación estacional de la capacidad natural de eliminación de los contaminantes en aguas de sentina, ya que las tasas de degradación microbiana son mayores en el verano. Los metales presentes en las aguas de sentina tienden a absorberse en el material particulado y sedimentar en el lecho marino, acumulándose en este compartimento.

A concentraciones bajas de contaminantes no se esperan efectos tóxicos agudos en los organismos presentes en la columna de agua, pero la descarga continua de aguas de sentina puede contribuir a una acumulación de contaminantes en el ambiente marino. Las prácticas u operaciones de descarga, los sistemas de tratamiento ineficientes o el incumplimiento de la regulación pueden determinar concentraciones excepcionalmente altas en zonas de descarga de aguas de sentina.

No se identificaron estudios que permitan cuantificar este tipo de descargas en el territorio marítimo uruguayo, pero, al igual

que las aguas de lastre, se estima una mayor ocurrencia en las zonas de espera y fondeo y en el corredor de aguas seguras. Para todo el territorio marítimo son de aplicación las directivas del MARPOL, enmiendas y resoluciones para la gestión de las aguas de sentina en el sector marítimo internacional (Poder Ejecutivo, 1980; PRENA, 2007), que permiten la descarga de aguas de sentina a los buques en ruta, luego de su tratamiento y con un contenido de hidrocarburos menor a 15 ppm, a una distancia mayor a 12 millas de la costa. Los buques de bandera nacional, de acuerdo con su tipo y tamaño, tienen requerimientos adicionales incluyendo la prohibición de vertido en la "zona de prohibición de acciones contaminantes" definida por en el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (ver apartado anterior).

Aguas grises y negras

Los efluentes domésticos que se generan en los buques por la presencia humana se clasifican en aguas negras, provenientes de baños, servicios médicos y salas de animales, y en una corriente separada de aguas grises, que colecta los drenajes de duchas, cocina y lavadero.

Las aguas negras contienen contaminantes químicos (metales pesados, productos farmacéuticos, nutrientes y materia orgánica) y biológicos (virus, bacterias y otros microorganismos, parásitos) que están en mayores concentraciones que los efluentes domésticos urbanos, ya que se utiliza menos agua en la descarga de baños de los buques (Lindgren *et al*., 2016). Su descarga en el mar, dependiendo del volumen, la frecuencia y capacidad de dilución, puede provocar un aumento de la concentración de materia orgánica en el agua, contribuir a la eutrofización por el aporte de nutrientes, introducir microorganismos patógenos y provocar un detrimento de la calidad de agua por olores y turbidez. Están contempladas por el anexo IV del MARPOL, que las denomina "aguas sucias" y establece determinados requisitos para su tratamiento y descarga al mar. La descarga está permitida a un mínimo de 12 M de la costa mientras el buque está en ruta o un mínimo de 3 M cuando el buque cuenta con unidades de tratamiento y desinfección. Estas restricciones son aplicables solamente a buques de cierto tamaño (>400 GT) o número de pasajeros (>15). A la vez, según el año de instalación de la planta de tratamiento, los buques deben cumplir diferentes directrices de la OMI para el vertido de estos efluentes (Giusto *et al*., 2023), incrementándose gradualmente la exigencia (en cantidad de parámetros y estándares de vertido de los efluentes).

Las aguas grises pueden contener una variedad de contaminantes (por ejemplo, bacterias, sólidos en suspensión, metales, detergentes, aceites y grasas, partículas de comida, microplásticos), pero su peligrosidad es menor que la de las aguas negras (Lindgren *et al*., 2016). Su descarga al mar no está regulada por el MARPOL, salvo que contengan sustancias consideradas contaminantes y superen determinados límites de concentración.

El volumen de aguas grises y negras está asociado al número de personas a bordo; los buques de pasajeros, en especial los cruceros, son grandes generadores de estos efluentes. Un estudio reciente de Giusto *et al*. (2023)

sobre los cruceros de pasajeros que llegan al puerto de Buenos Aires muestra que sus sistemas de tratamiento no cumplen las directrices más restrictivas y modernas de la OMI, posiblemente porque la flota que opera en esta región es relativamente antigua. Otra actividad que puede generar grandes volúmenes de aguas grises y negras en un pequeño espacio es concentración de embarcaciones recreativas.

No se identificaron estudios que cuantifiquen las descargas de aguas negras y grises en el territorio marítimo uruguayo, pero, al igual que los efluentes descriptos anteriormente, las descargas podrían concentrarse en las zonas de mayor densidad de tránsito marítimo.

Pinturas antiincrustantes

Las pinturas antiincrustantes (*antifouling*) se utilizan para prevenir el crecimiento y la acumulación de organismos en el casco de los buques. La incrustación es la acumulación no deseada de microorganismos, algas y animales en superficies artificiales sumergidas en el mar (Lindgren *et al*., 2016). Se inicia inmediatamente cuando una superficie es introducida en el mar, con una sucesión ecológica, y se han reportado alrededor de 4.000 especies.

La incrustación produce diversos problemas a los buques (Lindgren *et al*., 2016): acrecienta la fricción del casco aumentando el peso y reduciendo la velocidad y maniobrabilidad, lo cual debe compensarse con un mayor consumo de combustible, y también promueve la corrosión del casco y aumenta la frecuencia de mantenimiento (entrada a dique). Es, además, un vector para la introducción de especies exóticas cuando se realiza la limpieza del casco o por exfoliación natural de la película biológica.

El desgaste y el desprendimiento de las pinturas antiincrustantes constituyen otro tipo de descarga en el medio marino. El producto de mayor preocupación es el grupo de los compuestos orgánicos del estaño, en particular el tributilo de estaño (TBT), que es un biocida muy utilizado a partir de la década de 1970. Se estima que a mediados de la década de 1990 el 70% de la flota mundial lo utilizaba (Lindgren *et al*., 2016). Pero a fines de la década de 1970 ya habían comenzado a reportarse efectos del TBT en el desarrollo reproductivo en caracoles (por ejemplo, imposex, es decir, hembras que desarrollan genitales de machos), a muy bajas concentraciones, en el rango de los nanogramos por litro. A partir de estos estudios, se comenzaron a reportar similares efectos en otras especies y otros efectos negativos en ostras, mamíferos marinos y peces. Como consecuencia de la evidencia, algunos países comienzan a prohibir el uso del TBT y en el 2001 la OMI acordó el Convenio Internacional sobre el Control de Sistemas Anti-incrustantes Nocivos en Buques (convenio AFS) para limitar su uso, el cual fue ratificado por Uruguay (Poder Legislativo, 2012b) aunque ya antes se contaba con normas provisorias (PRENA, 2005).

Las pinturas a base de compuestos orgánicos del estaño han sido masivamente sustituidas por pinturas a base de cobre o zinc, en combinación con otros biocidas: herbicidas, agentes de control de malezas u órgano-metálicos. Estos productos sustitutos también

tienen potenciales efectos en el ecosistema marino, aunque a concentraciones más altas que la familia del TBT. Los estudios sobre la toxicidad, la persistencia y los productos de degradación de los componentes de pinturas antiincrustantes continúan y es posible que existan nuevas restricciones en el futuro.

Debido a que el TBT se acumula en sedimentos y en condiciones anóxicas tiene una alta persistencia, además de que todavía sigue siendo utilizado (en forma ilegal o por países que no ratificaron el convenio específico de la OMI), es de particular importancia considerarlo para la caracterización y la disposición final de los sedimentos del dragado de puertos y canales de navegación (Oliveira *et al*., 2020).

No se identificaron estudios que determinen la presencia de pinturas antiincrustantes en sedimentos y biota acuática del territorio marítimo uruguayo. Sin embargo, se tienen indicios de que en determinados lugares podría haber acumulación de TBT por su uso pasado: por un lado, se ha detectado TBT en sedimentos en decenas de sitios con actividad marítima en Argentina y Brasil (como puertos, marinas y astilleros), en concentraciones comparables con las presentes en países desarrollados (Bigatti *et al*., 2014); por otro lado, se ha documentado imposex en gasterópodos en los puertos de Piriápolis y Punta del Este (Delgado *et al*., 2011; Besozzi, 2013), lo cual puede estar asociado a la presencia de compuestos orgánicos de estaño.

Residuos marítimos

La generación de residuos sólidos depende del tipo de buque y operación, aunque algunos son comunes a todo el tránsito marítimo y se generan por la presencia humana a bordo y por las operaciones normales de marinería. Teniendo en cuenta datos globales (Angiolillo, 2019), es de esperar que la contribución del transporte marítimo a la generación de residuos marinos sea menor comparada con la de las áreas continentales o la pesca.

Ciertos residuos generados a bordo de los buques reciben una gestión diferente (Walker *et al*., 2019): los orgánicos (por ejemplo, papel, cartón, comida) son generalmente incinerados y las cenizas se descargan al mar, los plásticos son segregados y entregados para su gestión en los puertos, ya que está prohibida su incineración a bordo o la descarga al mar. Otros residuos considerados peligrosos por el anexo III del MARPOL también deben ser segregados y entregados en puerto (es el caso de baterías, productos farmacéuticos y pinturas).

El Convenio de Londres sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias entró en vigor en el año 1975 y es uno de los acuerdos multilaterales ambientales más antiguos. En 1996 se elaboró su protocolo, con un enfoque más moderno, instrumento que Uruguay ha ratificado (Poder Legislativo, 2013a). En sus términos, se prohíbe el vertimiento intencional de desechos u otras materias en el mar, con excepción de ciertos residuos como materiales de dragado, lodos cloacales, desechos de pescado, entre otros. Además, su alcance está limitado porque no considera como vertimiento a la evacuación de deshechos resultantes de la operación normal de buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones y equipos en el mar.

El MARPOL en su anexo V prohíbe la descarga de residuos desde los buques y plataformas, con excepciones, y promueve la gestión a bordo y el desembarque para su correcta disposición final. En particular la descarga de residuos plásticos desde buques está prohibida en cualquier sitio según la recomendación MEPC.220(63) (Barboza *et al*., 2019a), así como la descarga de residuos de alimentos cerca de la costa.

A escala local también se han establecido directrices para la gestión de los residuos a bordo, aplicables a buques de bandera nacional, excepto embarcaciones deportivas y de pesca artesanal (PRENA, 2018). Incluyen la implementación de planes de gestión de residuos a bordo, lo cual requiere de infraestructura y mecanismos adecuados para la recepción y la gestión de residuos en puertos y terminales.

No se identificaron estudios nacionales o regionales que analicen la generación y la descarga de residuos sólidos de buques en el territorio marítimo y, por lo tanto, no es posible cuantificar su potencial impacto.

Derrames

Los derrames de hidrocarburos (*oil spill*) son uno de los eventos de mayor preocupación en el sector de transporte marítimo, por el potencial de impacto en el ecosistema marino y en los usos del espacio costero-marino. El derrame de 5.000 t de petróleo por el encallamiento del buque San Jorge, cerca de Punta del Este, el 8 de febrero de 1997 (Levine *et al*., 1997; Mearns *et al*., 1999; Sagrera, 2013), instaló la preocupación en la opinión pública y las instituciones nacionales, e impulsó la adopción de regulaciones, prácticas y una estructura institucional para prevenir y dar respuesta a este tipo de accidentes, entre otras medidas para prevenir la contaminación por hidrocarburos en el mar y sus efectos.

En un concepto amplio, los derrames refieren a todo tipo de descarga de hidrocarburos líquidos en áreas costeras y marinas, originados por actividades humanas, incluyendo los derrames de petróleo crudo de tanqueros, plataformas, terminales costero-marinas, perforaciones costa afuera (*offshore*), derrames de productos refinados del petróleo y sus subproductos, combustibles de buques y derrames de cualquier residuo oleoso. El número de derrames de magnitud media y alta (mayor a 50 barriles de petróleo) y el volumen total derramado han registrado una marcada disminución desde la década de 1980 (ITOPF, 2023). Este progreso radica posiblemente en la introducción de mejores prácticas y tecnologías, como la implementación de doble casco para tanqueros, y en el impulso de los convenios internacionales y las regulaciones locales, a pesar de que el volumen transportado ha aumentado significativamente (Walker *et al*., 2019). Los derrames de menor magnitud son la inmensa mayoría de los eventos, aunque contribuyen en cantidad de petróleo con menos de un 1% de los derrames globales (Jägerbrand *et al*., 2019; ITOPF, 2023) y, generalmente, no toman estado público.

Existen otras fuentes, antropogénicas y naturales, de hidrocarburos al medio marino; en Norteamérica se estima que la principal contribución es de fuentes terrestres, mientras que en segundo lugar se ubican los escapes naturales de hidrocarburos (*oil seeps*,

hidrocarburos que migran desde el subsuelo hasta el lecho marino), seguidos de los derrames costa afuera (National Academies Press, 2022). A continuación, se ubican las descargas operacionales, tales como efluentes de la producción de hidrocarburos, descargas de aguas de sentina, lubricación de rodamientos del eje de hélices y limpieza ilegal de tanques de almacenamiento de combustibles. A escala mundial se estima un menor aporte relativo de hidrocarburos desde el continente, pero los derrames de buques siguen representando una contribución minoritaria del total que llega a los océanos (Jägerbrand *et al*., 2019).

Un ejemplo de descargas operacionales de menor magnitud que los derrames, pero con una ocurrencia significativa, son las del aceite utilizado para la lubricación y el sello hidráulico del eje de las hélices (Lindgren *et al*., 2016), o la limpieza ilegal de tanques, la descarga de aguas de lavado de máquinas y motores y los pequeños derrames ocurridos durante operaciones de transbordo de hidrocarburos en el mar. Los efectos crónicos en la biota marina derivados de estas descargas, relativamente menores aunque continuas o frecuentes, son menos conocidos que los efectos de los grandes derrames (Lindgren *et al*., 2016).

Los derrames de gran magnitud son considerados catástrofes ambientales y tienen un potencial de afectación del ecosistema marino y costero, en el corto plazo y a distancias alejadas del suceso, como casi ninguna otra actividad humana en el mar, por la enorme carga que se libera en un corto lapso y en un sitio determinado. El impacto depende del tipo y la cantidad de producto liberado al ambiente, pero también de su ubicación: su proximidad a áreas y comunidades ecológicamente sensibles y las condiciones del clima y el océano que afectan el transporte y el destino del producto. También depende de la respuesta humana al derrame y de la efectividad de las acciones para evitar o mitigar sus impactos. Los hidrocarburos que llegan al mar están sujetos a varios procesos naturales (Lindgren *et al*., 2016; National Academies Press, 2022): evaporación, fotólisis, emulsificación, disolución en agua, dispersión, degradación y sedimentación en el lecho marino. Los productos de degradación pueden ser más tóxicos que el producto original, como es el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH).

Se han reportado múltiples efectos inmediatos y de largo plazo en organismos marinos a partir de derrames de gran magnitud, incluyendo respuestas subletales y tóxicas agudas, y algunas letales. La exposición de los organismos marinos ocurre por varias vías (Lindgren *et al*., 2016; National Academies Press, 2022): por contacto directo o ingesta, a través de hidrocarburos biodisponibles en agua o por ingesta de otros organismos contaminados. La respuesta biológica ante los derrames de hidrocarburos (y sus productos de descomposición) pueden manifestarse en varios niveles de la organización biológica: bioquímica o celular, fisiológicas, bioquímicas o de comportamiento de los organismos, a nivel de poblaciones, incluyendo alteraciones en la dinámica poblacional, o a nivel de la estructura y dinámica de la comunidad (National Academies Press, 2022). Algunas especies son particularmente sensibles, como las aves y mamíferos marinos o los peces. Las aves, por ejemplo, sufren

pérdida de aislamiento térmico, de flotabilidad y de habilidades de vuelo. La película superficial de hidrocarburo limita el intercambio de oxígeno con la columna de agua y reduce la luminosidad. El ambiente pelágico sufre una afectación importante luego del derrame, con una corta duración en la columna de agua (días a semanas), pero el ambiente bentónico está sujeto a impactos de más largo plazo (meses a años) y, por lo tanto, las comunidades bentónicas también son sensibles a estos eventos (Jägerbrand *et al*., 2019). Complementariamente, los derrames provocan impactos sociales característicos, afectando el turismo, la recreación, la pesca y otras actividades y usos del espacio costero y marino.

La respuesta a los derrames está enfocada en minimizar el daño mediante acciones que protejan y restauren los principales elementos ambientales y sociales, y, por lo tanto, las medidas de actuación son específicas para cada evento. La recuperación natural ante los derrames es posible y tal vez la única alternativa en el largo plazo, en tanto las comunidades bióticas tienden a restablecerse cuando las concentraciones de contaminantes se reducen, salvo en ecosistemas frágiles, que requerirán algún tipo de intervención o remediación (Walker *et al*., 2019). En el derrame del buque San Jorge mencionado anteriormente, el petróleo alcanzó 28 km de costa de uso turístico con un gran valor económico y social, y provocó la muerte de 5.000 cachorros de lobo marino en la Isla de Lobos (Levine *et al*., 1997; Mearns *et al*., 1999). Las acciones de respuesta y remediación incluyeron la limpieza de las costas y de la isla por personal naval entrenado y la clausura de actividades de pesca por un período. Evitaron una afectación mayor a la población de lobos marinos y favorecieron la recuperación natural de las playas impactadas, pero algunas acciones, como el uso de dispersantes para minimizar el impacto en la costa, siguen siendo tema de debate.

Antes y después del San Jorge, se han producido derrames de menor magnitud en el RdlP y el océano Atlántico uruguayos, vinculado a accidentes de buques o a operaciones de descarga y transporte de hidrocarburos (en el apartado sobre transbordo de cargas se detalla la operación de la boya petrolera y el oleoducto en Terminal del Este). Se han reportado derrames de menor entidad (Sea Alarm, 2017), aunque con afectación local del agua y un número limitado de organismos: el naufragio del buque Angelina en Punta del Este, en el año 1981; el derrame del Front Bravant en la boya petrolera, en el año 2007; y la colisión de los buques tanque Syros y Sea Bird en la zona de fondeo y servicios del RdlP, en junio de 2008.

En síntesis, el conjunto de actividades marítimas vinculadas a los hidrocarburos que se realizan en el territorio marítimo uruguayo, en particular el tránsito de tanqueros y las operaciones de transbordo de hidrocarburos, determinan un riesgo de ocurrencia de derrames. Su magnitud depende de la aplicación de medidas de prevención y de respuesta en el caso de incidentes. Desde el punto de vista regulatorio, Uruguay cuenta con instrumentos específicos para prevenir y dar respuesta a los derrames, por ejemplo, la ratificación del Convenio sobre Cooperación Internacional para la Preparación y la Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos, denominado usualmente OPRC 90 (Poder

Legislativo, 1994b), que crea un Sistema Nacional de Control de Derrame de Contaminantes (PRENA, 2015c).

Los derrames de sustancias o mercaderías peligrosas para el medio marino no se limitan a los hidrocarburos; el transporte marítimo a granel (*dry bulk cargo*) representa más de la mitad de la carga transportada globalmente en volumen (Walker *et al*., 2019) y alrededor del 10-15% de la carga marítima internacional se considera sustancia peligrosa o nociva, aunque la clasificación depende de la normativa de referencia. La combinación de errores humanos con otros factores puede dar lugar a incendios y explosiones de ciertas cargas secas en los buques y derivar en su liberación no intencional al ambiente. Se estima que las descargas de sustancias o mercaderías peligrosas al mar representan 78.500 toneladas por año globalmente (Grote *et al*., 2016), incluyendo derrames por accidentes o la descarga al mar durante las operaciones de carga, transbordo, descarga y limpieza. Es posible que estas descargas sean actualmente más frecuentes que los derrames de petróleo, pero son inadvertidas y no se documentan (Walker *et al*., 2019).

Si bien la mayoría de las cargas a granel están representadas por sustancias o productos de baja peligrosidad (por ejemplo, mineral de hierro, carbón, granos, bauxita y roca fosfato), la descarga de grandes volúmenes en el ambiente marino, o de pequeños volúmenes en forma frecuente en la misma área, puede producir impactos negativos, más aún en ambientes vulnerables o sensibles. Por ejemplo, la descarga de las aguas de lavado de las bodegas (operación realizada para evitar contaminación cruzada entre cargas diferentes) solamente está prohibida para las sustancias consideradas peligrosas según el anexo V del MARPOL (o si se consideran residuo) y puede haber una acumulación en zonas de transbordo de cargas en el mar fuera de las 12 M.

En el ámbito de la OMI, se definen como sustancias nocivas y potencialmente peligrosas (SNPP o HNS, por su denominación en inglés, *hazardous noxious substances*) aquellas sustancias diferentes de los hidrocarburos cuya liberación en el ambiente marino puede ocasionar riesgos para la salud humana o para el ecosistema marino y afectar las instalaciones u otros usos legítimos del mar. Existen diferencias en el alcance y la definición de las SNPP entre los diferentes convenios de la OMI (Sagrera, 2022). Uruguay ha ratificado el protocolo sobre cooperación, preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por SNPP, derivado del convenio OPRC 90 anteriormente mencionado (Poder Legislativo, 2002; PRENA, 2015c). Sin embargo, aún no ha adherido a la convención y el protocolo que establecen un fondo y un mecanismo para compensar ante accidentes con SNPP (OMI, s. f. International Convention on Liability…), similar al que aplica a los derrames de hidrocarburos.

La mayoría de los incidentes de SNPP están relacionados con buques de carga a granel, tanqueros químicos y portacontenedores, en ese orden, y pueden producir un mayor impacto en la salud y la seguridad cuando los accidentes se producen en puertos e involucran sustancias de alta toxicidad, inflamables o explosivas (Sagrera, 2022). En el caso del territorio marítimo uruguayo, el importante transporte de productos agroquímicos y

veterinarios, carbón y minerales, productos químicos para la industria y otras sustancias y mercaderías desde y hacia la cuenca del Plata, además de los buques en tránsito, representa otro riesgo de contaminación.

No se encontraron reportes o estudios públicos sobre derrames de cargas diferentes a hidrocarburos en el territorio marítimo uruguayo. Como ejemplo reciente y cercano, está el naufragio del granelero Stellar Daisy en el año 2017, en el océano Atlántico, a 1.700 M de la costa uruguaya (pero en su jurisdicción para tareas de salvataje), que transportaba 260.000 toneladas de mineral de hierro desde Brasil a China, que se perdieron en el mar, además de cantidades desconocidas de combustible del buque (Republic of the Marshall Islands Maritime Administrator, 2019).

Interacción física

Los buques son estructuras rígidas de gran porte que generan interacciones físicas con el medio marino y costero y la fauna que lo habita, en especial en áreas de alto tránsito o presencia de buques, como las rutas marítimas, las áreas de operaciones marítimas especiales y los puertos, donde las interacciones tienen una mayor frecuencia y magnitud. La concentración de buques en un área constituye un elemento de fragmentación del espacio que utiliza la fauna marina, en especial aquella con una movilidad significativa, y, en casos extremos, puede significar una amenaza para la conservación de una especie vulnerable dentro de su hábitat natural. En este apartado se abordan las interacciones físicas más comunes que se han estudiado y reportado en la literatura, como las colisiones con buques (directas) y el ruido producido por estos, y otras menos estudiadas, como la luz artificial y los naufragios.

No se encontraron estudios específicos sobre estas interacciones en el área de análisis, aunque los efectos de las colisiones de determinadas especies son mencionados con frecuencia en la literatura técnica y de divulgación local, de forma muy imprecisa, sin un abordaje específico. En consideración de ello, se tomaron como referencia algunas revisiones recientes de literatura técnica internacional y se agregaron datos locales cuando esto fue posible.

Colisiones con fauna marina

Las colisiones de embarcaciones con fauna marina son un tema de preocupación creciente para la conservación, en particular para cetáceos, pero también para otros mamíferos, tortugas marinas y tiburones. En algunos casos, las colisiones tienen efecto a nivel de poblaciones de determinados cetáceos por su estado de conservación y vulnerabilidad (Pirotta *et al*., 2019), y pueden ser una amenaza incluso a nivel de especie (Ritter y Panigada, 2019). Se han reportado colisiones prácticamente en todo el mundo, que involucran a decenas de especies, y un aumento en los casos documentados (Walker *et al*., 2019). La megafauna marina tiene características especiales que la hacen más vulnerables a las interacciones con los buques, en comparación con otras especies, particularmente por su gran movilidad y tamaño y sus hábitos y actividades superficiales (Pirotta *et al*., 2019). Para la ballena franca glacial en el Atlántico Noroccidental se ha documentado que las colisiones son responsables de entre 35% y 50% de la mortalidad

en décadas recientes (Pirotta *et al*., 2019; Ritter y Panigada, 2019) y existen similares registros para la ballena azul en el entorno de Sri Lanka y la ballena fin en el Mediterráneo (Peltier *et al*., 2019). Todos los cetáceos pueden ser impactados por embarcaciones durante sus incursiones en la superficie o cerca de ella, pero algunos son especialmente vulnerables por permanecer mayores períodos en superficie, como el cachalote o la ballena franca (Ritter y Panigada, 2019).

Es posible que exista un subregistro de colisiones, porque no son fácilmente advertidas por los navegantes; los individuos impactados se hunden luego del accidente o su cuerpo llega en avanzado estado de descomposición a una costa desierta (Raoult *et al*., 2023). Teniendo en cuenta las tendencias crecientes de tráfico marítimo global, en número de buques, velocidad y potencia, se espera que el número de colisiones con fauna marina continúe aumentando (Pirotta *et al*., 2019; Ritter y Panigada, 2019), también en el RdlP y el territorio marítimo uruguayo.

Se conoce poco sobre la distribución geográfica de las colisiones y su magnitud, y es difícil establecer indicadores cuantitativos de la mortalidad por esta causa, debido a la calidad de los datos y la ausencia de reportes específicos (Peltier *et al*., 2019; Ritter y Panigada, 2019). Peltier *et al*. (2019) analizaron registros de treinta años en las costas francesas y reportan que las colisiones ocasionan un 13% de los varamientos de cetáceos (causa antropogénica predominante), variación estacional y geográfica, y una incidencia diferente por especie. A pesar de que los varamientos son la mejor fuente de información disponible, no son un indicador preciso del número de colisiones ni de su magnitud y lugar de ocurrencia.

Las colisiones pueden ser fatales o provocar daños o traumas serios a los individuos impactados. Incluso con colisiones no letales, el individuo puede proseguir con heridas un período prolongado de sufrimiento (Ritter y Panigada, 2019).

Algunas especies no tienen mecanismos de evitación ante la aproximación de un buque o si los tienen no siempre son efectivos (Pirotta *et al*., 2019; Ritter y Panigada, 2019): no están preparados evolutivamente, no han desarrollado una actitud evasiva, el individuo se encuentra en un estado de alerta bajo o con sus sentidos enfocados en el entorno inmediato, está enfermo o debilitado o con menor capacidad de respuesta ante una amenaza.

Los factores determinantes de las colisiones son la velocidad y el tamaño de las embarcaciones (Ritter y Panigada, 2019); la gran mayoría de los registros de colisiones letales o con heridas graves para cetáceos ocurren con buques de más de 80 metros de eslora, desplazándose a más de 14 nudos (aunque se entiende que ya a partir de 10 nudos el riesgo aumenta significativamente). No obstante, las colisiones pueden ocurrir con cualquier tipo de embarcación y no involucran solamente al transporte marítimo y de pasajeros, ya que se han documentado también para embarcaciones deportivas y recreativas, siendo en estos casos un riesgo para la seguridad de navegación y la vida de los tripulantes.

Se han definido recomendaciones generales para prevenir o reducir el número de colisiones con fauna marina, vinculadas a la

restricción temporal o espacial de la velocidad de los buques, modificaciones en las rutas marítimas, registro de las colisiones y la sensibilización y el entrenamiento de las tripulaciones (Walker *et al*., 2019; Ritter y Panigada, 2019). Algunos autores sugieren incluir medidas específicas para evitar y reducir las colisiones en los planes de gestión de áreas marinas protegidas, por ejemplo, la definición de zonas de restricción temporal o espacial para la navegación o la reducción de la velocidad en corredores marítimos que atraviesan el área (Raoult *et al*., 2023).

No se identificaron estudios específicos sobre la incidencia de las colisiones de buques con la fauna marina en el territorio marítimo uruguayo, aunque se han reportado casos esporádicamente, por ejemplo, colisiones de veleros con ballenas en la bahía de Maldonado o las menciones a colisiones de grandes buques con varamientos de ballenas francas australes en la exposición de motivos de la ley que declara santuario de ballenas y delfines al mar territorial y la ZEE uruguayos (Poder Legislativo, 2013b). En un estudio publicado sobre datos de varamientos de cetáceos en costas uruguayas (Del Bene *et al*., 2006) se analizaron registros del período 2000-2005 y se incluyeron referencias en bibliografía desde el año 1934, totalizando 348 varamientos (no siempre letales), aunque se aclara que faltan datos disponibles en museos y colecciones particulares. Las principales causas de los varamientos que se indicaron son: 1) tormentas con vientos del sur que pueden empujar a los individuos a la rompiente o atrapamiento en bancos de arena; 2) captura incidental con artes de pesca, especialmente para pequeños cetáceos; 3) desvinculación entre madre y cría (individuos lactantes, más vulnerables); 4) colisión con buques (específicamente observada en dos individuos de ballena franca austral); 5) incursiones fuera del límite de distribución geográfica normal; y 6) enfermedades parasitarias que afectan los órganos de orientación. No obstante, se agregan otras posibles causas y se aclara que la causa de muchos varamientos no pudo determinarse porque no se realizó la necropsia completa (por descomposición avanzada o por otras cuestiones).

Ruido

Los océanos y mares tienen un ambiente sonoro natural producido por terremotos submarinos, erupciones volcánicas, impactos de rayos, olas, lluvia y vocalizaciones de una diversidad de fauna marina (Lindgren y Wilewska-Bien, 2016), el cual puede ser modificado significativamente por el ruido antropogénico. Las mediciones de largo plazo del ambiente sonoro de los océanos indica que ha aumentado el ruido antropogénico de baja frecuencia en 20 dB con respecto a su nivel preindustrial, fundamentalmente por el transporte marítimo (UNEP, 2012; Walker *et al*., 2019). La exposición a altos niveles de ruido puede provocar una pérdida temporal o permanente de la audición en organismos marinos, enmascarar señales útiles o provocar cambios en su comportamiento. Puede interferir con funciones fundamentales como el nado, la comunicación, el apareamiento, la selección de hábitat, el escape de predadores y la detección de presas. Aunque existen vacíos sustanciales de conocimiento, especialmente en invertebrados y tortugas, también existe evidencia del efecto del ruido en la fisiología, la comunicación, el

comportamiento y el balance energético de organismos marinos, que pueden ser desde pequeños cambios temporales en el comportamiento hasta efectos letales, de agudos a crónicos (Rako-Gospić y Picciulin, 2019), reportados en estudios de campo y laboratorio para una variedad de especies (UNEP, 2012).

La respuesta de los individuos al sonido depende de su intensidad, la frecuencia de onda, la duración de la exposición, el estado del organismo, si es un ruido habitual o nuevo, la relación espacial entre la fuente y el organismo receptor y, por supuesto, la sensibilidad y la capacidad auditiva de la especie. Varias especies producen sonido para sus funciones vitales, como determinados grupos de peces, que muestran el rango más amplio de producción de sonidos entre los invertebrados, lo que está vinculado fundamentalmente a la reproducción, y ciertos mamíferos marinos, que lo utilizan para funciones como la ecolocalización, la búsqueda de presas y la comunicación. Los efectos fisiológicos surgen en respuesta al estrés producido por el ruido y pueden inducir cambios bioquímicos en el individuo, modificar su metabolismo afectando su crecimiento y supervivencia, afectar el estado físico en determinadas etapas de vida o alterar determinadas capacidades. Cuando el nivel de ruido supera la capacidad de discriminación de sonidos naturales o cuando la sensibilidad auditiva se reduce temporal o permanentemente, se reduce la capacidad del individuo para sobrevivir y se inducen cambios de comportamiento para adaptarse, en particular si se trata de un ruido crónico o frecuente. Por otro lado, el ruido dentro del rango auditivo de organismos expuestos genera respuestas en su comportamiento, que, a la vez, pueden tener efecto en la actividad que está desarrollando en ese momento. La respuesta al ruido puede variar dentro de la población de una especie, dependiendo de la condición individual, y hay algunas evidencias de habituación o tolerancia frente a ruidos repetitivos (aunque no está claro a expensas de qué otros efectos) y en otros casos puede ocurrir sensibilización.

En mamíferos marinos los efectos esperados son respuestas en el comportamiento, interferencia acústica o enmascaramiento de señales, desplazamiento temporal o permanente de los umbrales auditivos y estrés (Affatati y Camerlenghi, 2023). En peces (Slabbekoorn *et al*., 2019), el ruido puede producir cambios comportamentales en la alimentación, un mayor riesgo ante predadores o una menor oportunidad de reproducción. En paralelo, pueden producirse respuestas fisiológicas al ruido, incluyendo efectos agudos ante el estrés, reducción de la competencia inmune y el uso eficiente de sus capacidades en la reproducción y desarrollo. La combinación de ambas respuestas, cuando son significativas, puede afectar negativamente la tasa de crecimiento, supervivencia y reproducción del individuo.

Al analizar los potenciales impactos del ruido y la implementación de medidas de prevención y mitigación, debe considerarse el alto grado de incertidumbre, ya que generalmente no se dispone de medidas directas de la sensibilidad auditiva o los impactos en la audición (Southall *et al*., 2023). Existe controversia respecto a la representatividad de los estudios de laboratorio sobre los efectos del ruido, realizados en condiciones controladas y en un recinto cerrado (Slabbekoorn *et al*., 2019; Affatati y Camerlenghi, 2023).

Existen diversas fuentes de ruido antropogénico submarino que, en general, se clasifican como de tipo impulsivo o continuo (Rako-Gospić y Picciulin, 2019), vinculadas a usos marítimos y de navegación, militares, de pesca, de investigación científica o de exploración y producción de energía. En el primer tipo se encuentran los sonares activos (por ejemplo, ecosonda), los sonares de barrido lateral, los ahuyentadores acústicos, los producidos por martillos neumáticos, los pulsos de sonido producidos por la sísmica marina o los explosivos en general. Son fuente de sonidos continuos actividades como el tránsito marítimo, los parques eólicos marinos, los pozos de exploración *offshore* y el dragado. En la propagación y el potencial daño del ruido influyen su contenido de frecuencias, intensidad, duración y direccionalidad de la fuente, así como las propiedades de la columna de agua (Hildebrand, 2009; Lindgren y Wilewska-Bien, 2016). La combinación de estas características determina el momento y el área afectada, así como las especies potencialmente impactadas. Algunas fuentes emiten sonido en todas las direcciones (omnidireccional: buques, dragado, perforación), mientras que otras están enfocadas en direcciones específicas (por ejemplo, vertical: sísmica marina; horizontal: sonares de uso civil y militar).

Los buques producen un sonido de baja frecuencia, entre 1 y 1000 Hz, que coincide con el rango de audición de varias especies marinas, incluyendo peces y megafauna (Pirotta *et al*., 2019). Este ruido puede detectarse a varios kilómetros de su fuente, aunque disminuye mucho su intensidad con la distancia al buque y también varía con su movimiento, el tipo de buque (tamaño, tipo de motor, peso), las condiciones de operación y las climáticas. Se origina a partir de vibraciones en las hélices, el casco, ruidos de la maquinaria y la interacción del buque o partes del buque con las olas o el agua.

Aun cuando no produzca daños directos, el ruido generado por un tránsito frecuente de buques puede amenazar o volver inadecuado un determinado hábitat y, en tal sentido, genera una pérdida de espacio marino para las especies sensibles al ruido crónico. Ciertos hábitats marinos poseen un ambiente sonoro natural característico, único y complejo, que contiene información biológicamente significativa, como los arrecifes de coral, los ambientes costeros, estuarinos o marinos, y la complejidad del espectro sonoro en determinados ambientes puede ser un indicador de su estado de conservación (Rako-Gospić y Picciulin, 2019).

Las hélices de los buques son una fuente principal de ruido por el fenómeno de cavitación, razón por la cual se han estudiado mejoras tecnológicas y prácticas para evitarlo o reducirlo: diseño mantenimiento y limpieza de hélices o reducción de la velocidad de los buques (Lindgren y Wilewska-Bien, 2016; Walker *et al*., 2019). A partir de modelos de propagación del sonido y de umbrales de ruido seguros para cada especie, es posible inferir el impacto esperado por el ruido de buques en una ruta marítima o en un área de operaciones marítimas y establecer medidas de mitigación consistentes. Otras estrategias de prevención o mitigación incluyen la definición de restricciones geográficas o temporales del tránsito marítimo en áreas marinas protegidas o sitios de concentración de especies vulnerables al ruido.

A partir de estudios académicos comprehensivos sobre el ruido submarino antropogénico y sus efectos, como el de Hildebrand (2009), la preocupación de la comunidad internacional por el tema ha ido creciendo y se han implementado algunas regulaciones locales y regionales en el mundo occidental (Lindgren y Wilewska-Bien, 2016). La OMI reconoce que el transporte marítimo es uno de los mayores contribuyentes al ruido submarino y elaboró guías para reducirlo (IMO, 2014), las cuales están siendo revisadas para una nueva versión.

No se identificaron datos o estudios específicos del ruido submarino provocado por el tránsito marítimo en el área de análisis ni referencias sobre sus potenciales efectos en el ambiente marino. Los sitios de mayor impacto acumulativo esperado son las rutas, corredores o canales de navegación y áreas de operaciones, puertos y zonas de intensa navegación recreativa en la costa.

Luz artificial

La luz artificial se propaga largas distancias en los ambientes marino-costeros debido a que no existen barreras para su transmisión o reflexión (Jägerbrand *et al*., 2019). Los buques fondeados o en movimiento emiten luz cerca de la superficie, la cual se transmite en la columna de agua con una intensidad que depende tanto de la fuente como de la transmitancia del agua. El efecto es más marcado en áreas naturalmente oscuras (alejadas de la costa y de otras fuentes antropogénicas), con buques que despliegan mayor luz artificial, como los cruceros, o en zonas de fondeo o de alta densidad de tránsito.

Es una alteración del ecosistema marino que puede producir efectos negativos en la orientación, la reproducción, el reclutamiento, la depredación y la comunicación de las especies. Se ha reportado que las aves marinas son atraídas hacia la luz artificial de buques y plataformas y pueden desorientarse, colisionar con estructuras, afectar su alimentación o ser más vulnerables a sus predadores. También se han documentado cambios en el patrón de migración vertical diurno del zooplancton cuando es expuesto a luz artificial, migrando a aguas más profundas. En el caso de peces, no existe suficiente conocimiento sobre el impacto de esta alteración en su biología o ecología. En general, las especies nocturnas, sensibles a la luz o que exhiben fototaxia (movimiento orientado en respuesta a la luz) van a ser las más afectadas por la contaminación lumínica, aun cuando la exposición sea temporal y a bajas intensidades.

No se identificaron estudios sobre la luz artificial en el territorio marítimo uruguayo y, al igual que para otras interacciones físicas, los sitios de mayor impacto acumulativo esperado son las rutas, corredores o canales de navegación y las áreas de operaciones, puertos y zonas de intensa navegación recreativa en la costa. A la vez, ciertas pesquerías, como la del calamar, utilizan luz artificial, pero no se cuenta con información publicada al respecto.

Naufragios

Los naufragios son eventos extremos y poco frecuentes en el tránsito marítimo, pero, aun así, ocurren, como resultado de condiciones climáticas severas, colisiones, errores humanos o enfrentamientos bélicos. En ocasiones,

también se practica el hundimiento deliberado de buques (o el abandono negligente que termina en ello) por motivos económicos, prácticos o ejercicios navales. Además de las consecuencias para la tripulación, los naufragios tienen impacto en el ecosistema marino, por la liberación descontrolada de sustancias y materiales que se produce durante el evento y con posterioridad, como el combustible, la carga del buque, sus aguas negras, grises y de sentina, y pinturas antiincrustantes. El hundimiento de un buque puede ocasionar daño físico a los hábitats y, a la vez, crear un hábitat artificial que puede estimular el crecimiento de organismos y la biodiversidad localmente.

Los naufragios antiguos son sitios emblemáticos por la creación de un hábitat artificial, pero debe recordarse que cualquier sustrato artificial introduce una transformación que puede modificar los ecosistemas preexistentes en el fondo marino. El aumento de la biodiversidad en un sustrato artificial, como una estructura hundida o sumergida (por ejemplo, buques, cables submarinos, residuos), puede impactar en la heterogeneidad espacial y la estructura natural de las comunidades marinas, y favorecer el establecimiento de especies exóticas (Angiolillo, 2019). La comunidad desarrollada a partir del sustrato artificial puede tener una estructura totalmente diferente a la que existe en los hábitats naturales, debido a la naturaleza y la estructura del sustrato (Walker *et al*., 2019). Por ejemplo, la madera y el hormigón pueden promover la incrustación de especies como corales o esponjas, pero un casco de buque puede promover un ecosistema totalmente diferente por la presencia de pinturas antiincrustantes.

Los buques hundidos constituyen una fuente puntual de sustancias que se liberan al ambiente por la descomposición de su estructura (Angiolillo, 2019). El mayor número de naufragios de la era moderna se produjo durante la Segunda Guerra Mundial y la liberación de petróleo crudo y combustibles de los buques en ese contexto sigue siendo un problema (Lindgren *et al*., 2016), debido a la corrosión y la pérdida de contención de los tanques.

En ocasiones, el hundimiento intencional de buques se realiza por motivos prácticos y económicos, para darles una disposición al final de su vida útil, aunque existe controversia sobre los riesgos ambientales de esta práctica, similares a los descriptos anteriormente para los naufragios (Walker *et al*., 2019). En las cartas náuticas de Uruguay están identificados los naufragios que presentan un riesgo para la navegación, pero no se encontraron estudios o datos referidos a su potencial impacto ambiental.

Emisiones a la atmósfera

El tránsito marítimo produce emisiones a la atmósfera que contribuyen a la contaminación del aire, a escala tanto global como regional y local, y, en algunos casos, sus emisiones son equivalentes o mayores a la de otras fuentes terrestres (Salo *et al*., 2016). Una gran parte del tránsito marítimo se desarrolla en zonas próximas a la costa y, por tanto, los impactos de sus emisiones son más significativos en corredores y zonas de operaciones marítimas y en puertos.

Las emisiones de los buques a la atmósfera comprenden una variedad de contaminantes

globales y locales, con efectos directos en la salud humana, en la biota marina y terrestre y en el clima: gases de efecto invernadero, agotadores de la capa de ozono, promotores de formación de material particulado o de ozono troposférico y de procesos como la acidificación y eutrofización.

Una de las fuentes principales de emisión de los buques son los motores a combustión utilizados para la propulsión y para la operación de generadores eléctricos. Durante la combustión se generan gases y material particulado que son emitidos a la atmósfera por la chimenea e incluyen óxidos de azufre (SOx), de nitrógeno (NOx), material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). El transporte marítimo produce alrededor de 1.000 millones de toneladas anuales de CO_2e (CO_2 equivalente, para expresar todas las emisiones de gases de efecto invernadero o GEI), correspondientes a cerca de un 3% de las emisiones globales de GEI, con una tendencia creciente en el mediano plazo (Moldanová *et al*., 2022; UNCTAD, 2023; OMI, s. f., International Convention on Civil Liability…).

Las emisiones de los motores a combustión de los buques dependen de su tecnología, el consumo y el tipo de combustible marino, el modo operacional y de si tienen tecnología para el control y el tratamiento de estas emisiones (Salo *et al*., 2016). La propulsión de los buques generalmente utiliza motores de tipo diésel de 2 tiempos para desarrollar mayor potencia a bajas velocidades, que son más sencillos que los motores de 4 tiempos, pero tienen menor eficiencia de combustión. El combustible marino más utilizado para motores de gran potencia y baja velocidad es el fueloil pesado (HFO), mientras que los de menor potencia y alta velocidad usan fundamentalmente diésel marino (MDO) o gasoil marino (MGO). En el año 2007 el HFO representaba el 70% del mercado de combustibles marinos (Salo *et al*., 2016).

En las últimas décadas se han evaluado alternativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo, fundamentalmente con un cambio de los combustibles. El uso de gas natural licuado (LNG) representa una reducción estimada de emisiones de CO_2 del 20-25% (Salo *et al*., 2016) y 90% menos de NOx, en comparación con el MFO y el MDO (Walker *et al*., 2019). Pero un manejo inadecuado o una combustión incompleta pueden invertir esta ventaja por un aumento de las emisiones de CH_4 (Transport & Environment, 2023), un gas con mayor potencial de efecto invernadero que el CO_2. A la vez, deben considerarse las emisiones del LNG en todo su ciclo de vida (producción, refinación, transporte y uso) y otros desafíos para su adopción como combustible marino: seguridad, regulaciones, infraestructura y costos de inversión (Walker *et al*., 2019). Más recientemente, se han identificado alternativas como el metanol o el amoníaco de bajo carbono, pero aún están en fase experimental o demostrativa.

El transporte marítimo internacional, al igual que el sector aeronáutico, no está sujeto a los compromisos del Acuerdo de París para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, las revisiones del anexo VI del MARPOL introdujeron dos mecanismos obligatorios para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de GEI, vinculados al diseño de nuevos buques.

Las emisiones de óxidos de azufre (SOx, mayoritariamente SO_2), en conjunto con las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y amoníaco (NH_3), producen la denominada "lluvia ácida", que provoca la acidificación de suelos y cuerpos de agua, daños a edificios y estructuras y efectos negativos en la salud humana y la biota terrestre. Los SOx también son precursores para la formación de partículas en la atmósfera, con afectación de la salud humana, la visibilidad y el clima. Estas emisiones están asociadas fundamentalmente al contenido de azufre de los combustibles marinos. Están reguladas por el anexo VI del MARPOL, que ha establecido límites máximos de emisión de SOx y de azufre en combustibles marinos cada vez más exigentes. La regulación más reciente, del año 2020, establece una concentración máxima de azufre de 0,5% en combustibles marinos, que implica el uso de fueloil marino de muy bajo azufre (VLSFO) o gasoil marino (MGO), o la instalación de dispositivos aprobados para el tratamiento de los humos para cumplir con los límites de emisiones (OMI, s. f.). El tratamiento de los humos de combustión (*scrubber*) puede lograr una eficiencia de remoción del SO_2 del 98%, si bien presenta desafíos para su adopción (Walker *et al*., 2019). Según la OMI, la implementación de estas regulaciones ha logrado una reducción del 70% de las emisiones de SOx del transporte marítimo.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx, comprende NO y NO_2) están relacionadas fundamentalmente con la oxidación del nitrógeno presente en el aire o en el combustible durante la combustión. Sus potenciales impactos incluyen la eutrofización (vía la formación de nitrato atmosférico) y la acidificación, y son precursores para la formación de ozono troposférico y material particulado. Estas emisiones también están reguladas por el anexo VI del MARPOL, que determina la introducción gradual de modificaciones en los motores de buques y eventualmente la instalación de sistemas de tratamiento. Existen varias alternativas tecnológicas para el control de las emisiones de NOx en buques, con diferentes costos de instalación y operación, vida útil y requerimiento de espacio, pero la más efectiva es la de los equipos de reducción catalítica selectiva (SCR), aunque también es la que requiere mayor costo de capital (Walker *et al*., 2019).

El material particulado se forma por la combustión incompleta de los hidrocarburos y se estima que globalmente el transporte marítimo emite cantidades similares de partículas primarias que el transporte terrestre (Salo et al., 2016). Su destino en la atmósfera y los riesgos para la salud humana y el ambiente, incluyendo su impacto climático, dependen del tamaño de partícula y su composición. Las emisiones antropogénicas están dominadas por partículas finas, entre 0,002 y 2,5 μm. El número y el tamaño de partículas dependen de las condiciones de combustión (por ejemplo, tipo de motor y carga), mientras que el tipo de combustible y lubricante determina su composición química. Esto no está regulado directamente por el anexo VI del MARPOL, pero en regiones como la Unión Europea existen normativas y límites de emisión.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC) del transporte marítimo provienen principalmente del manejo de petróleo crudo y derivados. Comprenden moléculas

que se evaporan fácilmente en condiciones atmosféricas, aunque en general se excluye el CH_4 por las particularidades de su origen y potenciales impactos. Otras fuentes de VOC en el tránsito marítimo son la evaporación de componentes volátiles en pinturas y solventes, el manejo de combustibles marinos y la combustión. Su tiempo de residencia en la atmósfera depende de la composición (de horas a años). Son de interés por sus efectos en la salud humana —algunos son reportados como potenciales carcinógenos—, pero también en la química atmosférica; son precursores del ozono troposférico y la formación de partículas secundarias (*smog*). Están regulados por el anexo VI del MARPOL, pero solamente para tanqueros, para los que se requiere un plan de gestión y la instalación de sistemas de tratamiento y control de emisiones.

Las sustancias agotadoras de la capa de ozono, en particular los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) se han usado tradicionalmente como refrigerantes en buques, en particular en los de tipo *reefer*, que cuentan con una planta de refrigeración para controlar la temperatura de la carga (alimentos, productos químicos, gases licuados). El transporte de carga en contenedores refrigerados ha aumentado considerablemente. Alrededor del 80% de los sistemas refrigerados en buques utilizan HCFC-22, seguido por otros tipos de HCFC, aunque algunos buques de pesca usan NH_3 o derivados. Los refrigerantes tradicionales también son poderosos gases de efecto invernadero. Su emisión a la atmósfera se produce por pérdidas en la operación, por desperfectos en los equipos o por el manejo inadecuado del refrigerante durante su mantenimiento o al final de la vida útil. Están reguladas por el Protocolo de Montreal, el anexo VI del MARPOL y otras normativas regionales más estrictas, lo que ha logrado una reducción en las emisiones y la sustitución de los refrigerantes tradicionales por hidrofluorocarbonos (HFC), que no tienen potencial de agotamiento de la capa de ozono (aunque tienen un alto potencial como gases de efecto invernadero y por tal motivo se espera sean también sustituidos en el futuro).

Además de las regulaciones internacionales para limitar las emisiones a la atmósfera del tránsito marítimo, se han implementado otras estrategias a nivel país o región (Walker *et al*., 2019), como la penalización, los incentivos y las certificaciones vinculados al desempeño ambiental de los buques, compañías navieras y puertos, y se han discutido sistemas que combinan límites y mercado de emisiones, similares a los del sector energía (por ejemplo, *cap and trade*). El sector tiene oportunidades de mejorar su desempeño ambiental y eficiencia energética para reducir sus emisiones (Singh *et al*., 2023). Asimismo, se han desarrollado programas para mejorar y certificar el desempeño ambiental de las compañías navieras y los puertos, que incluyen indicadores de calidad de aire y agua, consumo de energía, emisiones de GEI, ruido, gestión de residuos, entre otros aspectos ambientales del transporte marítimo (Walker *et al*., 2019). Existen tecnologías que pueden reducir estas emisiones: el tratamiento de los humos de combustión con un sistema combinado de *scrubber* y SCR puede reducir las emisiones de NOx en 95% y alcanzar el 99% de eliminación de material particulado y SOx (Walker *et al*., 2019),

aunque genera un lodo o efluente ácido que presenta un nuevo riesgo si se descarga al mar (Moldanová *et al*., 2022).

No se identificaron datos o estudios sobre las emisiones del tránsito marítimo en el territorio uruguayo y los últimos inventarios de emisiones a la atmósfera para el territorio nacional tienen un alcance limitado a las fuentes terrestres y no consideran las emisiones de buques. No se puede subestimar la contribución del tránsito marítimo frente a otras fuentes de emisiones a la atmósfera; por ejemplo, los cruceros de pasajeros que operan en Europa emiten más de cuatro veces SOx que la flota total de automóviles en el continente (Transport & Environment, 2023).

Pesca

La pesca como actividad recolectora y de subsistencia en el espacio costero-marino de Uruguay ya era practicada por poblaciones originarias y desde fines del siglo XIX se explotan los recursos pesqueros a escala industrial, constituyendo una de las actividades más importantes en el territorio marítimo uruguayo. La actividad económica, medida por número de buques y toneladas desembarcadas en Uruguay, tuvo un máximo en la década de 1980 y un marcado descenso desde fines de la década de 1990. Actualmente la pesca industrial nacional muestra las menores tasas de captura en cuarenta años y se enfrenta a una de las peores crisis, por varios factores: el estado biológico de los recursos, cuestiones comerciales y de mercado, conflictos gremiales, el cierre de empresas de gran porte y el deterioro de las flotas (Marín, 2016; Marín *et al*., 2020; CTMFM, 2021).

En el capítulo 3.3 de este libro se hace una descripción detallada de los recursos pesqueros, incluyendo la zona de operación de la flota industrial nacional (figura 8 de dicho capítulo), pero, a modo de caracterización general, las pesquerías industriales con mayores volúmenes de desembarco son la corvina, la pescadilla y la merluza, mientras que otras especies de importancia comercial incluyen al cangrejo rojo, de explotación actual, atún, pez espada y anchoíta, que no se explotan actualmente. La pesca artesanal (buques de menos de 13,8 m de eslora) tiene un ámbito de actuación muy próximo a la costa, con más de 500 embarcaciones autorizadas (DINARA, 2023). La pesca industrial se desarrolla en un ámbito más amplio, incluyendo el RdlP, el mar territorial y la ZEE e incluso aguas internacionales (Poder Ejecutivo, 2018). Al mes de agosto de 2023 se encontraban vigentes 54 permisos para pesca industrial (DINARA, 2023): 13 buques de bandera nacional para categoría A (merluza; principalmente en la plataforma exterior y talud, entre 60 y 300 metros de profundidad de agua), 34 buques para categoría B (corvina, pescadilla de calada y fauna acompañante; se desarrolla fundamentalmente en el RdlP) y 7 buques para categoría C (cangrejo rojo, atún, pez espada; en quiebre de talud y aguas profundas de la ZEE). A la flota nacional deben sumarse los más de 500 buques de bandera Argentina autorizados a pescar en la denominada zona común de pesca Argentina-Uruguay (ZCPAU) (Poder Ejecutivo, 1974; CTMFM, 2023). Estos buques pueden pescar en el territorio marítimo uruguayo, pero en la práctica su operación está concentrada en aguas jurisdiccionales argentinas o en el RdlP (Global Fishing Watch, 2023).

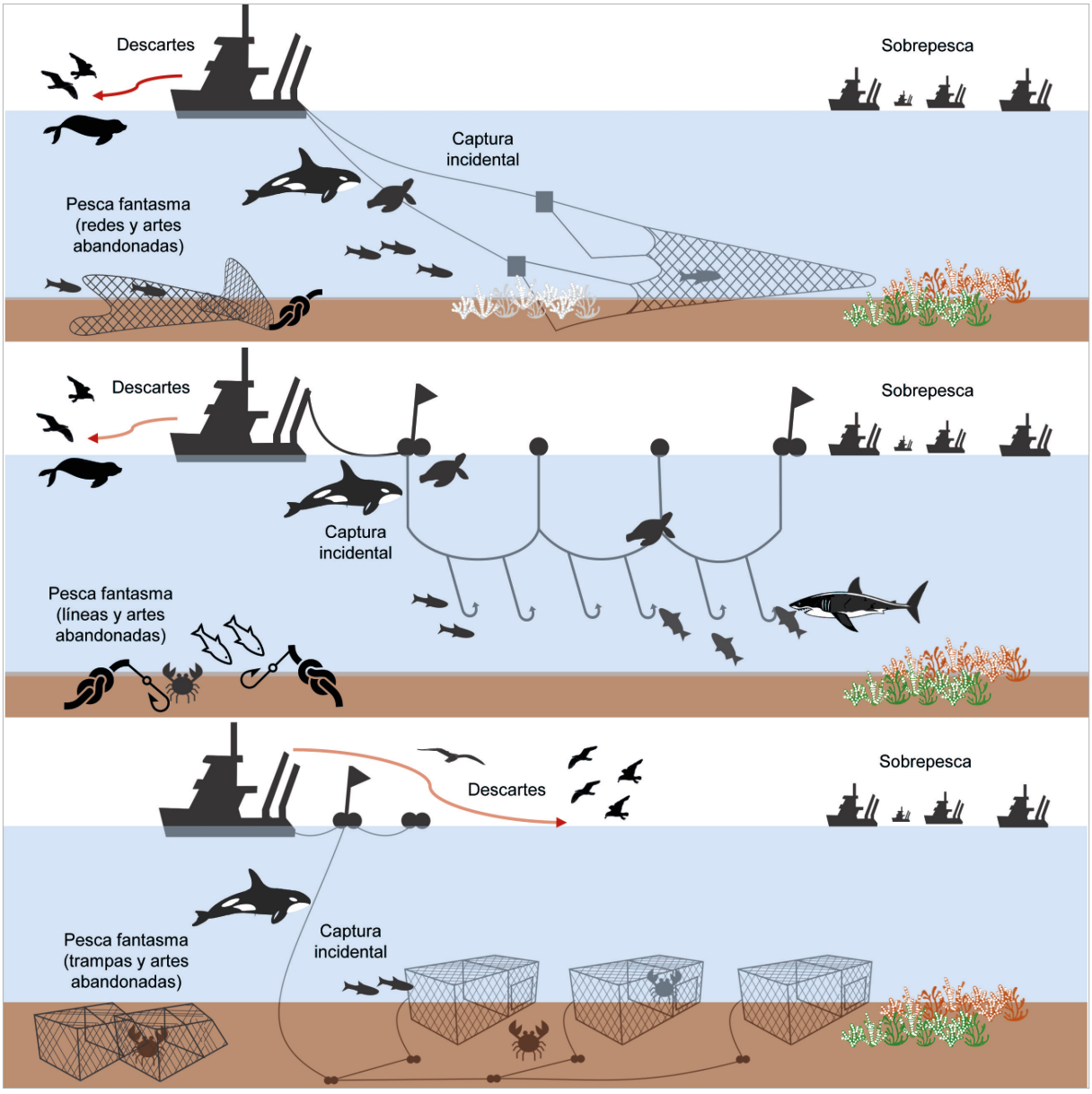


Figura 2: Principales aspectos ambientales asociados a la pesca: a) pesca de arrastre, b) pesca con palangre pelágico, c) pesca con nasas. Adaptado de NOAA (2022).

Los aspectos ambientales de la pesca incluyen los descriptos en el apartado anterior para el tránsito marítimo y otros específicos de la actividad, en particular: sobrepesca, interacciones físicas (pesca de arrastre), captura incidental y residuos de la pesca, indicados en la figura 2. La sustentabilidad ambiental de la actividad se ha abordado de forma parcial y fraccionada (por la autoridad de pesca y la academia), con el objetivo

principal de la preservación de los recursos pesqueros con una mirada productivista y fundamentalmente vinculada a la conservación de determinadas especies de interés o amparadas por acuerdos internacionales (por ejemplo, mamíferos marinos, condrictios, aves marinas). En la práctica, la pesca no está sujeta a ningún tipo de autorización o control por el Ministerio de Ambiente.

Sobrepesca

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define la sobrepesca (*overfishing*) como la reducción de la abundancia de la población de un recurso pesquero por debajo del nivel de explotación sostenible (FAO, 2003). Es un problema global considerado específicamente por la meta 14.4 de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (Naciones Unidas, 2018). Se reporta un deterioro creciente desde la década de 1970, con un 35,4% de los recursos pesqueros globales en situación de sobrepesca para el año 2019. En el Atlántico Sudoccidental, el 60% de los recursos evaluados son explotados dentro de niveles biológicamente sostenibles, mostrando una mejora respecto a años anteriores (FAO, 2022). La sobrepesca es un problema que impacta económicamente a la industria pesquera, pero también es un problema ambiental que afecta a las cadenas alimenticias en las cuales participan dichos peces y a otros servicios ecosistémicos que proveen los peces.

Desde el proyecto FREPLATA se indicaba que se habían alcanzado o excedido los límites sostenibles de explotación de varias de las especies comerciales y se identificaban problemas relacionados con el descarte de pesca y la captura incidental (Brazeiro *et al*., 2003). De acuerdo con Lorenzo (2016), a partir de mediados de la década de 1980 las capturas por la flota uruguaya de especies tradicionales como merluza, corvina y pescadilla de calada se vieron relativamente limitadas por encontrarse próximas a su estado de plena explotación.

Las comisiones binacionales que administran la ZCPAU han utilizado diferentes instrumentos para la gestión de los recursos pesqueros en esta zona: evaluar el estado de los recursos, restringir el otorgamiento de permisos de pesca, establecer áreas de veda y fijar máximos de captura anuales, entre otras medidas. El estado de los recursos no es en general crítico, pero las principales especies de interés comercial se encuentran bajo planes de recuperación luego de encontrarse en situación de sobrepesca (CTMFM, 2021). La merluza está bajo un plan de recuperación desde el año 2013, luego de que se declarara por la comisión binacional como especie en riesgo biológico, y desde el año 1994 se han establecido zonas de veda estacional para la protección de concentraciones de ejemplares juveniles de la especie, además de fijarse valores de captura total permisible. La corvina se encuentra en estado de plena explotación y bajo un régimen administrativo especial desde el año 2015 y se han establecido diversas medidas para evitar una explotación en niveles no sustentables (fijación de valores de captura total permisible, zonas de veda y exclusión, tamaño mínimo de desembarque y de malla, entre otras). La pescadilla se encuentra próxima al objetivo de sostenibilidad y se han fijado valores de captura total permisible (no se establecen actualmente áreas de veda para la especie, pero juveniles

y adultos son de alguna forma protegidos por el área de veda establecida para condrictios).

Interacciones físicas

Las pesquerías que usan redes de arrastre de fondo (*bottom trawling*) pueden impactar negativamente en los sedimentos y las comunidades bentónicas, con efectos de largo plazo y de alcance regional, lo cual ha sido reportado para el Mar del Norte (Tillin *et al*., 2006), el mar de Irlanda (Hiddink *et al*., 2011), el Mediterráneo (Mangano *et al*., 2013) y Noruega (Olsgard *et al*., 2008). La magnitud de estos impactos y el potencial de recuperación del hábitat es aún hoy un tema de debate, aunque hay consenso en que la pesca de arrastre constituye una perturbación física y biológica en el fondo marino. El impacto depende de las características del sustrato del fondo marino, el tipo de hábitat y las especies presentes en él, así como del esfuerzo de pesca, su intensidad, frecuencia y escala espacial, el tipo de arte y las prácticas específicas de pesca (Van Denderen *et al*., 2013; Kaiser, 2019; FAO, 2022).

Los efectos más serios de la pesca de arrastre en el medio biótico se han reportado para hábitats de fondo marino duro dominados por fauna sésil de mayor tamaño (Tillin *et al*., 2006), que tiene una mayor vulnerabilidad por su longevidad, baja tasa natural de mortalidad y de reproducción. La abundancia de organismos como esponjas, antozoos y corales puede disminuir considerablemente en los fondos barridos por las redes de arrastre (Valdemarsen *et al*., 2007). Se ha reportado que en áreas de intensa pesca de arrastre las comunidades bentónicas están constituidas por especies más pequeñas con alta productividad por unidad de biomasa o por epibiota con alta movilidad (Tillin *et al*., 2006). En fondos blandos o arenosos también se verifica declinación en la abundancia de algunas especies de bentos, pero cambios de menor entidad en la estructura de la comunidad. Se ha argumentado que estos hábitats pueden ser más resistentes a la pesca de arrastre porque están sujetos a altos niveles de variación natural (corrientes, temperatura, salinidad). Se han reportado también efectos indirectos en la comunidad de peces por pérdidas de áreas de refugio y cambios en la dinámica trófica.

La mayoría de la flota industrial que opera en el área de análisis ha utilizado redes de arrastre en diversas modalidades, actualmente: arrastre costero, dirigido a corvina y pescadilla, y de altura, dirigido a merluza (Lorenzo, 2016; Marín, 2016). No se encontraron estudios o publicaciones comprehensivos sobre los riesgos de la pesca de arrastre, sólo una referencia general a sus potenciales impactos (Brazeiro *et al*., 2003) o, más recientemente, la preocupación por la conservación de los corales de agua fría identificados en áreas donde se concentran pesquerías dirigidas a especies demersales (Masello *et al*., 2021). A partir de datos de macroinvertebrados bentónicos obtenidos en campañas oceanográficas entre 2012 y 2016, Gaitán y Souto (2020) realizaron una comparación entre un área de veda permanente de pesca de arrastre en dicho período y áreas adyacentes. Encontraron diferencias de densidad media de organismos macrobentónicos entre dichas áreas, siendo mayor en el área de veda. Debido a que no se analizó el esfuerzo de pesca en las áreas adyacentes, la menor densidad encontrada puede ser atribuida a factores tanto naturales

como antropogénicos. Por otro lado, no se encontraron diferencias en la riqueza de especies o la composición de las comunidades.

Captura incidental

El término captura incidental (*by catch*) tiene un alcance diferente en cada país y cierta ambigüedad, dependiendo de su uso operativo o regulatorio, pero, en general, refiere a todos los seres vivos capturados no intencionalmente durante las operaciones de pesca y cuya captura está prohibida o no tiene valor comercial (FAO, 2011), diferenciándolo de los descartes (*discards*), que son la porción de la captura total eliminada o que se escapa de las artes de pesca. En la literatura nacional se usa una definición más amplia, comprendiendo al conjunto de las especies capturadas por el arte de pesca que no forma parte de las especies objetivo de la pesquería, ya sean estas comercializadas o descartadas (Domingo *et al*., 2006).

Las artes de pesca tienen una selectividad limitada y es común que se capturen especies que no son deseadas o individuos de las especies objetivo con características no deseadas. Los individuos de la especie objetivo que superan la talla mínima, junto con otras especies capturadas de valor comercial, son el objetivo primario de la pesquería y es el producto efectivamente desembarcado. Incluye el aprovechamiento de una parte de la captura que por su estado tiene un valor comercial menor o secundario (por ejemplo, mordido, desgarrado). Una fracción de la captura se considera descarte y es devuelta al mar cualquiera sea su estado, porque no tiene valor comercial, y comprende aves, mamíferos y tortugas, especies de aparición muy rara y no comercializables o individuos de especies comercializables, pero con tallas inferiores a las mínimas permitidas para la venta (Marín *et al*., 2000).

Los descartes se producen por motivos comerciales o regulatorios o por limitaciones de espacio a bordo del buque de pesca y, comúnmente, los organismos descartados ya están muertos o no son viables. Tienen un efecto directo, por la eliminación de individuos de determinados tamaños (selectividad por tamaño), que puede derivar en cambios genéticos en las poblaciones afectadas, tales como cambios en el crecimiento y el tamaño en la madurez. Por otro lado, el descarte puede cambiar la estructura trófica de un ecosistema entero por la promoción de especies necrófagas (FAO, 2003).

La captura incidental puede ocurrir en pesquerías artesanales e industriales, para todas las prácticas y artes de pesca que son de uso actual en Uruguay: redes de arrastre, palangres (*longline*) o nasas. La captura incidental de especies carismáticas o sujetas a medidas de conservación especiales, como las aves, las tortugas, los mamíferos marinos y los condrictios, tiene particular interés académico y social, y es abordada por acuerdos internacionales para la conservación de la biodiversidad. Representa una amenaza para la conservación cuando el método de captura es multiespecífico o poco específico y no existen mecanismos especiales de regulación o control. El diseño de las artes de pesca, así como de las prácticas y operaciones de pesca, puede prevenir o reducir los impactos de la captura incidental (FAO, 2003; Domingo *et al*., 2022).

Para el Atlántico Sudoccidental existe información de captura incidental de al menos 22 especies de aves marinas, siendo los albatros y los petreles los principales grupos afectados, aunque también se reporta la captura de pingüinos, cormoranes y gaviotas (Domingo *et al*., 2006a). Los albatros y petreles son longevos, presentan baja fecundidad, bajo número de crías y un desarrollo lento, por lo cual son grupos muy vulnerables a la captura incidental, lo que ha provocado una declinación global en sus poblaciones. Aunque la captura incidental de aves marinas está mejor documentada para pesquerías que usan palangre pelágico, se ha reportado para varias artes de pesca (en el caso de Uruguay, para 7 artes de pesca y 15 especies de aves marinas).

En la pesca con palangre las aves son atraídas por la carnada y pueden quedar enganchadas en los anzuelos al intentar alimentarse, lo que resulta letal al hundirse la línea. En el caso de palangre demersal, las aves buceadoras pueden llevar carnada y anzuelo a superficie, donde aves más grandes y más agresivas (petreles y albatros) disputan la carnada y quedan enganchadas al anzuelo (Domingo *et al*., 2022). La captura incidental de aves se produce principalmente durante determinadas maniobras (Marín *et al*., 2000), como el calado (despliegue de los anzuelos, generalmente a popa del buque) y el virado (recolección de la línea). Se han reportado incluso algunas prácticas de pesca en el Atlántico Sudoccidental que provocan la muerte intencional de aves marinas con el objetivo de reducir la depredación de las carnadas en el palangre, pero estas prácticas no se registran en Uruguay ni en Argentina (Gianuca *et al*., 2020). Por otro lado, los descartes atraen las aves a las embarcaciones de pesca para alimentarse y a menudo este acercamiento resulta en la captura incidental en las redes (pardelas, pingüinos y cormoranes) o la colisión con cables (albatros de ceja negra o la gaviota cocinera) (Domingo *et al*., 2022).

Desde fines de la década de 1970 se ha identificado a la captura incidental como una de las principales amenazas que deben reducirse (Domingo *et al*., 2022) y se han establecido diversos instrumentos multilaterales y directrices para la conservación de aves marinas, en particular el Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles, ratificado por Uruguay (Poder Legislativo, 2008b; ACAP, 2024). Se han definido varias medidas para mitigar la captura incidental de aves marinas y algunas soluciones tecnológicas ya han sido adoptadas por las pesquerías de Uruguay y Argentina. Existe otro tipo de medidas de mitigación que no se han adoptado aún en esta región, como el establecimiento de áreas o temporadas de veda, la modificación de las temporadas de pesca o la prohibición de un determinado arte de pesca.

Las tortugas marinas pueden quedar atrapadas en todo tipo de artes de pesca, lo que puede provocarles heridas e infecciones. Cuando las tortugas permanecen mucho tiempo enganchadas o atrapadas en profundidad, hay un riesgo de ahogamiento, porque no pueden emerger a la superficie para respirar. En el caso de las redes de arrastre, existe riesgo de captura incidental de tortugas porque pasan parte de su ciclo vital en el fondo, produciéndoles muerte por ahogamiento, lesiones por el peso de la captura encima de ellas o por las maniobras cuando la red es vaciada en cubierta, además de estrés

por la captura y descarte (NOAA, 2022). En las pesquerías de palangre, los anzuelos pueden penetrar las aletas, la cabeza, la boca o el cuello de las tortugas y si un animal se traga el anzuelo este puede quedar atrapado en su tracto digestivo, afectando su alimentación y digestión con riesgo de muerte. En las pesquerías que usan trampas de fondo (nasas), las líneas verticales que corren desde las nasas hasta la boya superficial pueden atrapar a las tortugas alrededor de las aletas, el cuello o el caparazón.

En Uruguay la captura incidental de tortugas marinas por la pesca industrial con palangre pelágico está muy bien documentada y se reconoce como un problema de conservación, (Giffoni *et al*., 2014), por redes de arrastre (Laporta *et al*., 2013), por las pesquerías artesanales que usan redes de enmalle en la costa del RdlP y el océano Atlántico (Lezama *et al*., 2003) e incluso por las pesquerías deportivas y de subsistencia. Esta interacción con diversas pesquerías es un fenómeno que, al menos a escala regional, es reconocido como la principal causa de mortalidad en individuos juveniles y adultos (Domingo *et al*., 2006b).

Organizaciones de la sociedad civil e investigadores han monitoreado la interacción de tortugas marinas con las pesquerías y han identificado otras amenazas además de la captura incidental, como la pesca fantasma, la pesca de subsistencia con redes en la costa, actividades ilegales y la interacción con residuos marinos. A partir de los reportes de varamientos de tortugas a lo largo de la costa uruguaya, se ha encontrado que su origen, además de la captura incidental, también responde a colisiones con embarcaciones y a la presencia de restos de pesca y residuos plásticos en su tracto digestivo (Laporta *et al*., 2013).

Los mamíferos marinos son otro grupo con riesgo de captura incidental por distintos tipos de pesquerías (NOAA, 2022). Los que se alimentan en el fondo o cerca del fondo y, en general, todos los mamíferos que se alimentan o migran en áreas de pesca de arrastre están en riesgo de ser atrapados en las redes y líneas. En las pesquerías con palangre, pueden ocurrir enganches en los anzuelos o atrapamiento con las líneas; por ejemplo, las orcas son conocidas por robar la carnada o la pesca de los palangres. En las pesquerías con trampas de fondo, pueden quedar atrapadas en las líneas que conectan las nasas entre sí o hacia las boyas superficiales. El atrapamiento puede ocasionar laceraciones, heridas penetrantes y agotamiento de diversas especies de mamíferos marinos, con riesgo de ahogamiento si los individuos no pueden liberarse y llegar a la superficie para respirar.

En Uruguay se encuentran reportes de captura incidental de mamíferos marinos tanto para la pesca industrial con palangre pelágico como para la pesca artesanal en la zona oceánica. En las pesquerías de palangre pelágico predan tanto la carnada como la captura y como resultado quedan enganchados en los anzuelos o enredados en la línea. A partir de datos de observadores de la flota atunera, entre los años 1987 y 2007 el número de capturas reportadas fue relativamente bajo y en su mayoría los individuos fueron liberados vivos (Passadore *et al*., 2008). La mayoría de estas capturas corresponde a pinnípedos, seguidos por cetáceos odontocetos. Un caso particular es la interacción de pinnípedos con la pesca artesanal en áreas costeras (por

ejemplo, lobo marino *Arctocephalus australis* y león marino *Otari flavescens*), atribuyéndoles los pescadores el ataque y la predación de sus capturas, la destrucción de sus artes de pesca y la competencia por aquellos peces que componen su dieta, que podría derivar en una menor disponibilidad y captura de las especies comerciales. No se descarta que los pescadores utilicen mecanismos para espantar a los pinnípedos, en ocasiones agresivos, para evitar estos perjuicios. Sin embargo, los datos no son concluyentes en que exista dicho perjuicio o en que esta interacción sea determinante en las capturas de la pesca artesanal (Szteren y Lezama, 2006). En el caso de las pesquerías artesanales, la ocurrencia de individuos de franciscana (*Pontoporia blainvillei*) encontrados muertos en las playas se ha relacionado con la captura incidental por dichas pesquerías (Del Bene *et al*., 2006). Se han reportado valores de captura incidental de franciscana en pesquerías artesanales con redes tipo *gillnet* en el estuario del RdlP y la costa oceánica (Franco-Trecu *et al*., 2009). Los registros de captura incidental de franciscana en la región datan al menos de mediados del siglo XX y este aspecto de la pesca se reconoce como la mayor amenaza para la conservación de la especie, en particular por la interacción con la pesca artesanal de tiburones (Secchi *et al*., 2021).

También se ha estudiado y elaborado planes de acción específicas para condrictios (como tiburones y rayas), y se ha reportado que de las aproximadamente 100 especies registradas en aguas uruguayas muchas son capturadas por diferentes pesquerías, tanto de forma incidental como dirigida (Domingo *et al*., 2008). Un ejemplo es la captura incidental de elasmobranquios, en especial tiburones, por la pesquería de atún y pez espada que se realiza con palangre pelágico, que actualmente no está operativa pero tuvo un desarrollo importante en décadas pasadas. El estudio de los desembarques de esta pesquería en el período 1981-1998 (Domingo, 2000) reportó un aumento de la captura incidental de varias especies de tiburones (con mayor incidencia del tiburón azul) hacia el final del período, llegando a comprender entre un 20% y un 40% de los desembarques. Se observó, además, que la mayoría de los elasmobranquios capturados se devolvía muertos al mar (o sin posibilidades de supervivencia), previa extracción de sus aletas.

Residuos de la pesca

La pesca genera residuos característicos, además de los típicos que se describen en el apartado sobre tránsito marítimo. Un caso particular son las artes de pesca perdidas o abandonadas en el mar, que continúan capturando o atrapando organismos, lo que se denomina pesca fantasma (*ghost fishing*). Es generalmente fatal para estos organismos y es una situación que puede continuar por mucho tiempo, pues las artes son generalmente fabricadas con material sintético de alta duración que no se degrada rápidamente en el mar (FAO, 2003). Se estima que alrededor de un 10% de todos los residuos en el ambiente marino son artes o elementos de pesca y en las áreas de pesquerías comerciales esta cifra puede ser mayor (Angiolillo, 2019). Comprende una diversidad de residuos y tipos de materiales: fragmentos o redes enteras, líneas (monofilamentos, acero recubierto con vinilo), cuerdas, señuelos, envases, flejes, trampas. Se han postulado medidas de prevención o reducción de la pesca

fantasma, tales como mejores prácticas de pesca y uso de artes, diseño de las artes y prácticas para reducir su pérdida o el uso de materiales biodegradables.

Las artes de pesca pueden perderse en forma accidental, por diversas causas (Lively y Good, 2019): climáticas, por enganche con obstáculos o por las malas condiciones del arte. Cuando la pérdida es accidental, generalmente los pescadores intentan localizar y recuperar sus artes, porque tienen un costo significativo. Una parte de las artes perdidas es recuperada por los pescadores, pero la topografía de fondo puede impedirlo y los vientos y corrientes pueden alejarlas del sitio donde se perdieron. En ocasiones, las artes se abandonan o eliminan intencionalmente en el mar, como forma de disposición final, por vandalismo, pesca ilegal o no reportada. Existe poca información respecto a la frecuencia de pérdida de artes y cuánto tiempo quedan estas en el mar. El problema se agravó cuando se comenzó a utilizar materiales sintéticos, los cuales tienen mayor persistencia en el ambiente marino que los materiales naturales y biodegradables y producen pesca fantasma y otros efectos adversos por un período mucho más prolongado. En ocasiones, las artes perdidas o abandonadas se concentran cerca de la costa, pero el viento y las corrientes pueden transportarlas a aguas más profundas.

Las nasas (potes o trampas) son artes de pesca utilizadas para una variedad de especies, en particular cangrejo y langosta, que se apoyan en el lecho marino y funcionan como jaulas, permitiendo el ingreso de la especie objetivo, generalmente atraída por una carnada, y su captura por algún mecanismo que impide el escape del individuo. Una vez que se pierden o abandonan en el fondo marino, las nasas pueden seguir pescando por más de un año, aunque la carnada sólo dure un par de semanas (Lively y Good, 2019). Algunos organismos buscan refugio en las nasas y cuando quedan atrapados mueren debido a inanición, los predadores, canibalismo o por la mala calidad del agua dentro de la nasa. Con el tiempo, el riesgo de pesca fantasma se reduce por deterioro de las nasas, permitiendo que los organismos puedan escaparse, o porque quedan enterradas o las incrustaciones impiden el ingreso de organismos.

Generalmente, se asocia un menor riesgo de pesca fantasma a las redes de arrastre que a las inmóviles (fijas al fondo o suspendidas) porque los monofilamentos son de mayor diámetro y esto alerta a los organismos y previene su captura (Lively y Good, 2019) y, además, su mayor costo respecto a las inmóviles predispone a un mayor cuidado y menores pérdidas de estas artes. No obstante, pueden constituir la mayoría de los residuos de pesca encontrados en las zonas de acumulación global. Pueden seguir pescando por un par de meses a años, con altas tasas de mortalidad. Son poco específicas para especies y se han registrado atrapamientos de peces, crustáceos, rayas y calamares.

En Uruguay se han documentado los efectos de residuos de la pesca en diversas especies; en particular, para tortugas marinas se han observado individuos enredados con porciones de redes de enmalle, anzuelos y tanzas de pesca de palangre pelágico y deportiva, además de otros residuos de diverso origen como cabos, flejes y bolsas plásticas (Laporta *et al*., 2006). En el estudio de Chocca *et al*.

(2013) citado anteriormente, se registró que cerca de la costa predominaron los residuos plásticos, mientras que en las áreas de pesca de altura de la ZCPAU predominaron los residuos asociados a dicha actividad.

Los residuos que sedimentan en los fondos marinos representan un peligro para los organismos sésiles, como esponjas y corales. Por ejemplo, la acción abrasiva de estos objetos, movidos por las corrientes de fondo, provoca daños físicos a las colonias de corales y otros organismos, ocasionando una remoción progresiva de sus tejidos, y los hace más vulnerables a infecciones de bacterias y parásitos. La estructura de corales desnudos es rápidamente ocupada por otros organismos, lo que provoca una reducción crónica de este ecosistema. Se han reportado estos efectos en diversos lugares afectados por artes de pesca, tanto de arrastre como palangre, incluyendo corales de agua fría. También se ha documentado la acción mecánica de residuos de redes de pesca en la morfología de fondo, suavizando la topografía, provocando la resuspensión de sedimentos y afectando la estructura física natural de estos hábitats (Angiolillo, 2019).

Otros residuos específicos de la pesca son los descartes de captura, pescados o sus restos, que se tiran al mar, generados por la baja selectividad de las artes de pesca o cuando se requiere utilizar la capacidad de bodega con especies de mayor valor (Domingo *et al*., 2022). Se mencionó antes que estos residuos aumentan la captura incidental de aves, pero también pueden producir alteraciones en aves y otras especies, por la disponibilidad y la cantidad de alimento, que es aprovechado en forma diferente por cada especie.

Otros impactos

Otro aspecto a mencionar es la superposición espacio-temporal y la competencia por recursos de las pesquerías con ciertas especies, como se ha estudiado para el león marino sudamericano (*Otaria flavescens*) y las pesquerías costeras en Uruguay (Riet Sapriza *et al*., 2013). En este estudio se observó solapamiento entre los viajes forrajeros de las hembras durante el verano y la zona de operación de la flota pesquera de arrastre, pero no se encontró una correlación con la disminución de las poblaciones del león marino.

Transbordo de cargas

El transbordo de cargas es una operación marítima en la cual un buque transfiere materiales (contenedores, mercancías, suministros, combustible, entre otros) hacia o desde otro buque o instalación fija. Suele tener un motivo comercial, aunque en ocasiones se realiza por cuestiones de seguridad del buque o la navegación. Generalmente los países definen reglas específicas para el transbordo de cargas dentro de su jurisdicción, además de las establecidas internacionalmente. Su principal aspecto ambiental está relacionado con la descarga al mar de los materiales que son transbordados, en particular hidrocarburos y productos químicos peligrosos, debido a accidentes en la operación o, eventualmente, en forma deliberada. Otro aspecto es la ocupación de espacio y el potencial conflicto de uso de dicho espacio con otras actividades y usos marítimos.

Las operaciones de transbordo identificadas para el RdlP y la ZEE son: el alije, *top-off*,

bunkering, *ship-to-ship* (STS) y la descarga en boya petrolera. Cuando un buque le cede parte o la totalidad de su carga a buques de menor porte para alivianar su peso y ampliar el calado, se denomina alije, y el proceso reverso, la transferencia de carga desde buques de menor tamaño, se denomina complemento de carga o *top-off*. La operación de transferencia de combustible y lubricantes marinos a un buque para su uso exclusivo en el funcionamiento de las máquinas a bordo se denomina *bunkering* y puede ser realizada en puerto o en las zonas de operaciones marítimas usando buques especializados que suministran estos combustibles. Las operaciones STS involucran la transferencia de petróleo crudo o derivados entre buques tanque, emparejados (en movimiento) o fondeados; cuando el buque que transfiere los hidrocarburos es de mayor tamaño la operación se denomina *lightering* y cuando es menor, *reverse lightering*. Las operaciones de entrega, recepción o alije de hidrocarburos y otras mercancías peligrosas que se realicen entre buques o con boya, en aguas de jurisdicción nacional, excluyendo operaciones en puerto y *bunkering*, son controladas por la Prefectura Nacional Naval (PRENA, 2012b) (ver en el capítulo 1.4 de este libro las regulaciones que aplican al *bunkering* y al STS).

En el marco del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, se definieron zonas de transferencia de carga dentro del RdlP, cuya ubicación se ha ido actualizando y hoy en día en la parte uruguaya se encuentran las zonas Alfa y Delta, una zona de "fondeo y servicios" y las zonas de espera y fondeo "Este" y "Oeste" (Marín *et al*., 2013, 2018). En particular, en las zonas Alfa, Delta y la "zona de fondeo y servicios" se realizan operaciones de *bunkering* y en la zona Delta también se realizan operaciones STS. En 2008 entró en vigencia el Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil ante Daños Ambientales por Operaciones de Bunkering (IMO, 2024a), que busca asegurar una compensación efectiva y oportuna por los daños asociados a derrames de hidrocarburos durante estas operaciones y que no ha sido ratificado aún por Uruguay. En el capítulo 4.4 de este libro se presenta un mapa de ubicación de las zonas de transferencia indicadas (figura 5 de dicho capítulo).

La autoridad marítima ha definido zonas de maniobras para STS en el océano Atlántico, actualmente ubicadas a aproximadamente 40 M al sur de La Paloma (PRENA, 2012b, 2017). De acuerdo a consultas al sector marítimo, se observa un aumento del STS en esta zona, lo que ha permitido desarrollar servicios de apoyo locales, incluyendo flotas dedicadas, pero también la necesidad de regulaciones para la prevención y la respuesta a derrames, teniendo en cuenta los importantes volúmenes de petróleo crudo que se transfieren y también la introducción de un potencial conflicto por la superposición con áreas de interés para la pesca de arrastre industrial costera (Marín *et al*., 2013, 2018). Durante la operación de STS uno de los buques se mueve en una dirección constante a baja velocidad, mientras que el otro se acerca realizando el procedimiento de aproximación (Ventikos y Stavrou, 2013) y la transferencia se realiza con ambos buques emparejados en cursos paralelos y a una velocidad similar. En Marín *et al*. (2018) puede observarse un ejemplo de la trayectoria circular de los buques durante una operación STS, que lleva de horas a un par de días.

A partir de una solicitud de acceso a información pública (MDN, 2023), se informó que las operaciones de STS se realizan bajo la supervisión de la Prefectura Nacional Naval y los buques deben contar con un plan aprobado para las operaciones elaborado con base en manuales, guías de referencia y las normas específicas adoptadas por la OMI y agregadas al anexo I del MARPOL (OMI, 2009). Se exigen seguros con cobertura en caso de derrames y la contratación de una empresa registrada que brinde el servicio de control y respuesta ante derrames de hidrocarburos (PRENA, 2015b,c). Para el año 2021 se informaron 16 operaciones de STS en la zona Delta, comprendiendo un total de 230.000 m^3 de líquidos (no se identifica el producto) y 21 operaciones de *bunkering* en la zona de fondeo y servicios, por un volumen total de 2.611 m^3 de combustibles marinos. Complementariamente, observando las trayectorias de los buques nacionales que brindan servicios de apoyo a estas operaciones (Global Fishing Watch, 2023) es posible identificar que durante prácticamente todos los meses de 2021 se realizaron operaciones STS en la zona de maniobras, pero se desconocen los volúmenes de petróleo crudo transferidos.

Aunque el número de STS ha crecido significativamente en el mundo, debido a razones operativas o comerciales, se han registrado pocos accidentes vinculados a dichas operaciones, reportando derrames en solamente un 0,6% de los casos y menos de la mitad de estos derrames llegaron al mar (Ventikos y Stavrou, 2013). El riesgo de incidentes está vinculado a las condiciones meteorológicas y oceanográficas, la maniobrabilidad de los buques, el entrenamiento y la calificación del personal involucrado y las condiciones del equipamiento para realizar la operación, siendo fundamental contar con un plan de contingencia y tener a disposición los medios adecuados para dar respuesta a los eventuales derrames de hidrocarburos.

Otra operación de transbordo relevante es la descarga de petróleo crudo en la boya petrolera, ubicada a 3,5 km de la costa en la Terminal del Este de ANCAP (ANCAP, 2023a). Se trata de una monoboya de acero de 10 metros de diámetro, anclada al lecho marino y conectada a la terminal mediante un oleoducto submarino de acero, de 90 cm de diámetro, revestido exteriormente con hormigón armado y fijo al lecho marino. En la operación de descarga, los tanques de los buques petroleros se conectan a la boya mediante tuberías flotantes ("manguerotes": 250 m de largo y 50 cm de diámetro interno). La operación de descarga lleva alrededor de 24 horas y tiene supervisión continua de buques de apoyo con capacidad de respuesta ante derrames e incendios. La boya petrolera opera desde el año 1978 e incluye un oleoducto terrestre hasta la refinería de La Teja, en Montevideo. Anteriormente, las operaciones de descarga de crudo se realizaban en la Terminal Marítima de La Teja, en Montevideo, que se sigue utilizando para la descarga y la expedición de derivados de petróleo (ANCAP, 2023b): gasoil, GLP, combustibles que se transportan por vía marítima a las terminales de Juan Lacaze y Paysandú, exportaciones vía marítima y *bunkering*. En el año 2021 se realizaron 17 operaciones en la boya petrolera, con un promedio de 940.000 barriles de crudo por desembarque (ANCAP, 2023d). De acuerdo con una revisión en la prensa, en los últimos cinco años

se han reportado tres derrames en la boya petrolera, de menor magnitud (tier 1, menos de 15 m^3), asociados a fallas en los sistemas de transferencia, y en un solo caso se registró afectación de la costa y la fauna.

Cables submarinos

El territorio marítimo uruguayo tiene una larga historia de tendido de cables submarinos de telecomunicación, comenzando con los cables telegráficos instalados a partir del siglo XIX, que permitían la comunicación en esta región del Atlántico Sur, entre Buenos Aries, Montevideo y Río de Janeiro (Marín *et al*., 2021). Los cables coaxiales submarinos fueron la siguiente tecnología en transmisión de información, a mediados del siglo XX, pero no hay registros de este tipo en Uruguay. A partir de 1994 comienza la instalación de cables de fibra óptica sobre el lecho marino de la ZEE, llegando a un total de 8 documentados actualmente: 6 operativos con algún segmento inactivo, 1 retirándose y 1 en instalación, cuya ubicación se ilustra la figura 9 del capítulo 4.4 de este libro. No existen tendidos de cables de transmisión o potencia en la jurisdicción marítima uruguaya, aunque sería un tema a estudiar en el caso de eventuales emprendimientos energéticos marinos en el futuro (por ejemplo, parques eólicos marinos).

Los cables de fibra óptica tienen un diámetro exterior de entre 20 y 50 milímetros, y una infraestructura auxiliar fija al lecho marino también reducida, así que su presencia física es relativamente ínfima comparada con su extensión, de cientos a miles de kilómetros entre cada estación en la costa. Es comúnmente aceptado que, en general, los cables submarinos no tienen impactos ambientales significativos en el medio marino (Burnett *et al*., 2015; Arellano Rodríguez, 2021), aunque algunas instituciones, como la Comisión de la Convención para la Protección del Ambiente Marino en el Atlántico Nororiental (OSPAR), han adoptado un enfoque más cauteloso (Merck y Wasserthal, 2009; Sinclair *et al*., 2023). La significación de estos potenciales impactos depende del tipo de cable, del método utilizado para la instalación, la reparación y la extracción, y de las características y vulnerabilidad del hábitat atravesado por el cable.

En aguas someras hasta alrededor de 1.000 metros de profundidad el cable es generalmente enterrado, por lo cual su tendido involucra la excavación de una trinchera de 1 a 2 metros de profundidad en el lecho marino y ocasionalmente requiere operaciones de reparación y sustitución de un segmento dañado del cable. Al final de su vida útil, por cuestiones regulatorias o comerciales, el cable puede ser retirado y esta operación involucra trabajos en el lecho marino y la columna de agua, que pueden producir una perturbación del fondo marino con efectos como aumento en la turbidez, modificación de la estructura sedimentaria, removilización de contaminantes presentes en los sedimentos, ruido y perturbación visual (OSPAR, 2012). La mayoría de estos efectos están restringidos a las operaciones, o sea, con una baja frecuencia en la vida útil o de obsolescencia del cable, de extensión limitada (alrededor de 10 metros en el entorno del cable) y potencialmente reversible. Algunas especies bentónicas pueden evitar estas perturbaciones y alejarse, mientras que otras

especies sésiles o frágiles van a estar más expuestas a estos impactos. La resuspensión de sedimentos puede reducirse con buenas prácticas de instalación y extracción del cable, pero, aun así, dependiendo del tipo de sedimentos, puede obstruir los mecanismos de filtración de algunos organismos bentónicos y pelágicos, al menos temporalmente. La removilización de contaminantes, incluyendo nutrientes, es un aspecto a considerar en áreas marinas afectadas por actividades humanas, cerca de puertos, descargas urbanas o industriales.

La instalación del cable, algunas operaciones de mantenimiento y la extracción al final de su vida útil producen una perturbación o modificación del fondo marino a lo largo del tendido, aunque en un espacio muy limitado y con una frecuencia muy baja (Carter *et al*., 2009). La perturbación puede ser de pequeña escala y corta duración en hábitats y comunidades con un alto potencial de recuperación o de largo plazo con un potencial de pérdida de hábitat, aunque con una afectación espacial relativamente acotada. La instalación puede involucrar la limpieza del lecho con una herramienta de arrastre y, si el cable se entierra, la excavación de una zanja de alrededor de 1 metro de profundidad con una herramienta tipo arado. El impacto de estas herramientas en la morfología y la composición del fondo marino depende de sus condiciones originales: los fondos blandos se recomponen rápidamente por efecto de corrientes y mareas, pero en fondos consolidados quedan las huellas de estas operaciones. En ocasiones se usa un *jet* de agua a presión para cavar la zanja, lo que puede provocar una afectación más amplia del lecho marino por suspensión y sedimentación de los sedimentos desplazados. En algunos países se requiere el uso de herramientas y prácticas mejoradas para minimizar la perturbación en hábitats sensibles, así como la evaluación y el monitoreo de estas perturbaciones y de la capacidad de restauración natural del lecho marino. En los tramos donde el cable no está enterrado, en particular aguas profundas, el movimiento del cable por efecto de las corrientes y mareas puede generar una interacción física dañina para ciertas especies (por ejemplo corales de agua fría).

El cable y, en algunos casos, rocas u otras protecciones del cable utilizadas en fondos blandos introducen un sustrato artificial para el crecimiento y el refugio de varias especies, y, por lo tanto, se presentan los mismos riesgos de perturbación de la comunidad bentónica natural discutidos en apartados anteriores. Se ha postulado que las zonas de protección de cables submarinos pueden actuar de hecho como un área marina protegida, promoviendo la conservación de hábitats o especies de interés dentro de una zona libre de algunas actividades humanas como el fondeo de buques o la pesca (Carter *et al*., 2009). Sin embargo, esta idea no ha podido ser probada en las zonas de protección de cables donde se ha estudiado el estado de conservación y se ha comparado con el entorno, y, en general, se asume que no existen diferencias significativas en la abundancia y la diversidad de especies en el cable respecto al entorno (Burnett *et al*., 2015).

El cable de telecomunicaciones puede transportar energía eléctrica para alimentar equipos repetidores, que permiten mantener la intensidad de la señal y se instalan entre tramos de cables cada aproximadamente 70

kilómetros (Carter *et al*., 2009), pero se entiende que los campos electromagnéticos inducidos por este tipo de cables es poco significativo (Sinclair *et al*., 2023). La emisión de calor, por disipación de la energía eléctrica transportada, es un aspecto a considerar para cables de potencia, pero no está reportada para cables de telecomunicación (OSPAR, 2012; Sinclair *et al*., 2023).

En los cables telegráficos se ha reportado una decena de incidentes de atrapamiento de mamíferos marinos, pero los registros de fallas de cables submarinos modernos no indican ningún incidente de este tipo a partir de la década del sesenta (Carter *et al*., 2009).

La descomposición y la liberación de materiales y sustancias que componen el cable están muy limitadas por la protección de polietileno exterior del cable (Carter *et al*., 2009). La baja exposición a radiación solar de la protección de polietileno, por la profundidad de agua o el enterramiento del cable, previene su degradación, además de las bajas temperaturas imperantes para la eventual descomposición por microorganismos.

En cuanto al ruido, se considera que los niveles máximos de presión acústica generados durante las operaciones de instalación, mantenimiento y extracción del cable son de leves a moderados, similares a los del tránsito marítimo por otras actividades (OSPAR, 2012; Sinclair *et al*., 2023).

La definición de la ruta de tendido óptima del cable generalmente involucra la adquisición de datos geofísicos, geológicos y geomecánicos sobre la trayectoria preliminar (Burnett *et al*., 2015), pero, en general, se acepta que estos métodos tienen un impacto poco significativo. Cuando se usan métodos geofísicos acústicos o electromagnéticos, aplica el requerimiento de autorización ambiental (Poder Ejecutivo, 2016).

El destino del cable al final de su vida útil es un tema de debate: retirarlo o dejarlo inactivo en el sitio. Algunas legislaciones requieren su extracción (Fígoli Pacheco, 2018). Los cables inactivos pueden ser un problema cuando el uso del lecho marino está congestionado por la instalación de otros cables, tuberías o cualquier otra infraestructura. En el caso de requerir su extracción, debe asegurarse que el operador va a cumplir financieramente con esa obligación, a través de un sistema de garantías. En Uruguay se identifica sólo una operación formal de extracción en curso para el cable Atlantis II, en aguas profundas de la ZEE (Fígoli, A., 2023, comunicación personal). Es posible que los cables telegráficos hayan sido extraídos sin reportar debido a su valor (cables de cobre) y no hay registros de que el segmento A del cable Unisur, inactivo, haya sido retirado.

En Uruguay la instalación de cables submarinos no está sujeta a una autorización ambiental previa, salvo cuando implica obras en la faja de defensa de costas, como sucedió con los cables Bicentenario, Tannat y Firmina (Ministerio de Ambiente, 2024). Estos proyectos fueron clasificados como categoría A, o sea que no requirieron la presentación de estudios de impacto ambiental. Algunos países han establecido procedimientos para la autorización de cables submarinos en la ZEE, en particular cuando atraviesan áreas ecológicamente sensibles o de interés (Burnett *et al*., 2015). Generalmente, las regulaciones locales requieren que el proponente realice

un análisis de los impactos ambientales de las obras de instalación, mantenimiento y extracción del cable submarino propuesto (Carter *et al*., 2009), aunque el alcance de este análisis varía entre países y depende de la ubicación del cable, requiriéndose en algunos casos un estudio de impacto ambiental. Estos procedimientos, en general, buscan que el Estado ribereño tenga opinión y decisión sobre la selección de la ruta del cable, de las tecnologías y métodos de instalación, y de las ventanas temporales más adecuadas para minimizar los impactos.

Con el objetivo de prevenir daños a los cables submarinos, en Uruguay se han definido zonas de protección de 1 M a lo largo de su trazado, donde están prohibidos la pesca de arrastre y el fondeo (PRENA, 2011, 2015a) y, en general, cualquier tipo de actividad que mantenga total o parcialmente contacto con el fondo (Poder Ejecutivo, 2011). Esta regulación ha generado debates y conflictos respecto a la ocupación efectiva que estos cables hacen del espacio marino (Marín *et al*., 2021), que se estima en 12.000 km^2 en la ZEE y el mar territorial uruguayos. Recientemente se ha discutido la definición de corredores para la instalación de nuevos cables (Fígoli Pacheco, 2018), lo cual permitiría minimizar la ocupación de espacio, restringir los eventuales impactos en el fondo marino y optimizar la vigilancia. Este concepto se aplicó en la instalación del cable Firmina, con un trazado paralelo a cables preexistentes en aguas someras (Domínguez, J., 2023, comunicación personal).

Se han elaborado documentos de buenas prácticas ambientales (OSPAR, 2012), con recomendaciones para prevenir o mitigar los potenciales impactos del cable, desde su diseño e instalación, hasta la operación y el fin de la vida útil. Cuando no es requerida una autorización ambiental para estos proyectos por la regulación nacional, de todas formas, se aconseja que la parte contratada o responsable del proyecto realice un estudio de impacto ambiental. En particular, la selección de la ruta de tendido del cable debería considerar los aspectos ambientales, además de la ingeniería y economía del proyecto; es preferible que la ruta evite áreas ecológicamente sensibles y prevenga el conflicto con otros usos y actividades, además de buscar la distancia mínima, el acoplamiento con cables y tuberías existentes cuando es posible y seguro realizarlo, y reducir el número de cruces con otros cables y tuberías. Los períodos definidos para la instalación también deben considerar la estacionalidad, es decir, especies que hacen uso de ciertas áreas durante el año para su refugio, alimentación, migración, reproducción, cría, desove o cualquier otra etapa del ciclo de vida que determine una mayor vulnerabilidad.

Exploración de hidrocarburos

La exploración de petróleo y gas en la plataforma continental del Uruguay comenzó en la década del 1970 con campañas de sísmica 2D marina hasta la perforación de los pozos de exploración Lobo X-1 y Gaviotín X-1 en la Cuenca Punta del Este, en el año 1976, que no encontraron acumulaciones de hidrocarburos. Durante los años siguientes la exploración fue esporádica hasta fines del siglo XX y tuvo un repunte significativo a partir del año 2011, con campañas de sísmica

2D y 3D, exploración geoquímica y electromagnetismo, y la perforación del pozo de exploración Raya X-1 en el año 2016, el cual tampoco encontró acumulaciones. El interés por la exploración costa afuera (*offshore*) de Uruguay disminuyó y no hubo actividad después del año 2017 (Gristo *et al*., 2021). Recientes descubrimientos en la Cuenca Orange, en Namibia, han reactivado el interés en el Atlántico Sudoccidental, con áreas adjudicadas para exploración en Uruguay, el norte de Argentina y el sur de Brasil, y compromisos de sísmica y perforación en toda la región. En la literatura técnica y las regulaciones del sector se identifican dos tipos de actividades de exploración *offshore* con aspectos e impactos ambientales potencialmente significativos: la sísmica marina y la perforación de pozos de exploración, que se detallan a continuación.

Sísmica marina

La sísmica marina es un método fundamental para la exploración *offshore* y consiste en una fuente que emite un pulso acústico controlado que se transmite como onda de presión en la columna de agua y el subsuelo. Una parte de la energía acústica se refleja hacia la superficie cada vez que encuentra un cambio de impedancia acústica y esta reflexión se recibe y registra en receptores próximos a la superficie del agua. Operativamente, un buque sísmico remolca un conjunto de fuentes de sonido y un cable, o cables, sísmico (*streamer*) que contiene los receptores (hidrófonos) registra las reflexiones de la onda acústica. La fuente son los denominados cañones de aire (*airguns*), que generan un pulso acústico cada 10-20 segundos por la liberación instantánea del aire comprimido. Debido a la longitud del cable sísmico, que puede llegar a 15 kilómetros, el buque navega a alrededor de 5 nudos con maniobra restringida y realiza en general trayectorias rectilíneas predefinidas y paralelas. Generalmente se utiliza un buque de compañía (*chase boat*), que verifica que la trayectoria del buque sísmico esté libre de obstáculos, y un buque de aprovisionamiento (*supply vessel*) para el suministro de combustible y otros insumos al buque sísmico.

El método también se utiliza para investigación geológica, con fines académicos o para la determinación de la jurisdicción marítima, o para la instalación de infraestructura marina (por ejemplo, aerogeneradores marinos, cables submarinos y fundación para diversas obras marinas), en ocasiones usando fuentes de alta frecuencia y cables sísmicos más cortos para la caracterización de los sedimentos someros.

Su aspecto ambiental más importante es el ruido producido por la fuente y sus potenciales impactos en la fauna marina, en particular en mamíferos marinos y en peces, y la ocupación de área y potenciales conflictos de uso con otras actividades y usos marinos, aunque se trata de una ocupación temporal y de muy baja frecuencia, además de los aspectos ambientales ya descriptos para el tránsito marítimo en general.

El sonido sísmico es una de las fuentes de ruido antropogénico marino más importantes por su intensidad (Hildebrand, 2009) y, por ende, con potencial de propagarse a decenas de kilómetros de la fuente. Los potenciales impactos en la fauna marina incluyen la degradación del hábitat acústico, induciendo el

escape de la zona o cambios en los patrones de comportamiento habituales, y, en caso extremo, el daño físico (MVOTMA, 2017). Su efecto en mamíferos marinos ha sido el objeto de mayor preocupación e investigación y la mayoría de los países petroleros cuentan con regulación y protocolos específicos. En menor medida y más recientemente, se han estudiado los efectos en peces y pesquerías, y se han definido algunas medidas de gestión de tipo precautorio.

Los mamíferos marinos en general responden al ruido con cambios en el comportamiento, tales como movimientos que reducen la exposición o la postergación temporal de su actividad de alimentación o nado (Bröker, 2019). Otro posible cambio comportamental, en ballenas, es el aumento del número de vocalizaciones para comunicarse con sus congéneres. Teóricamente, el ruido puede enmascarar las vocalizaciones usadas para navegar, comunicarse o localizar sus presas, aunque los animales disponen de varias estrategias para reducir este impacto. No existen evidencias de efectos causales entre la mortandad de mamíferos marinos y la sísmica marina, así que el peor escenario esperado es el de una lesión auditiva permanente, que podría ocurrir cuando un individuo está expuesto al ruido a pocos metros de la fuente sísmica. A mayor distancia, el ruido puede provocar daños auditivos temporales o respuestas en el comportamiento, el enmascaramiento de señales biológicamente significativas (Bröker, 2019) o cambios fisiológicos en respuesta al estrés producido por el ruido (Slabbekoorn *et al*., 2019). No obstante, persisten incertidumbres respecto a la respuesta comportamental, las consecuencias de largo plazo de estos cambios a nivel individual y las implicaciones en poblaciones y el ecosistema (Affatati y Camerlenghi, 2023).

Se han definido buenas prácticas para prevenir y mitigar estos efectos (JNCC, 2010): evitar áreas o temporadas de alta concentración de mamíferos marinos, en especial durante momentos biológicamente críticos que pueden ser afectados por el ruido, el inicio suave o gradual de la fuente para permitir el alejamiento de los individuos (*soft start* o *ramp up*) y la definición de un área de seguridad para mamíferos marinos en torno a la fuente (apagado de la fuente), combinados con la observación visual y el monitoreo acústico pasivo.

Todos los peces son sensibles al sonido de alguna manera y perciben tanto la presión del sonido como el movimiento de partículas (Slabbekoorn *et al*., 2019). Muchos usan señales acústicas para comunicarse entre congéneres, para detectar presas o predadores, o para orientarse y navegar. Los primeros estudios experimentales del efecto de la sísmica en peces, en la década de 1990, encontraron efectos letales y subletales para las especies estudiadas cuando se encontraban muy próximas a la fuente. Los peces adultos y juveniles tienen en general la capacidad para nadar y alejarse de estas zonas próximas a la fuente en cuanto sienten una incomodidad por el ruido y, por lo tanto, se espera que en situaciones normales estos individuos se alejen en forma horizontal o vertical respecto a la fuente. En el caso de larvas o alevines, con una menor capacidad natatoria, se encontró que la mortalidad inducida por el sonido es insignificante respecto a la tasa de mortalidad natural (Sætre y Ona, 1996). Los estudios a escala de laboratorio permitieron

identificar los efectos de la sísmica en cuanto a la integridad física, a altos niveles de sonido, y en la fisiología y el comportamiento de los individuos, a niveles de sonido menores. Pero estos potenciales daños en los individuos, con una exposición muy intensa y de corto período al sonido, no implican necesariamente efectos en el *stock* o las poblaciones de peces (Slabbekoorn *et al*., 2019).

Estudios experimentales a escala real demostraron que la captura de determinadas especies, como el bacalao y el abadejo, se redujo considerablemente hasta 18 M de la fuente sísmica y con un patrón gradual decreciente. Esta reducción fue ocasionada por la disminución de la densidad espacial de peces en el área: los peces se alejan del ruido y cesan el forrajeo (Engås *et al*., 1996). No obstante, subsiguientes estudios encontraron distintos comportamientos frente al sonido según el tipo de pez pelágico: la bacaladilla se sumergió para alejarse de la fuente y para el arenque no se identificaron cambios en la velocidad y la dirección de natación o en su posición en la columna de agua (Slotte *et al*, 2004). Experimentos a escala real con datos previos, durante y después de la campaña sísmica, reportaron que los peces generalmente no abandonan el área, pero observaron cambios comportamentales que tienen efecto en la captura dependiendo del método y arte de pesca utilizados: aumentaron las capturas en redes de enmalle (*gillnets*), posiblemente por un aumento del comportamiento natatorio, y se redujeron en los palangres (*longline*), lo que indica una menor disposición para alimentarse (Løkkeborg *et al*., 2012). Se encuentran, por lo tanto, marcadas diferencias en la respuesta de los peces al sonido sísmico: desde cambios no observables hasta un claro alejamiento vertical u horizontal de la fuente, con diferente intensidad según la especie. La tasa de captura está influenciada por los eventuales cambios comportamentales y por el tipo de arte de pesca utilizado.

Con un enfoque precautorio, regulaciones de países donde coexisten la exploración y la pesca industrial, como Noruega, han recomendado restricciones temporales y espaciales a la sísmica marina en áreas de desove de peces de interés comercial (Dalen *et al*., 1996). Si los peces adultos en etapa de desove se espantan y se mueven grandes distancias en respuesta al sonido sísmico, puede retrasarse o incluso realizarse el desove en condiciones subóptimas de tiempo y lugar (Sivle *et al*., 2021).

En cuanto al potencial impacto del sonido sísmico en zooplancton, es actualmente un tema sujeto a estudio y controversia (McCauley *et al*., 2017), pero parece ser de tipo transitorio con una posibilidad de recuperación de las poblaciones a corto plazo (Richardson *et al*., 2017). No se han definido regulaciones específicas al respecto (Sivle *et al*., 2021).

En Uruguay la sísmica marina está sujeta a autorización ambiental (Poder Ejecutivo, 2016) y existen guías específicas para el estudio de impacto y la gestión ambiental (MVOTMA, 2017; Tomasini *et al*., 2019), incluyendo el monitoreo, la prevención y la mitigación de impactos en mamíferos marinos. Estudios de campo realizados durante las campañas sísmicas no muestran impactos en las capturas de pesquerías industriales (Rubio Albertoni *et al*., 2015; DINARA, 2017).

Pozos de exploración

La construcción de los pozos petroleros con objetivos de exploración, producción u otras funciones se realiza mediante una tubería de perforación (*drill pipe*) y un trépano (*bit*) en su extremo inferior, que gira y rompe la roca en pequeños fragmentos (denominados recortes de perforación o *cutting*) mientras avanza y perfora el pozo por acción del peso de toda la tubería. El peso sobre el trépano, y generalmente también su rotación, es controlado en superficie desde la torre o equipo de perforación (*rig*) y se van agregando tramos de tubería a medida que avanza el pozo. Por el interior de la tubería se inyecta un fluido de perforación (*mud*) que permite limpiar y conducir los recortes hacia la superficie. El fluido sale por los orificios del trépano, asciende por el espacio anular entre el pozo y la tubería de perforación, y permite mantener la integridad y el control del pozo (ejerce una presión positiva sobre las paredes del pozo). Es formulado específicamente para la sección de pozo a perforar y consiste en una suspensión acuosa, oleosa o sintética, de varios componentes que proveen densidad, propiedades reológicas y fisicoquímicas adecuadas.

El pozo se construye en etapas de diferente profundidad y diámetro, y cuando se termina una etapa se instala una tubería de revestimiento (*casing*) que se cementa contra las paredes del pozo. La instalación y la cementación de tuberías de revestimiento brindan estabilidad estructural a la obra y aíslan las correspondientes secciones de roca que fueron perforadas.

El primer tramo de pozo *offshore* comprende de unas decenas a cientos de metros, se perfora generalmente con agua y a circuito abierto: los recortes de perforación suben por el espacio anular y se descargan en la boca del pozo. En este primer tramo se instalan y cementan las tuberías de revestimiento denominadas conductor y de superficie. El siguiente tramo comprende la instalación de la válvula de prevención (BOP) en la boca de pozo y se perfora en circuito cerrado con fluido de perforación. Para ello se instala una tubería de acenso (*riser*) entre la boca de pozo y la torre, para transportar el fluido y los recortes a la superficie, donde son colectados y separados, generando un residuo sólido constituido fundamentalmente por las rocas perforadas con restos del fluido de perforación. El fluido se acondiciona en instalaciones dedicadas, desde donde se bombea e inyecta nuevamente al pozo. Todas estas operaciones requieren instalaciones y equipos auxiliares, además de la torre de perforación.

El objetivo principal de los pozos de exploración es chequear la posible acumulación de hidrocarburos en la locación y obtener información directa del subsuelo. Una vez construido, realizados los registros y muestras, y eventualmente ensayada su producción por unas horas, el pozo se abandona instalando tapones de cemento en la sección profunda, desconectando y retirando todas las herramientas en la boca de pozo y superficie, y dejando únicamente un tramo corto de tubería sellado en la superficie.

La obra de perforación de un pozo de exploración *offshore* involucra el tránsito, el fondeo y la operación de un buque o plataforma de perforación (de tipo *drillship*, semisumergible o *jack-up*), de uno o más buques de

suministro (*supply vessels*) y eventualmente otros buques de apoyo. La perforación, incluyendo su preparación y abandono, generalmente tiene una duración de semanas en el sitio o locación. Requiere de un puerto base y la instalación temporal de una base logística para la carga, la descarga y el almacenamiento de todos los insumos necesarios para la obra y una base aeroportuaria para el transporte por helicóptero de trabajadores desde y hacia la plataforma de perforación.

El principal riesgo ambiental de la perforación es la pérdida de control del pozo, que puede derivar en el colapso de la obra, explosiones y derrames, las cuales tienen una muy baja frecuencia de ocurrencia, pero una magnitud que puede llegar a ser catastrófica para la salud y el ambiente (Balbi *et al*., 2014). Cuando se encuentran hidrocarburos en el subsuelo a una presión mayor que la del fluido de perforación, este es empujado y asciende por la tubería junto con los hidrocarburos, lo que se denomina *kick*. Si esto no se logra controlar, se produce una surgencia no controlada en la superficie (*blow-out*), con el riesgo de ignición y explosión en la plataforma, la salida de fluidos desde el pozo hacia la superficie y al mar. Existen diferentes prácticas y mecanismos para prevenir esta contingencia, para controlarla cuando se produce y para dar respuesta si los mecanismos de control no son efectivos. El plan de contingencia incluye las prácticas operativas, los equipos y el personal disponibles para su implementación y un plan de respuesta a derrames de hidrocarburos elaborado con base en escenarios de dispersión de los hidrocarburos en el mar y estudios de sensibilidad ambiental en el área de influencia de los potenciales derrames. Los impactos producidos por el *blow-out* son similares a los producidos por derrames en el transporte y el transbordo de hidrocarburos, descriptos anteriormente.

Otros aspectos ambientales de la perforación son: la descarga de residuos especiales al mar por las propias operaciones de perforación, o por accidentes, la generación de ruido e iluminación durante la perforación, y otras contingencias marítimas (Balbi *et al*., 2014; Sánchez *et al*., 2022). Los fluidos de perforación usados son transportados a la base logística para su tratamiento y disposición final, y, salvo que sean de base oleosa o sintética, son clasificados como no peligrosos. Cuando se usan fluidos a base de agua, los recortes de perforación son generalmente descargados en el mar, pero si contienen residuos de fluidos oleosos o sintéticos también son enviados para su tratamiento a la base logística.

Durante la perforación y la cementación del tramo de superficie, se producen descargas de recortes, fluido de perforación y cemento en la boca del pozo, ya que el circuito está abierto en ese tramo. Estos residuos sedimentan en el entorno inmediato de la boca de pozo y pueden afectar el medio físico y a los organismos bentónicos por la turbidez y las partículas en suspensión que generan. Este impacto es temporal y muy limitado espacialmente, y se ha observado que, en general, cuando las comunidades bentónicas se ven afectadas por estas descargas se recuperan en cuestión de semanas a meses (Sáenz *et al*., 2022). Un estudio de fondo marino en las posibles locaciones del pozo permite evitar la perforación en sitios donde se encuentran comunidades más vulnerables a estas descargas.

En Uruguay la perforación de pozos de exploración está sujeta a autorización ambiental (Poder Ejecutivo, 2005b) y en el caso de pozos *offshore* requiere la autorización de la autoridad marítima de la plataforma, un plan de contingencia ante derrames de hidrocarburos, un plan de gestión de residuos de la perforación y otros requerimientos específicos (DIRME, 2016), además de haberse elaborado guías específicas para su gestión ambiental (Tomasini *et al*., 2019).

Otros usos y actividades

En el capítulo 4.4 de este libro se describen los usos militares en la jurisdicción marítima uruguaya, que se desarrollan con una relativamente baja frecuencia en áreas de exclusión temporal, que no tienen una ubicación específica y no son de conocimiento público. Uno de los aspectos ambientales más relevantes de los ejercicios navales, además de los materiales que se descargan al mar, está relacionado con el ruido que generan las explosiones submarinas y el uso de sonares activos (Lindgren y Wilewska-Bien, 2016). Se han documentado varamientos de cetáceos asociados a ejercicios navales con uso de sonar activo en el Atlántico, el Mediterráneo y el Caribe.

La apertura y el mantenimiento operativo de los canales de navegación y dársenas portuarias requieren el dragado del fondo marino y conseguir la batimetría necesaria para el tránsito marítimo. El dragado tiene asociados varios aspectos ambientales, incluyendo, entre otros, la propia modificación y afectación del hábitat bentónico donde se realiza el dragado, el potencial impacto del material en suspensión en la fauna marina (Marín *et al*., 2021), la disposición final de los sedimentos (vertido y refulado) (FREPLATA, 2005) y la generación de ruido (UNEP, 2012). En ocasiones se utilizan explosivos para la remoción de estructuras u obstáculos en obras marinas, que constituyen fuentes locales de ruido. Las operaciones de dragado, al igual que otras obras de infraestructura marítima, son poco frecuentes en el área de análisis y se realizan fundamentalmente en el RdlP.

Discusión y conclusiones

Se identificaron los principales aspectos y potenciales impactos ambientales asociados al tránsito marítimo, la pesca, el transbordo de cargas, los cables submarinos y la exploración de hidrocarburos dentro del área de análisis y los potenciales impactos (transfronterizos) en el área por las descargas de contaminantes químicos y residuos en la cuenca del Plata. En general, estos aspectos ambientales están bien documentados en la literatura técnica internacional, pero en el ámbito nacional existe un conocimiento incompleto y fragmentado sobre sus efectos y sobre cómo y en qué medida comprometen el estado de conservación del área.

La soberanía de Uruguay sobre su territorio marítimo conlleva un compromiso con su conservación y uso sustentable, lo cual es imposible de lograr sin información. El proyecto FREPLATA, llevado adelante hace veinte años, es el antecedente más comprehensivo para la gestión ambiental de esta región, por lo tanto, es necesario investigar con mayor continuidad, planificación y objetivos consensuados. A la vez, la investigación debe

contemplar objetivos más específicos de conocimiento, teniendo en cuenta que las necesidades de información evolucionan y se transforman con el conocimiento y con las prioridades en materia ambiental. Hasta el momento, la investigación ha estado centrada en la caracterización de procesos naturales, como el clima y la oceanografía física, o de especies o hábitats de interés, emblemáticos o carismáticos, o sea, el medio receptor físico y biológico. Para la gestión ambiental es necesario caracterizar también las fuentes de contaminación o interacciones potencialmente dañinas derivadas de usos y actividades humanas, porque esto permite diseñar medidas de gestión para prevenir, reducir o mitigar los impactos asociados. Por ejemplo, en los sitios de particular relevancia ecológica definidos recientemente por el Ministerio de Ambiente es imperativo cuantificar todas las presiones antrópicas y su impacto en los objetivos de conservación específicos.

Con relación a los impactos transfronterizos, se han realizado estimaciones de las descargas en la cuenca del Plata, campañas regionales y programas de monitoreo para el análisis de contaminantes químicos en agua, sedimentos y biota. En tal sentido, es necesario integrar el conocimiento sobre la circulación de agua y sedimentos, identificar cómo influyen en el transporte de los contaminantes y residuos, y conocer el estado de los potenciales sitios de acumulación, como la Barra del Indio en el RdlP y el cinturón de barro en la plataforma Atlántica. Asimismo, por su volumen de uso en la región, persistencia o toxicidad, sería interesante estimar las descargas de fertilizantes, productos de uso veterinario y agropecuario y productos farmacéuticos, cuya situación es muy poco conocida.

Las áreas de alto tráfico, como el corredor de aguas seguras y las zonas espera, fondeo, transferencia de cargas y maniobras marítimas, son sitios prioritarios para la investigación sobre los potenciales impactos del tránsito marítimo, de forma de saber si las descargas de aguas de lastre, sentina, grises y negras, pinturas antiincrustantes, residuos y eventuales derrames han provocado una afectación local del ambiente marino. Son también sitios prioritarios para analizar las interacciones físicas de los buques con la fauna marina, tanto el ruido como las colisiones, en especial para especies con mayor prioridad de conservación y que tienen una mayor concentración en determinadas áreas y temporadas.

Existen carencias sustantivas de conocimiento con respecto a algunos aspectos ambientales analizados. En referencia a las emisiones a la atmósfera y la generación de ruido por tránsito y operaciones marítimas, es posible avanzar en estimaciones a partir de modelos y, eventualmente, realizar mediciones para validar esos resultados. Los residuos marinos de origen continental, en particular plásticos, son un problema creciente para el RdlP y el territorio marítimo uruguayo, y es necesario un mayor conocimiento en cuanto a su generación, transporte y acumulación, incluyendo el análisis de aquellos residuos generados en la pesca y el tránsito marítimo. Las estimaciones de emisiones atmosféricas, ruido y residuos deberían, además, identificar áreas críticas, donde el impacto es potencialmente mayor o donde existe mayor vulnerabilidad.

La regulación nacional para la conservación del territorio marítimo, en general, está centrada en el cumplimiento de acuerdos multilaterales ratificados por Uruguay. Los convenios internacionales permiten gestionar varios de los aspectos identificados en este capítulo, aunque tienen limitaciones en su alcance, una diversidad de complejidades en su implementación y control, y son de naturaleza reactiva. Por lo tanto, son instrumentos necesarios pero insuficientes para la conservación del ecosistema marino en el área de análisis. Se necesita orientar la gestión a la promoción de usos y actividades humanas sustentables en este territorio y a la prevención y la reducción de los impactos transfronterizos. Se observa una gobernanza fragmentada del mar en el ámbito institucional (Ministerio de Ambiente, Armada Nacional, Dirección Nacional de Recursos Acuáticos), una asimetría en los conocimientos y capacidades, y potenciales conflictos de interés en las instituciones que tienen objetivos productivistas que van en dirección opuesta a sus competencias en conservación ambiental. La planificación espacial marina es un asunto que ha sido abordado y reclamado desde la academia, y se la entiende como un instrumento necesario para la gestión ambiental del territorio marítimo uruguayo, para lo cual deben resolverse estos asuntos de gobernanza.

En cuanto a la contaminación transfronteriza, no se observan avances significativos en medidas de gestión ambiental coordinada entre Argentina y Uruguay, en el ámbito de las comisiones binacionales y alineadas con las recomendaciones derivadas de FREPLATA, más allá de trabajos conjuntos en monitoreo ambiental y regulación de la pesca y del transporte marítimo. Tal como expresan algunos autores, es necesario establecer objetivos comunes de conservación, articulación y cooperación con Argentina y Brasil, teniendo en cuenta los recursos naturales compartidos, como existen en otras regiones, entre ellas el mar Báltico, el mar del Norte y el Mediterráneo.

La aplicación de instrumentos como la evaluación de impacto ambiental y el sistema de permisos ambientales correspondiente sólo alcanza a unos pocos usos y actividades en el mar, en parte por las limitaciones prácticas y jurisdiccionales. En tal sentido, se hace necesario crear y adoptar instrumentos que promuevan la sustentabilidad ambiental de actividades como la pesca y el tránsito marítimo con un abordaje integrador, alcanzando todos los aspectos ambientales de dichas actividades, y definir mejores prácticas y tecnologías ambientales para actividades como los cables submarinos y el transbordo de cargas.

En el caso del tránsito marítimo, se han identificado ejemplos internacionales, como programas orientados a mejorar y certificar el desempeño ambiental de las compañías navieras y los puertos, la administración de rutas marítimas para evitar el solapamiento con áreas marinas protegidas o áreas sensibles por la presencia de especies vulnerables, la implementación de prácticas y tecnologías que reducen los impactos (ruido, emisiones, etc.) o la relocalización temporal de rutas para reducir la interacción física de los buques con la fauna marina.

En el caso de la pesca, se observa una oportunidad de armonizar las regulaciones y recomendaciones que han sido establecidas

con objetivos de gestión específicos, como la sobrepesca, la protección de aves, tortugas, mamíferos marinos y condrictios, y otras propias del tránsito marítimo, en un instrumento unificado que ayude a desarrollar pesquerías sustentables y considere todos los objetivos de conservación.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Gristo Savornin, P., 2024, Aspectos e impactos ambientales de usos y actividades en el territorio marítimo uruguayo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 371-435, doi: 10.70952/a8827tmuc4-3

Capítulo 4.4
Caracterización y perspectivas de la planificación espacial marino-costera en Uruguay

Fotografía de un albatros de pico fino (*Thalassarche chlororhynchos*) tomada durante la observación de fauna marina a bordo del buque R/V EM Leader. Campaña de electromagnetismo marino de fuente controlada (CSEM) desarrollada en las áreas 8, 9 y 13, operadas por BG, entre diciembre de 2014 y abril de 2015. Crédito: Philip Miller Rezk.

Capítulo 4.4
Caracterización y perspectivas de la planificación espacial marino-costera en Uruguay

Luciana Echevarría Fratti,[1] Rafael Tejera,[2,3]
Alberto Gómez,[3,4] Marcela Caporale[3] y Daniel Conde[5]

[1] *Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de la República*

[2] *Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República*

[3] *Centro Universitario Regional del Este, Universidad de la República*

[4] *Facultad de Derecho, Universidad de la República*

[5] *Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

Introducción

En este capítulo se aborda la temática de la planificación espacial marino-costera en Uruguay con una perspectiva amplia e interdisciplinaria y desde una visión que llamaremos "de la cuenca al mar", como forma de dar cuenta tanto de la complejidad espacial inherente a la temática como de los abordajes requeridos para el éxito de los esfuerzos de gestión del territorio marino-costero.

Inicialmente, se incluye el marco conceptual que introduce nociones fundamentales sobre planificación marina y otras formas de organización espacial, incorporando aquellas que comprenden también la costa, así como nuevos abordajes en apoyo al diagnóstico y a la toma de decisiones sobre planificación, con una visión territorialmente amplia. Luego, se presentan los antecedentes fundamentales sobre planificación espacial marino-costera en Uruguay, detallando las características de ese territorio, sus límites geográficos y jurisdiccionales, las áreas relevantes para la conservación ecológica y patrimonial, la categorización de usos y actividades, así como su espacialización. Asimismo, se tipifican las interacciones espaciales entre la tierra y el medio acuático, incluyendo las que ocurren entre los diferentes usos y actividades identificados, así como entre aquellas que vinculan esos usos y actividades con la conservación natural y patrimonial. Hacia el final del capítulo, se incluye un apartado donde se explicitan los principales desafíos y potenciales abordajes sobre política marino-costera en Uruguay, los posibles tipos de diseño institucional e impulsos políticos, así como los instrumentos de gestión. Finalmente, se

presentan las principales conclusiones del trabajo y un breve análisis de los desafíos y los principales aspectos emergentes para la planificación espacial marino-costera en Uruguay.

Esta contribución es una sistematización basada en varios trabajos previos realizados por los autores, entre los cuales se destaca el proyecto "Bases para la generación de una estrategia nacional de planificación espacial marina en Uruguay", llevado adelante en 2014 y financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República (Udelar); el convenio de capacitación Udelar - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), ejecutado en 2016, que tuvo como resultado una actividad de formación de técnicos en el ámbito de la planificación y ordenación espacial marina; y aportes de Echevarría (2015) y Echevarría *et al*. (2016, 2021). Estos antecedentes tuvieron como objetivo contribuir a generar las bases para avanzar hacia la elaboración de una estrategia nacional de planificación marino-costera, aportando reflexiones sobre la caracterización de los usos en el Río de la Plata y el océano Atlántico, así como sobre las visiones de las instituciones acerca de la temática y el modo en que podría avanzarse hacia ella en Uruguay.

Desde el punto de vista metodológico, en los trabajos mencionados se delimitó el universo de actores vinculados a la gestión del espacio marino, se realizaron entrevistas para determinar la percepción sobre la situación de la gestión actual del espacio marino-costero y sobre la necesidad de generar una estrategia nacional de planificación marino-costera, además de realizar un relevamiento de la normativa nacional y de los instrumentos regionales e internacionales asociados. También, se sistematizó la información disponible para la identificación de áreas relevantes para la conservación ambiental y las actividades y sectores, a partir de artículos y libros publicados, informes de impacto ambiental, tesis, bases de datos (por ejemplo, FREPLATA, 2005) y de varias instituciones (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos [DINARA], MVOTMA, ECOPLATA, entre otras).

En este capítulo, así como en esos trabajos, se tomó como base de datos espaciales la correspondiente al año 2016, para todos aquellos usos que tuvieran información disponible y gobernanza asociada. En el caso de la exploración de hidrocarburos, se tomó la base de la Ronda Uruguay Abierta para el año 2022, mientras que para la energía eólica marina y sobre los sitios prioritarios de conservación definidos por el Ministerio de Ambiente se tomó la información proporcionada por ANCAP en 2023.

Marco conceptual

La planificación espacial marino-costera desde la visión "de la cuenca al mar"

La dependencia de la zona marino-costera de sus cuencas de drenaje a través del flujo de agua, sustancias químicas y organismos, así como de complejas interacciones sociales y las problemáticas asociadas, es una realidad incuestionable (Ryabinin *et al*., 2019). Sedimentos y contaminantes llegan al océano

provenientes de las cuencas hidrográficas y pueden propiciar cambios significativos en el medio marino (contaminación, pérdida de hábitat, etc.), a la vez que mareas, olas y vientos del componente marino pueden afectar a las zonas costeras e incluso a zonas ubicadas a distancias considerables tierra adentro (intrusión marina, derrames de petróleo, etc.) (Shipman *et al*., 2018; Magris y Giarrizzo 2020).

Aunque menos intuitivos que la influencia de los procesos naturales y las actividades humanas de la tierra sobre el mar, también los procesos y actividades humanos en el mar influyen en los ecosistemas y las infraestructuras terrestres (erosión, navegación comercial, puertos, pesca industrial, etc.) (Pittman y Armitage, 2016). Esta interdependencia no debería ser desconocida a la hora de planificar estratégicamente estos territorios o de proponer soluciones a los crecientes problemas socioambientales marino-costeros (Nicolodi, 2021). Más aún, esta evidencia sugiere fuertemente que estas zonas deberían ser vistas y abordadas como una unidad.

Este reconocimiento ha llevado progresivamente al desarrollo conceptual del "continuo tierra-mar" (Smith *et al*., 2011) o de la visión "de la cuenca al mar" (Granit *et al*., 2017). El mantenimiento de procesos ecológicos y ecosistemas saludables requiere minimizar los posibles impactos originados en cada uno de los segmentos del continuo, que influyen en los demás (Tulloch *et al*., 2021). Para esto, es necesario enfrentar el desafío de identificar y entender las interrelaciones biofísicas y sociales clave entre estos compartimentos, focalizando y ajustando a ellas los objetivos de planificación y manejo, tanto en la dimensión espacial como en la temporal (Álvarez-Romero *et al*., 2015).

La planificación y la gobernanza de los ámbitos terrestre y marino son claramente disímiles como consecuencia de diferentes historias, prioridades, aproximaciones epistemológicas y marcos administrativos, institucionales y legales (Kerr *et al*., 2014). Ambas operan en diferentes regímenes de derecho y conllevan diferentes implicancias sociales. Mientras la gobernanza terrestre es experimentada y fuertemente controlada a escala local, el manejo del sistema marino es nuevo, no hay experiencia al respecto y tiende a ser controlado de manera central. La primera se aboca, principalmente, al control de derechos del espacio privado, mientras que el segundo se focaliza en el control de usos en un espacio común y público. Estas diferencias son, en ocasiones, tan extremas que vuelven difícil concebir un sistema unificado de planificación y gestión. Pese a esto, las interacciones socioecológicas entre estos ámbitos son tales que se asume que marcos de manejo exitoso no podrían operar en forma aislada. Más allá de las complejidades del desafío, la planificación pensada para el "continuo tierra-mar" presenta los claros beneficios de no compartimentar el abordaje, considerar la dinámica integrada y reconocer la complejidad social-ecológica para su manejo.

Por la referida complejidad, históricamente la planificación se ha remitido sobre todo al continente y la zona costera, mientras que el espacio marino ha quedado relativamente al margen, lo que resulta en conflictos y, en general, en fracasos de la gestión del conjunto. Entre estos esfuerzos, el ordenamiento territorial (OT), el manejo de cuencas

hidrográficas (MCH), el manejo costero integrado (MCI) y la planificación espacial marina (PEM) y su variante marino-costera (PEMC) han sido aproximaciones relevantes para abordar problemáticas socioambientales que, en diferente medida, han contribuido a comprender los problemas de las zonas marinas y costeras desde un enfoque sistémico e interdisciplinario. Sin embargo, todas han mostrado cierto sesgo temático, sectorial o espacial particular y no han focalizado concretamente en el "continuo tierra-mar" ni en los procesos que lo sustentan (figura 1).

El OT es un instrumento con décadas de experiencia que regula y promociona la localización de la población y el desarrollo de las actividades económicas y sociales en el territorio, tradicionalmente no acuático, de forma de mejorar la calidad de vida de la población y fomentar la integración social en el territorio, con previsión de las potencialidades y las limitaciones ambientales, económicas, socioculturales, institucionales y geopolíticas. El MCH es otro abordaje espacial tradicional, que comprende acciones que trascienden las barreras políticas de municipios y otras jurisdicciones, incluso países, con un fuerte concepto de cuenca y fundamentos ecosistémicos, para el aprovechamiento racional, la conservación y el uso múltiple de los recursos y el desarrollo humano, incluyendo la participación de las comunidades y el monitoreo de los efectos de las actividades antrópicas. El MCI ha sido instaurado de manera creciente a lo largo de tres décadas como un sistema integrador y con un fuerte enfoque holístico para la planificación y la gestión de los complejos problemas en la zona costera. Finalmente, la PEM es un instrumento creado en 2009 por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) para la gestión de conflictos y compatibilidades en el medio marino frente a las presiones del desarrollo y la conservación de la naturaleza.

La PEM es un proceso público de análisis y asignación del espacio y distribución temporal de las actividades en áreas marinas, para lograr objetivos ecológicos, económicos y sociales definidos mediante un proceso político (Douvere y Ehler, 2009; UNESCO, COI y Comisión Europea, 2021). Este proceso de planificación se aleja de la gestión sectorial autónoma para tener en cuenta múltiples objetivos, tanto económicos como ecológicos y sociales, reduciendo los conflictos sectoriales y promoviendo la convivencia y sinergias en el ámbito marítimo (Douvere y Ehler, 2009; EASME *et al*., 2019; Schultz-Zehden *et al*., 2018). Algunos de estos abordajes se superponen o se supeditan entre sí. Por ejemplo, muchos esfuerzos de planificación marina en países o regiones que no cuentan con planes formales de PEM han quedado incluidos en esfuerzos de OT o de MCI que han extendido sus planes hacia el espacio marino (Kidd *et al*., 2019).

En ese contexto, la PEMC podría considerarse como una variante de la PEM que incluye al espacio costero, manteniendo todas las otras características. En este capítulo nos referiremos a la PEMC, por las características netamente costeras de Uruguay, por la convicción de la necesidad de su inclusión en la planificación y como fomento de "la visión de la cuenca al mar" antes esbozada.

Como resultado del reconocimiento de la parcialidad de estas aproximaciones han surgido nuevos arreglos de planificación y manejo que abordan, de forma integrada,

la tierra y el mar. La visión "de la cuenca al mar" implica desafíos mayores al momento de planificar y gestionar, ya que requiere considerar simultáneamente las interrelaciones entre el área continental drenada por un sistema fluvial, los acuíferos asociados, los receptores aguas abajo, los deltas y estuarios, la costa, el mar adyacente, la plataforma continental y el océano abierto (Mathews *et al.*, 2019). Semejante desafío de focalizar en este continuo fue inicialmente abordado por el concepto de gestión integrada de áreas costeras y cuencas hidrográficas (ICARM, por sus siglas en inglés) (UNCHS, 1996; Coccossis, 2004). En la actualidad, este concepto y el de MCI se utilizan de manera indistinta para denotar la necesidad de una gestión integrada desde la cuenca hasta los entornos costeros y oceánicos.

Nuevos esfuerzos conceptuales e instrumentales van incluso más allá, abordando el referido continuo pero desde las interacciones de índole bidireccional que ocurren entre los compartimentos marino y terrestre. Se destacan en este sentido los conceptos de *source to sea system* y *land-sea interactions* ('sistema de la fuente al mar' e 'interacciones tierra-mar', respectivamente). Si bien en su denominación parecerían tener una mirada unidireccional desde el continente al medio marino, ambas aproximaciones reconocen y aplican la bidireccionalidad antes mencionada en el análisis de los procesos implicados. Son estos los abordajes más avanzados, innovadores y desafiantes al día de hoy, si bien aún se encuentran en plena evolución conceptual y metodológica.

El concepto de "sistema de la fuente al mar" (Granit *et al.*, 2017; Mathews *et al.*, 2019) plantea que lo que ocurre en el continente (tierra, ríos, lagos y acuíferos) tiene impactos aguas abajo, alcanzado las costas y el océano, y que, por lo tanto, tener en cuenta estos vínculos redundará en mayores beneficios para todo el sistema. Este enfoque, con excepciones, no incluye explícitamente a los procesos biofísicos desde el océano al continente y su influencia se reconoce sobre todo a través de los servicios ecosistémicos asociados basados en procesos marinos y con beneficios en el componente terrestre. Los principios de esta visión holística pueden consultarse en la plataforma S2S.[1]

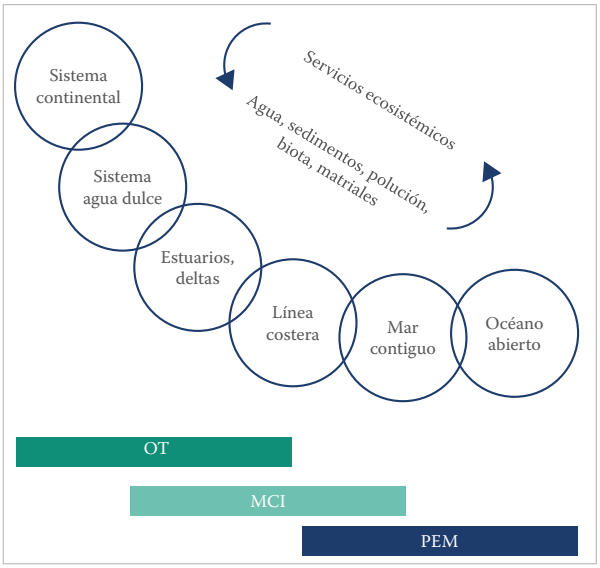


Figura 1. Segmentos que comprenden la visión "de la cuenca al mar" (adaptado de Mathews et al.*, 2019) y el concepto de interacciones tierra-mar (ITM). Se indican las principales aproximaciones espaciales de planificación y manejo mencionadas en el texto. Las flechas indican las ITM debidas a flujos (de agua, sedimentos, contaminantes, materiales, biota, etc.) y de servicios ecosistémicos, que conectan los distintos segmentos territoriales (OT: ordenamiento territorial; MCI: manejo costero integrado; PEM: planificación espacial marina).*

1 https://siwi.org/source-to-sea-platform/

Finalmente, la noción de "interacciones tierra-mar" (ITM o LSI, por sus siglas en inglés) es posiblemente el más nuevo, integrador y desafiante concepto-herramienta, en desarrollo en la actualidad, sobre todo en Europa. Da cuenta de la necesidad de considerar de manera simultánea las interconexiones de los fenómenos que se originan en el compartimento terrestre e influyen en el marino, y viceversa, incluyendo los flujos en ambos sentidos en las dimensiones biofísica, social, política y económica, así como sus dinámicas temporales (Pittman y Armitage, 2016; Shipman *et al*., 2018) (figura 1). En este abordaje están incluidas, como parte del contexto, las interacciones que ocurren exclusivamente en el mar (propias del análisis de la PEM), así como las que ocurren exclusivamente en tierra (propias del abordaje del OT), que puedan tener influencia directa o indirecta en las ITM estudiadas.

El análisis de las ITM tiene por objetivo orientar los procesos marco de PEMC, OT o MCI mediante la identificación de los elementos y procesos clave, tanto biofísicos como socio-económicos, que vinculan los componentes terrestres y marinos, contribuyendo a conectar ambas planificaciones y gestiones espaciales. Este análisis contribuye a comprender las amenazas y los riesgos que puedan surgir como resultado de las mencionadas interacciones bidireccionales.

A pesar de la alta relevancia y lo innovador del concepto, aún no se ha establecido o formalizado una definición y conceptualización única de las ITM en la literatura. En efecto, en diferentes lugares de Europa se ha avanzado en forma paralela en cuanto al desarrollo de metodologías y herramientas para la aplicación del concepto (ESPON, 2013). Algunos de los casos más avanzados en el uso de esta herramienta como soporte a la PEM se han desarrollado, por ejemplo, en el Mediterráneo oriental (proyecto Supporting Maritime Spatial Planning in the Eastern Mediterranean, SUPREME, Farella *et al*., 2018); el Mediterráneo occidental (proyecto Supporting Maritime Spatial Planning in the Western Mediterranean Region, SIMWESTMED, Ramieri *et al*., 2019); el mar Báltico (Pan Baltic Scope, Morf *et al*., 2022); y el Atlántico Norte europeo (proyecto Supporting the Implementation of Maritime Spatial Planning in the North Atlantic Region, SIMNORAT, Alloncle *et al*., 2019). En estos y otros casos, la divergencia de aproximaciones prácticas ha permitido enriquecer y diversificar el uso de la herramienta.

La planificación espacial marino-costera y la política marina hacia una economía azul sostenible

La PEMC, entendida como un proceso de apoyo a la toma de decisiones, contribuye al ordenamiento de las actividades y a facilitar el cambio hacia caminos sostenibles. El reconocimiento de la importancia de los sistemas marinos, a escala global y local, como reguladores del clima o como fuente de recursos naturales renovables y no renovables, también se proyecta en las expectativas de crecimiento económico y, por lo tanto, en el aumento en las presiones sobre el sistema. Así, una economía oceánica se puede definir como "marrón" —que revela un crecimiento insostenible— o "azul" —que revela un crecimiento sostenible— (Patil *et al*., 2018).

Tabla 1. Principales desafíos de la PEMC (adaptado de UNESCO, COI y Comisión Europea, 2021)

Usos y actividades	Desafíos de la planificación espacial marino-costera
Transporte y actividad portuaria	La PEMC es fundamental para garantizar que las rutas se mantengan libres de instalaciones fijas. Los procesos deben anticipar las futuras rutas de tráfico y las implicaciones espaciales de los buques. Es un sector regulado internacionalmente a través de la Organización Marítima Internacional (OMI).
Energía e infraestructura submarina	La PEMC puede identificar áreas de interés para energía eólica marina (en alta mar y en su conexión a tierra), analizando las sinergias potenciales con otros usos en alta mar, la interacción con otros sectores (potenciales conflictos), la aceptación social y los impactos ambientales (por ejemplo, el análisis de los corredores de aves migratorias).
Infraestructura (cables submarinos, gasoductos)	La PEMC puede prever conflictos con corredores de tuberías y cables. Una coordinación y definición de corredores de tuberías y cables puede influir en la disponibilidad general de datos, en el acceso y también en la disminución de conflictos con otros usos. Es necesaria la planificación para la coordinación y cooperación entre las autoridades nacionales y las autoridades marítimas.
Pesca	La pesca es un sector complejo, con diferentes subsectores (pesca artesanal, fondo, arrastre, pesca pelágica, etc.), y muchos de sus aspectos están regulados por acuerdos internacionales o binacionales. Las áreas de pesca deben incluir qué subsector (tipo de pesquería) está operando y para qué especie objetivo, y también proporcionar una referencia temporal, ya que la actividad puede ocurrir durante estaciones. La definición de los hábitats relevantes de conservación debe también debe ser tenida en cuenta. Los problemas de desplazamiento y la compensación son algunos de los temas relevantes que se pueden debatir con el sector en el marco de los procesos participativos de la PEMC.
Turismo y actividades recreativas	El sector del turismo y la recreación puede beneficiarse de la diversificación temporal impulsada por la PEMC en la dimensión temporal (asegurando la disponibilidad y accesibilidad de las conexiones intermodales durante todo el año) y espacial (asegurando un número sostenible de visitas y efectos sostenibles en el ecosistema), reduciendo los impactos ambientales. También puede brindar oportunidades para mejorar el desarrollo sostenible de comunidades costeras (por ejemplo, el caso del turismo pesquero).
Biotecnología marina o bioprospección	La PEMC puede contribuir a coordinar los recursos y el compromiso de los grupos de investigación para encontrar áreas validadas de operación de bioprospección a pequeña escala.
Secuestro de carbono	La PEMC puede aportar a la identificación de áreas de almacenamiento de carbono en aguas jurisdiccionales. La captura y el almacenamiento de carbono azul han pasado a un lugar destacado en la agenda política internacional y son un importante componente potencial de las estrategias de reducción de carbono, ya que los proyectos de investigación sugieren que su implementación es viable tanto técnica como comercialmente.
Áreas marinas protegidas	La PEMC podría mejorar el rendimiento de una red de áreas marinas protegidas (AMP) mediante la zonificación sinérgica, áreas de uso marino cercanas a las AMP o zonas de amortiguamiento alrededor de las AMP vulnerables. La PEMC podría proporcionar una perspectiva más amplia de cómo las AMP están anidadas dentro de un plan espacial marino y aumentar la representatividad ecológica a través de la protección de áreas importantes, incluidas aquellas no seleccionadas como sitios, donde se podrían proponer e implementar otras medidas de conservación.
Patrimonio cultural	La PEMC podría asegurar una mejor conservación del patrimonio tangible mediante el uso de zonas de amortiguamiento o medidas específicas, así como la identificación de usos compatibles y no compatibles con el patrimonio cultural. El patrimonio cultural marítimo y subacuático incluye rastros tangibles e intangibles de existencia. Los aspectos culturales intangibles son relevantes para la identidad social y cultural, y son importantes en los procesos de participación con los actores locales.

El escenario de optimismo ante los enfoques de la economía azul, definida como una economía oceánica en equilibrio con la capacidad, salud y resiliencia a largo plazo de los ecosistemas oceánicos, se manifiesta en paralelo a un aumento en la degradación del sistema climático y la biodiversidad oceánica. Surgen, entonces, desafíos sectoriales con relación a la PEMC, por ejemplo, en temas como la identificación de sitios para usos o actividades nuevas y emergentes, pero siguiendo un enfoque basado en ecosistemas, la mitigación de conflictos entre usos, la promoción de sinergias entre actividades, la identificación de vacíos de conocimiento y el fomento a la colaboración transfronteriza, entre otros. La tabla 1 presenta algunos de estos desafíos de la PEMC con relación a diversos temas sectoriales.

En complemento a la PEMC, otra figura a tener en cuenta es la de la política marina. Este abordaje supone generar formalmente estrategias de política para el espacio marino-costero que reúnan y coordinen las diversas intervenciones realizadas por distintas instituciones. En sus primeras ediciones esto puede no ir más allá de reunir en un solo lugar políticas y programas que el Estado desarrolla sin conexión entre sí, aunque situarlos juntos en una estrategia no implique haber alcanzado a articularlos (poner en diálogo sus planteos de problemas y objetivos, y potenciar mutuamente sus distintas líneas). No obstante, países que avanzaron en este proceso, como Brasil, pudieron, de manera paulatina, pasar a discutir de forma más integrada estas distintas intervenciones, a partir de haberlas visualizado y formalizado como conjunto. Del mismo modo, formalizar una política marina reuniendo estos distintos componentes no necesariamente implica que la PEMC sea parte de su agenda, pero supone avances hacia la articulación y puede, entonces, facilitar el logro de planteos a más largo plazo.

Planificación espacial marino-costera en Uruguay

Características del territorio marino-costero, límites geográficos y jurisdiccionales en el Río de la Plata y el océano Atlántico

Uruguay, junto con parte de Brasil, Argentina, Paraguay y Bolivia, forma parte de la cuenca transfronteriza del Río de la Plata. Esta cuenca, con una superficie de 3.209.000 km^2, es la segunda más grande de América del Sur, después de la del río Amazonas, y la quinta a escala mundial (CIC, 2016). Recibe tres extensos ríos con origen en Brasil: el río Paraná (4.200 km), el río Paraguay (2.600 km) y el río Uruguay (1.900 km), cada uno a su vez con largos afluentes (Muniz *et al*. 2019). El principal impacto antropogénico en esta cuenca hidrográfica es la intensificación de las actividades agrícolas de cultivo, pero también la producción de energía hidroeléctrica, el suministro de agua, la navegación, las actividades industriales y el aumento de la escorrentía, las que han conducido progresivamente a la degradación del suelo (Pérez *et al*., 2021a).

El estuario del Río de la Plata es el componente más significativo de la costa uruguaya. Es uno de los grandes estuarios del mundo, donde el agua dulce entrante se mezcla con las del océano Atlántico, produciendo fuertes

gradientes físicos y químicos que, a su vez, crean un sistema dinámico y biológicamente único (Acha *et al*., 2004; Menafra *et al*., 2009; Muniz *et al*., 2019) y con importantes patrones de variabilidad natural (Lucas *et al*., 2005). El sistema oceanográfico exhibe una interacción de aguas con salinidad, nutrientes y condiciones de temperatura contrastantes, lo que se relaciona con la confluencia de las corrientes de Brasil y de Malvinas en el talud continental, a unos 38° S, y se extiende hacia la plataforma continental que forma el Frente de Plataforma Subtropical (Piola *et al*., 2005; Pérez *et al*., 2021b). A su vez, la pluma asociada a la descarga del Río de la Plata se extiende a lo largo de la plataforma continental frente a Uruguay y Brasil (Burrage *et al*., 2008). El patrón de circulación está controlado a varias escalas por los vientos costeros, las descargas de agua dulce, la marea astronómica, la marea meteorológica y la batimetría (Fossati *et al*., 2014).

Los diferentes tipos morfológicos y sus ecosistemas, la fisiografía (islas, puntas rocosas, marismas, playas arenosas, barrancas, lagunas costeras) y la geología (fondos arenosos, limosos, arcillosos) generan una extensa variedad de hábitats que son utilizados por una gran diversidad de especies, lo que la convierte en una de las zonas más energéticas de las cuencas oceánicas globales (Barreiro *et al*., 2014). Estos diferentes tipos morfológicos y sus ecosistemas constituyen un invaluable patrimonio biológico, cultural y económico que sostiene numerosas y diversas actividades productivas (industriales, portuarias, agrícolas, forestales, turísticas, pesqueras, etc.) que, históricamente, han sido factor fundamental para el desarrollo social y productivo nacional (Genta y Piedra-Cueva, 2018).

El litoral costero de Uruguay, que corresponde a 440 km en el Río de la Plata y 220 km en el océano Atlántico, presenta crecientes amenazas y presiones de carácter antrópico, a diferentes escalas espaciales y también temporales, lo que genera distintos patrones de interacciones entre los componentes terrestres y marinos de las actividades (Menafra *et al*., 2009).

En los ecotonos en la interfase continente-océano se generan ambientes de alta productividad natural, como los bañados salinos, estuarios, deltas y otras zonas inundables de alta diversidad biológica, y representan elementos estructurales clave para el desarrollo territorial por los servicios ecosistémicos que proveen (Soutullo *et al*., 2012; Nin, 2013). A pesar de lo anterior, muchas veces no son tenidos en cuenta en los procesos de planificación, lo que ha implicado una afectación sensible de la calidad ambiental en extensos tramos de la costa. Esto, sumado a exposición a riesgos diferenciales relacionados con el cambio y la variabilidad climática (aumento en el nivel del mar, ocurrencia de eventos extremos, etc.), emerge como dimensión que debe ser tenida en cuenta en la planificación a largo plazo, ya que puede impactar en los procesos sedimentarios de erosión/acreción, provocar inundación de las zonas urbanas costeras y generar impactos en infraestructuras rígidas y, en general, cambios en la conformación de la línea de costa, así como en los procesos asociados a ella (Marengo *et al*., 2012).

En los capítulos 1.2, 1.3 y 1.4 de este libro se realiza una descripción detallada de los instrumentos que regulan la jurisdicción del país en el Río de la Plata y el océano

Atlántico, tales como el Tratado del Río de La Plata y su Frente Marítimo (TRPFM) y la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), de los cuales derivan los límites que se muestran en el mapa de la figura 2 y subsiguientes, así como los organismos encargados, tales como la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM). Asimismo, en el capítulo 3.3 se describe la zona común de pesca Argentina-Uruguay (ZCPAU) (figura 2).

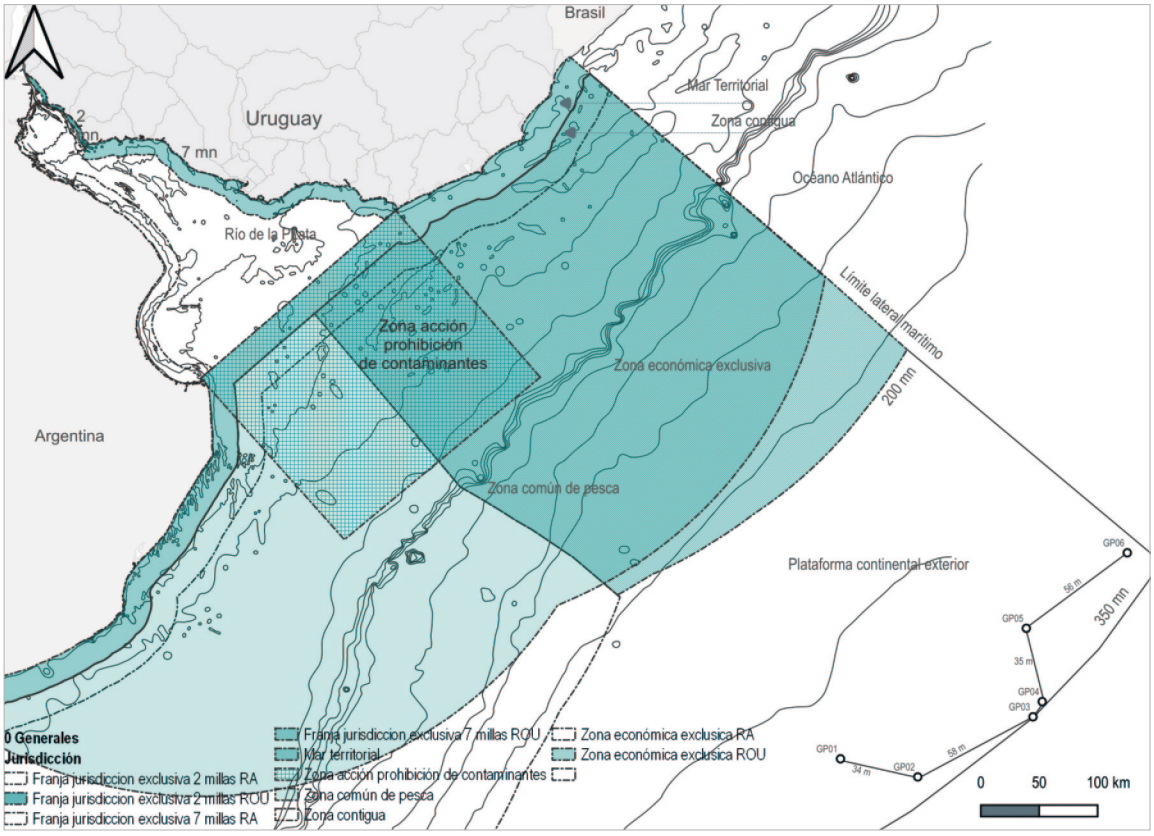


Figura 2. Jurisdicciones en el Río de la Plata y el océano Atlántico definidas a partir del TRPFM y la CONVEMAR. Se observa la franja de jurisdicción exclusiva, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental exterior (definida por los puntos fijos que se detallan en el capítulo 1.3 de este libro), la zona común de pesca y la zona económica exclusiva.

En el ámbito nacional, existen distintos tipos de zonificación de la costa según su objeto de regulación. Con relación a la conservación de la costa, el principal y más relevante es la faja de defensa de costas, establecida en el artículo 153 del Código de Aguas (Poder Ejecutivo, 1978). Con relación a la gestión integrada del espacio costero, la Directriz Nacional del Espacio Costero (Poder Legislativo, 2019) promueve la protección de los ecosistemas costeros y reconoce la gestión integrada del espacio costero como herramienta de manejo, incorporando la participación de diversas instituciones y actores sociales. Como

novedad, se extiende la faja de defensa de costas definida por la legislación vigente siempre que existan componentes vulnerables, identificados según la propia norma. Por otro lado, la Ley de Política Nacional de Aguas (Poder Legislativo, 2009c) incorpora el concepto de aguas de transición, descritas como las aguas que ocupan la faja costera del Río de la Plata y el océano Atlántico donde se establece un intercambio dinámico entre las aguas marítimas y continentales. Dispone que estas aguas son parte de los recursos hídricos nacionales, por lo que su gestión tendrá por objetivo el uso ambientalmente sustentable, entendiendo por sustentable la condición ambiental del sistema en el momento de producción, renovación y movilización de sustancias o elementos de la naturaleza que minimicen la generación de procesos de degradación.

Áreas relevantes para la conservación ecológica y patrimonial

En el Río de la Plata y el océano Atlántico, el Proyecto para la Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats (FREPLATA, 2005) definió cinco ambientes de relativa homogeneidad física, de salinidad y de profundidad: dulceacuícola, fluviomarino, plataforma interna, plataforma externa y talud continental. El ambiente dulceacuícola abarca la zona desde la cabecera del Río de la Plata hasta el oeste de Montevideo, en la costa uruguaya, y hasta Punta Piedras, en la costa argentina, y se define como agua con salinidad inferior a 2. El ambiente fluviomarino es una zona de mezcla entre las aguas el Río de la Plata y el océano Atlántico que por sus dimensiones es tratada como un ecosistema independiente, con salinidad en un rango de 0,6 a 25. Sus límites son Punta Rasa y Punta del Este, con una superficie de 19.723 km^2. El ambiente de plataforma interna se caracteriza por salinidades superiores a 25, extendiéndose hasta profundidades de 50 m aproximadamente. La plataforma externa presenta una suave pendiente desde 50 hasta 220 m de profundidad. Los patrones de circulación son variables y cambian estacionalmente, y las características del agua varían desde condiciones fluviomarinas en la zona de transición hasta condiciones netamente oceánicas sobre la plataforma continental. El talud es una zona que va desde profundidades de 221 m, en donde la pendiente se acentúa hacia el borde del talud, hasta 3.000 m de profundidad.

En los cinco grandes ambientes se identificaron zonas prioritarias con alto valor ecológico, a partir de una evaluación de la biodiversidad acuática (Brazeiro *et al*., 2003) basada en información sobre especies (carismáticas, bioingenieras, peces, moluscos y copépodos), procesos poblacionales (reproducción y áreas de cría de peces y aves), procesos ecosistémicos (biomasa "en pie" de fito y zooplancton) e información sobre hábitat (tipos de sustrato, ambientes oceanográficos, humedales).

Los trabajos referidos identificaron diez áreas principales distribuidas en ambientes de agua dulce, mixohalinos, costeros y oceánicos (figura 3). Se incorporó también la existencia de cañones en el ambiente de quiebre de la plataforma y el talud, cuya importancia ha sido señalada en términos de alta productividad biológica (Burone *et al*., 2013). De las 17 áreas que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), seis son costero-marinas (Cerro Verde, Cabo

Polonio, Laguna de Rocha, Laguna Garzón, Humedales del Santa Lucía e Isla de Flores) y cubren una superficie de 999 km^2 (Marín *et al*., 2021), mientras que la Isla de Flores es la única área protegida exclusivamente marina (MA, 2023).

Uruguay se encuentra aplicando mecanismos como la creación y planificación de las AMP, concebidas como un instrumento para la protección de la diversidad biológica (MA, 2023). Actualmente, existe una propuesta del Ministerio de Ambiente (2022b) para la selección y delimitación de nuevas AMP para su incorporación al SNAP. En el capítulo 2.5 de este libro se realiza una descripción de esta propuesta, que comprende ocho sitios destacados en el territorio marino uruguayo de particular relevancia para la conservación. Estos sitios contemplan intereses ecológicos e importancia ecosistémica y valores socioeconómicos, históricos, culturales y científicos Existen también otras acciones de conservación propuestas por la DINARA, como: el sistema de áreas piloto de manejo ecosistémico pesquero (Defeo et al., 2009); la zona de exclusión de arrastres de 7 millas y las áreas de veda monoespecíficas. La Ley n.º 19.128 (Poder Legislativo, 2013b) declara santuario de ballenas y delfines al mar territorial y la zona económica exclusiva del país e incorpora la prohibición y la penalización de agresiones y molestias intencionales a estos mamíferos marinos.

Desde el punto de vista de las áreas relevantes para la conservación patrimonial, la zona costera en estudio presenta diversos bienes culturales de valor patrimonial que dan cuenta de su ocupación y uso desde la prehistoria hasta el presente. Las aguas del océano Atlántico y del Río de la Plata albergan un valioso patrimonio arqueológico sumergido, caracterizado por una gran diversidad de sitios: asentamientos humanos prehispánicos (correspondientes a una época en la cual las oscilaciones del nivel del mar permitieron el asentamiento humano en sectores costeros actualmente sumergidos), infraestructuras coloniales y restos de embarcaciones desde principios del siglo XVI (correspondientes a los primeros viajes de exploración del Río de la Plata por navegantes europeos) hasta principios del siglo XX. Con base en relevamientos historiográficos, se estima que el número de naufragios en las aguas uruguayas se aproximaría al millar (Lezama, 1999). A excepción de un incipiente trabajo de FREPLATA (2005), la ausencia de un inventario sistematizado y actualizado del patrimonio subacuático a escala nacional se presenta como un desafío a la hora de identificar áreas relevantes para la conservación patrimonial. A eso debe sumarse, como apuntan Brum Bulanti *et al*. (2020), el hecho de que las investigaciones sobre arqueología subacuática en Uruguay son fruto de proyectos puntuales y se da cuenta de este particular patrimonio solamente para ciertas áreas muy concretas (por ejemplo, los trabajos realizados en la bahía de Maldonado por Lezama *et al*., 2015).

Los vacíos de información producto de las situaciones antes mencionadas, el desconocimiento de la presencia de estos bienes patrimoniales por parte de otros actores que hacen uso del espacio marino y el aumento del nivel del mar, entre otros, hacen del patrimonio subacuático de Uruguay un patrimonio en riesgo (Brum Bulanti *et al*., 2020). A ello debe sumarse que el patrimonio cultural sumergido no es contemplado

por una legislación específica, lo que da lugar a graves situaciones de expolio, muchas de ellas con el aval del Estado uruguayo. Esta situación se agrava por el hecho de que aún se está a la espera de la ratificación nacional de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático (UNESCO, 2002). Como consecuencia, se mantiene una profunda discusión pública, con instancias políticas y judiciales, sobre la apropiación y el destino final de los restos materiales de los naufragios rescatados por privados en acuerdo con la administración nacional.

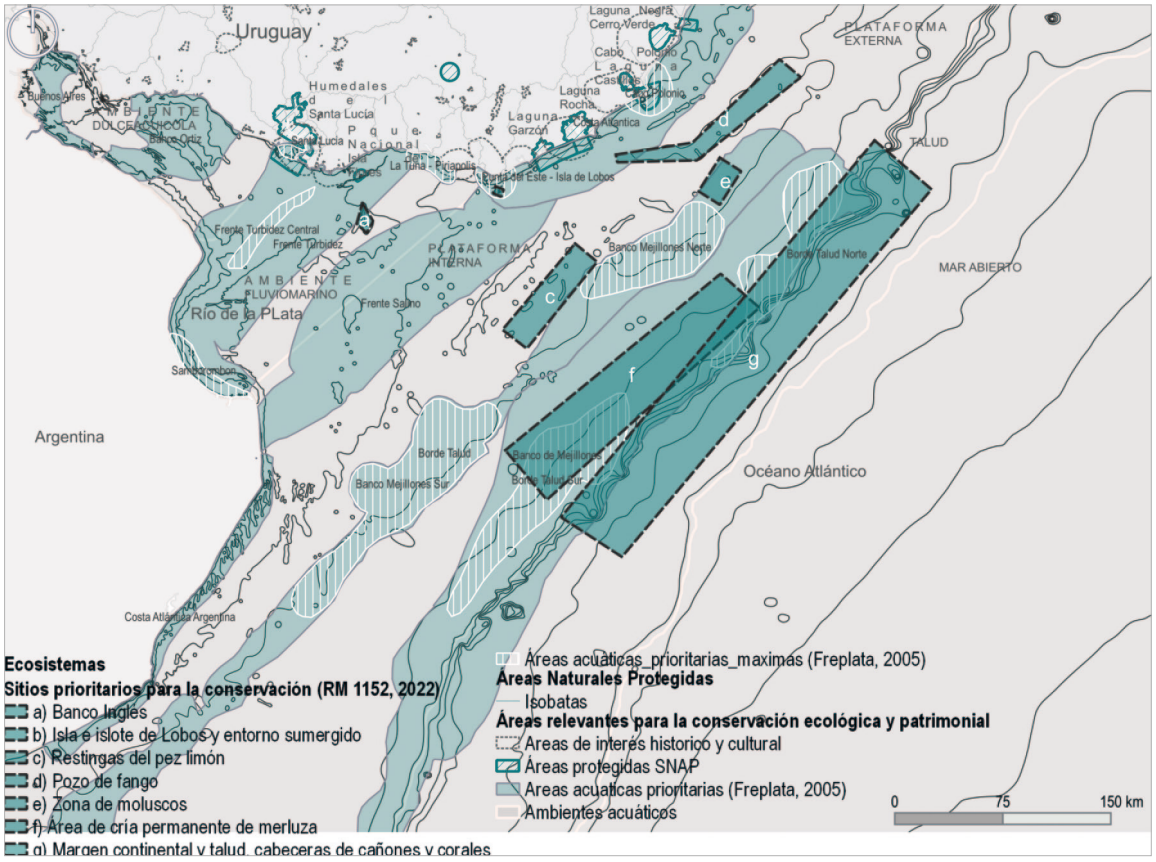


Figura 3. Distribución espacial de áreas relevantes para la conservación ecológica en el Río de la Plata y el océano Atlántico. Elaborado a partir de información del SNAP, del documento Zonas prioritarias con alto valor ecológico *(Brazeiro* et al*., 2003; FREPLATA, 2005) y de la propuesta de sitios prioritarios del Ministerio de Ambiente (2022b). Se indican y delimitan los ambientes: dulceacuícola (salinidad <2), fluviomarino (salinidad 2-25), plataforma interna (salinidad >25 y profundidad <50 m), plataforma externa (profundidad 50-220 m) y talud continental (220-2300 m).*

Identificación, clasificación y categorización de usos y actividades

A continuación, se presenta una caracterización de los principales usos identificados en la zona marino-costera en el Río de la Plata y el océano Atlántico en Uruguay (figura 4). Las implicancias en tierra de cada una de las categorías de uso se presentan conjuntamente en la tabla 2, mientras que la normativa nacional e internacional que regula cada categoría se presenta en la tabla 3.

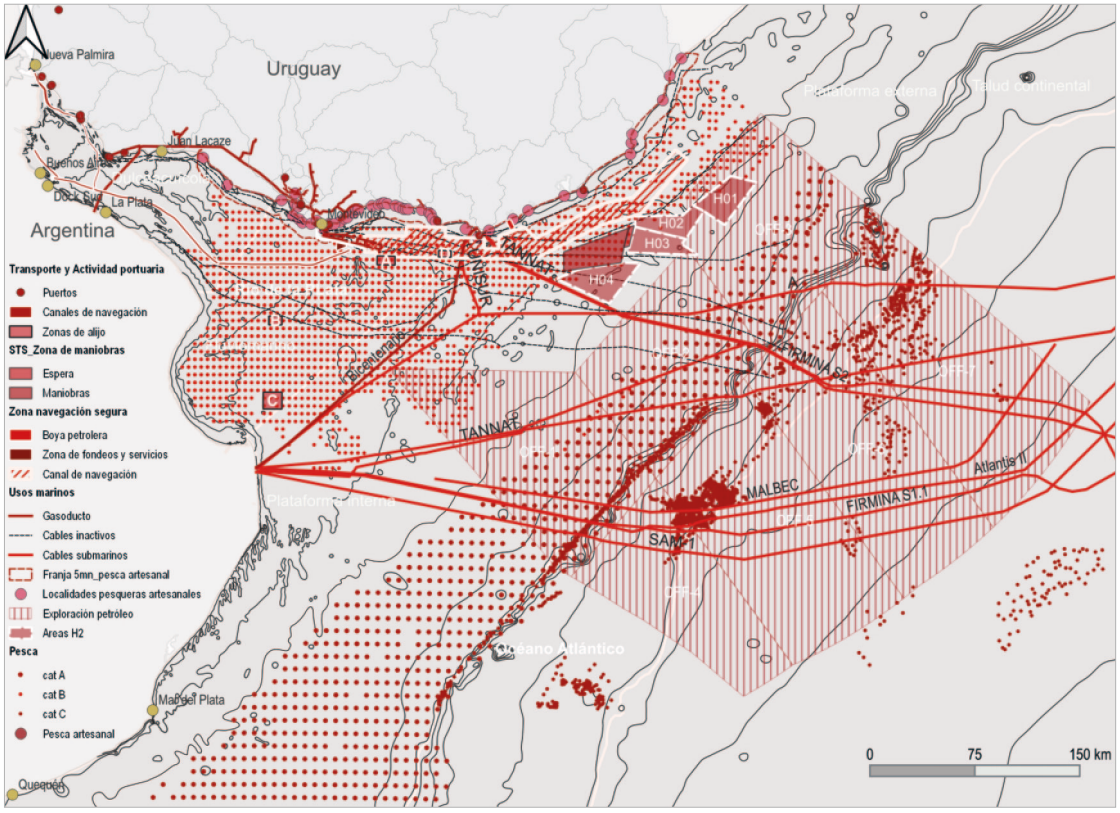


Figura 4. Distribución espacial de usos e infraestructuras en los cinco ambientes definidos para el Río de la Plata y el océano Atlántico por FREPLATA (2005).

Rutas de navegación y canales

El Río de la Plata y el océano Atlántico representan uno de los nodos principales del sistema regional de comunicación y de transporte de personas y bienes. El transporte marítimo internacional moviliza el 80% de la mercadería comercializada a escala mundial y el transporte por contenedores tiene una importancia determinante en las grandes cadenas de valor mundial. El Río de la Plata juega también un importante rol como nodo de corredores de transporte multimodal en el contexto de la creciente integración de los países del Cono Sur (FREPLATA, 2005). La navegación puede ser subdividida en dos subusos: transporte marítimo y zonas de alijo, y complemento y de transferencia de carga

(Echevarría, 2015). La entrada o salida del Río de la Plata se da a través del canal de navegación de 6 millas de ancho, denominado corredor de aguas seguras (SOHMA, 2023) (figura 5). Este corredor de navegación conduce con mayor certidumbre a todos los buques que llegan hasta el puerto de Montevideo, brindando seguridad a la navegación en el Río de la Plata y sus rutas de acceso (Armada Nacional, 2023). El área de fondeo es una zona de espera para naves programadas para atracar en los ríos Paraná o Uruguay y aumentó en tamaño de 236 a 600 km^2 entre 1977 y 2014 (Marín *et al.*, 2021).

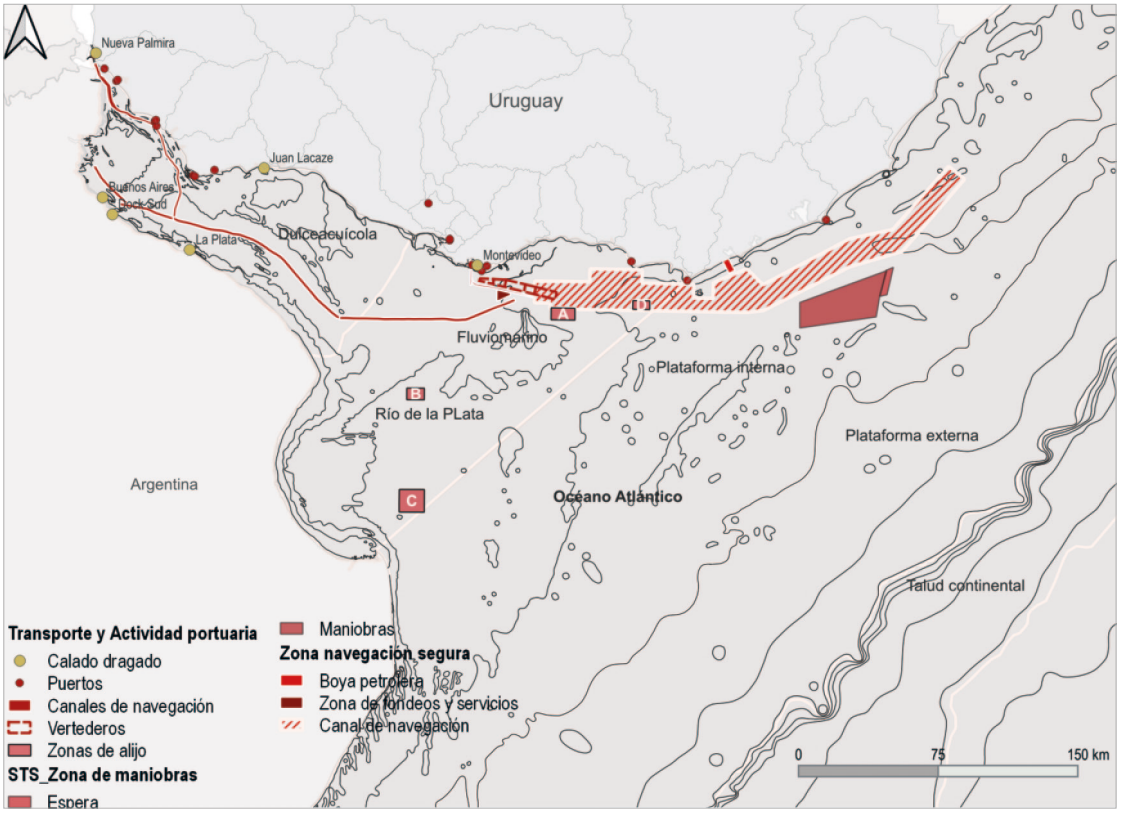


Figura 5. Distribución espacial de las rutas de navegación, canales y actividad portuaria en la zona de estudio (CARP, CTMFM).

Puertos

Los puertos constituyen las obras de infraestructura con mayor influencia en la dinámica y la evolución costeras y, en Uruguay, es posible ubicar un importante número de puertos comerciales y deportivos (figura 5). Entre las características del sistema portuario del país, se distingue la clara hegemonía del puerto de ultramar instalado en Montevideo (124 ha), con características específicas relacionadas con el movimiento de pasajeros y de mercancías, actividades pesqueras, náuticas y militares. Es el puerto de mayor dimensión y capacidad, con un rol preponderante en la economía nacional, así como en las presiones

territoriales que genera. Inauguró su infraestructura actual en 1909, aunque estaba en funcionamiento desde la época colonial (Fernández y García de Zúñiga, 2010), y continúa en constante transformación y extensión (ANP, 2021). Recientemente, se le han sumado 187 ha del puerto logístico Punta Sayago, al oeste de la bahía. En el año 2020 arribaron 3.286 buques, de los cuales un 30% corresponde a buques pesqueros de bandera nacional y un 16% a buques destinados al transporte de contenedores (ANP, 2021).

De los 14 millones de toneladas movilizados, más de 9 refieren a mercadería en contenedores, mientras que las categorías de carga general y granel cuentan con poco más de 2 millones de toneladas cada una (ANP, 2021). El puerto de Piriápolis es principalmente deportivo, mientras que el puerto de La Paloma tiene como actividades principales el apoyo, el alije, el rescate y los servicios como intermediarios entre proveedores nacionales e internacionales, y es también pesquero y deportivo. El puerto de Punta del Este es principalmente turístico, aunque alberga a algunos barcos pesqueros. Cabe señalar también que, si bien no son exactamente puertos, en esta categoría de usos se pueden incluir las instalaciones que reciben las descargas de los productos petrolíferos y sus derivados, la terminal marítima La Teja para hidrocarburos, donde se ubica la refinería de ANCAP, así como la boya petrolera de José Ignacio. El puerto de Juan Lacaze se ha consolidado como un puerto base para el transbordo de combustibles, conjuntamente con un puerto deportivo.

Dragado

Considerando el dragado y la descarga del material de dragado como un proceso artificialmente inducido de erosión, transporte y disposición de los sedimentos, las operaciones de dragado existentes en la zona marino-costera de Uruguay son: el acceso al puerto de Montevideo vía el Canal del Indio, el dragado para la profundización y ampliación del puerto, el dragado de mantenimiento para mantener la profundidad requerida de la infraestructura existente y el dragado de un nuevo canal en Argentina (ruta argentina a Buenos Aires, Magdalena) (figura 6). El puerto de Montevideo requiere un dragado continuo para estar completamente operativo; se dragan más de 60 km de canales, incluidos los muelles, alcanzando un volumen total de sedimentos de más de 17 millones de m^3 en un período de 5 años (García-Alonso *et al*., 2019). La transformación productiva del puerto y el sistema de cargas, el desarrollo de una terminal granelera (producto del crecimiento de la producción de soja desde comienzos de la década de 2000) y la construcción de una terminal para la exportación de celulosa (producto, a su vez, de la expansión forestal desde la década de 1990) han llevado a la necesidad de profundizar el dragado del puerto.

Energía eólica marina

La matriz energética de Uruguay está basada 98% en energías renovables, ya que ha evolucionado de la generación con base en combustibles fósiles hacia energía eólica, solar y de biomasa. Recientemente ANCAP ha propuesto 4 áreas para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables *offshore* (en particular, la instalación de parques eólicos marinos), las cuales ocupan una superficie de entre 600 y 800 km^2 cada una, y se ubican a entre 40 y 60 km de la costa, a profundidades de agua menores a 60 m (figura 7).

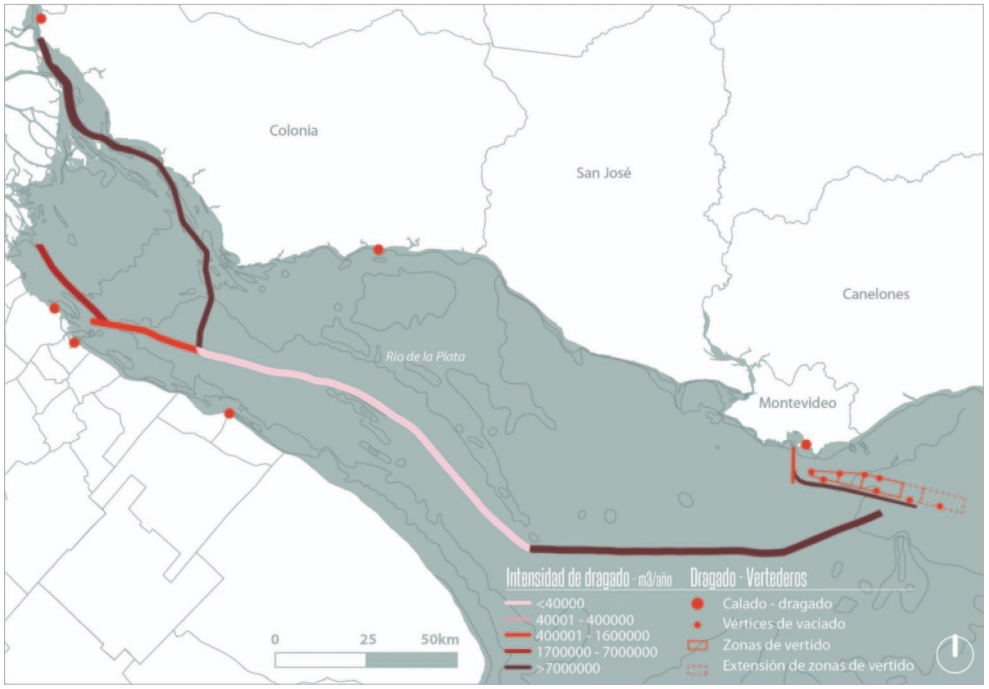


Figura 6. Distribución espacial de las actividades de dragado y vertido en la zona de estudio (elaboración propia con base en FREPLATA, 2005).

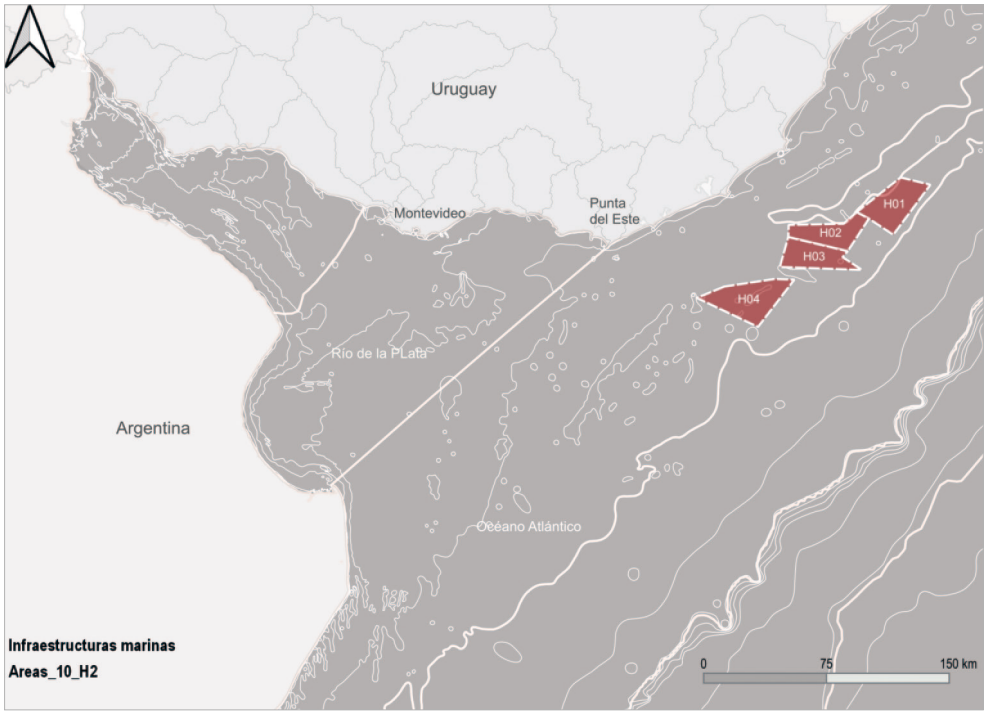


Figura 7. Localización del Programa Hidrógeno Uruguay (H_2U). Se indican las áreas propuestas por ANCAP para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables offshore.

Exploración de petróleo

ANCAP ha realizado exploraciones en busca de hidrocarburos en la zona económica exclusiva (ZEE) desde la década de 1970. Estas actividades han incluido campañas geofísicas, geoquímicas, ambientales y perforaciones, y a partir de 2002 se incrementó su frecuencia (ANCAP, 2022a, 2022b). A través de la Ronda Uruguay I (2009), la Ronda Uruguay II (2011), la Ronda Uruguay 3 (2018) y la Ronda Uruguay Abierta (a partir de 2019), se han ofrecido áreas para la suscripción de contratos de exploración y explotación de hidrocarburos en las tres cuencas marinas uruguayas (Oriental del Plata, Punta del Este y Pelotas). A principios de 2024 se habían firmado contratos en las 7 áreas ofrecidas por la Ronda Uruguay Abierta, que incluyen compromisos de un pozo de exploración en el área OFF-6 operada por APA, la adquisición de sísmica 3D en el área OFF-4, adjudicada al consorcio conformado por APA y Shell, y trabajos de gabinete en el resto de las áreas (figura 8). En el capítulo 4.5 de este libro se realiza una descripción más detallada de la historia de la exploración de hidrocarburos en el *offshore* de Uruguay.

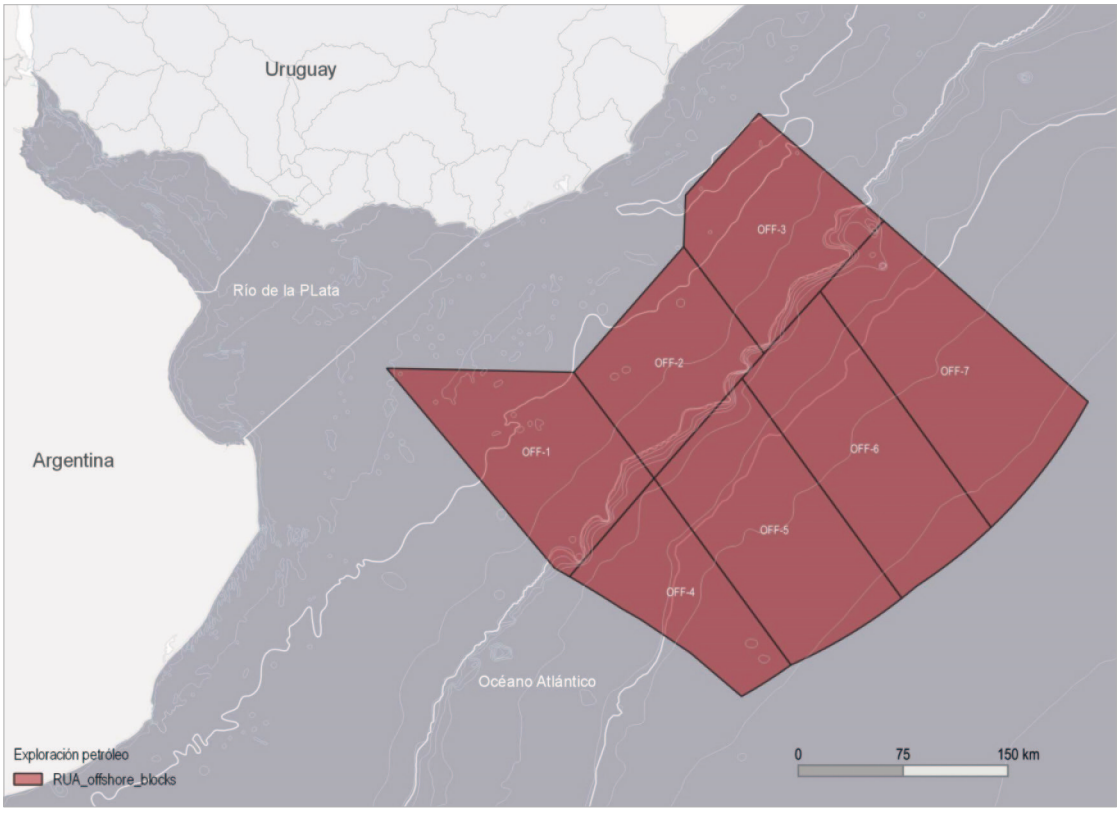


Figura 8. Distribución espacial de áreas offshore *para la exploración-explotación de hidrocarburos (Ronda Uruguay Abierta, áreas OFF-1 a OFF-7 actualmente con contrato) (ANCAP, 2022a).*

Cables y tuberías submarinos

El Río de la Plata y el océano Atlántico están atravesados por varios cables de telecomunicaciones y tuberías de gas que unen Argentina, Uruguay y otros países (Marín *et al.*, 2013). La mayor parte del recorrido de estos cables es bajo el sedimento, aunque en algunos sectores se apoyan directamente sobre el lecho. Existen cinco cables activos: Unisur (265 km, Telefónica, Antel Uruguay, 1995); SAC (20.000 km, South American Crossing, 2000); SAM-1 (25.000 km, Telefónica, 2001), Atlantis II (8.500 km, 2000) (Admiralty Charts, 2005; SHN, 2023); Bicentenario (250 km, Antel Uruguay, Telecom Argentina, 2011); y Tannat (2000 km, 2017). Los cables de comunicación submarinos establecen una red de 3.138 km (como fibra óptica), de los cuales el 69% está tendido en territorio uruguayo (Marín *et al.*, 2021). Asimismo, existe un gasoducto subfluvial que cruza el Río de la Plata, entre Punta Lara (Argentina) y Santa Ana (Colonia, Uruguay), con una longitud aproximada de 57 km, 24" de diámetro y 350 km de recorrido terrestre (figura 9).

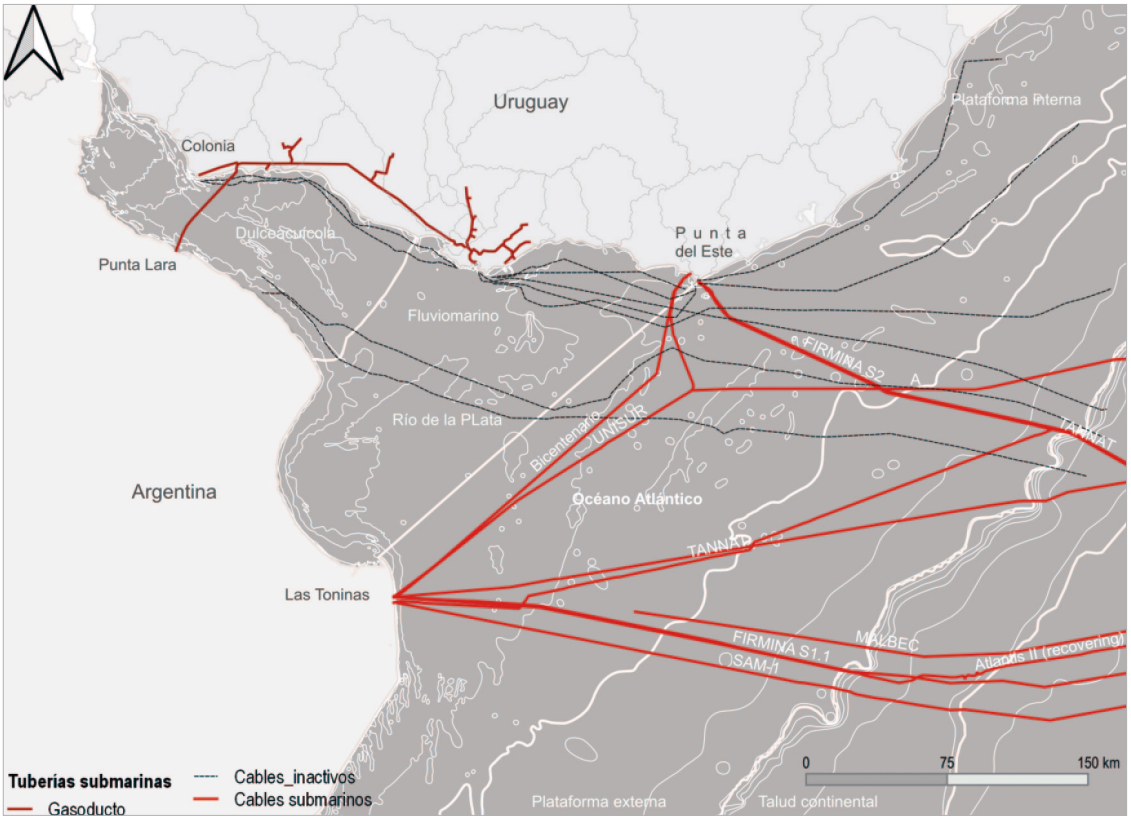


Figura 9. Distribución espacial de cables submarinos activos de comunicaciones en el Río de la Plata y el océano Atlántico. Se muestran los cables Tannat (Poder Ejecutivo, 2020a), Malbec (Poder Ejecutivo, 2022b), Firmina (Poder Ejecutivo, 2022), SAC, Atlantis II, SAM-1, Bicentenario y Unisur (SOHMA, 2020).

Pesca

Las principales actividades pesqueras en la zona marino-costera de Uruguay, según el Decreto n.º 149/97, incluyen la navegación hacia las diferentes zonas de pesca, la captura de especies, los intervalos entre los períodos de captura y el regreso al puerto de pesca. De las 22 principales especies explotadas, la merluza (*Merluccius hubbsi*), la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), la pescadilla (*Cynoscion guatucupa*) y el calamar (*Illex argentinus*) son las de mayor desembarque.

La flota pesquera se puede dividir en artesanal e industrial, y esta última, a su vez, en cuatro categorías, de acuerdo con la potencia de los barcos y los recursos explotados: categoría A, flota de altura dirigida a merluza; categoría B (33 permisos), flota costera que tiene como objetivo la corvina y la pescadilla; categoría C, flota dirigida a especies no tradicionales; y categoría D, flota que opera fuera de la ZCPAU (figura 10). En el período 2016-2018, el 87% de la flota utilizó artes de arrastre, en tanto que el restante 13% se divide en palangre y nasas, lo que muestra la poca diversificación de las pesquerías y una utilización exclusiva del arrastre de fondo en las categorías A y B.

En Uruguay, la pesca artesanal se realiza tradicionalmente en forma manual (recolección, pesca con redes de playa, etc.) o utilizando embarcaciones de pequeña eslora, de menos de 10 toneladas de registro bruto y escasa autonomía; se realiza en el mar, en zonas próximas a la costa o en lagunas costeras (Defeo *et al.*, 2009). Varios núcleos de pescadores artesanales se movilizan siguiendo el desplazamiento de los recursos, asociado al frente salino. Para las aproximadamente 50 especies explotadas, las mayores capturas se obtienen en Montevideo (principalmente corvina y lacha), siguiéndole Canelones (corvina y pescadilla), Maldonado (brótola y mejillones), Colonia (sábalo y boga) y San José (sábalo y boga). Se destacan los puertos de Pajas Blancas (Montevideo) y de San Luis (Canelones) por involucrar el mayor número de embarcaciones registradas (Defeo *et al.*, 2009). La flota artesanal para las zonas D, E, K y L (costera) está compuesta por 415 embarcaciones, de las cuales 40 son a remo y 375 a motor. Como arte de pesca utilizan la red de enmalle y el palangre de fondo (DINARA, 2020).

Existen evidencias de que numerosos recursos biológicos se encuentran plenamente explotados e incluso sobreexplotados (Defeo *et al.*, 2009) en la zona marino-costera de Uruguay, lo que de por sí limitaría la potencial expansión o la intensificación de las actividades extractivas. En el período 2016-2018, la merluza, la corvina y la pescadilla de calada fueron las principales especies desembarcadas, alcanzando en conjunto entre 74 y 77% del total de desembarque. Las exportaciones del sector pesquero y de otros recursos acuáticos en su conjunto representaron un 1,51% del total de bienes exportados en el año 2018, según datos publicados en 2019 por el Banco Central del Uruguay (DINARA, 2020).

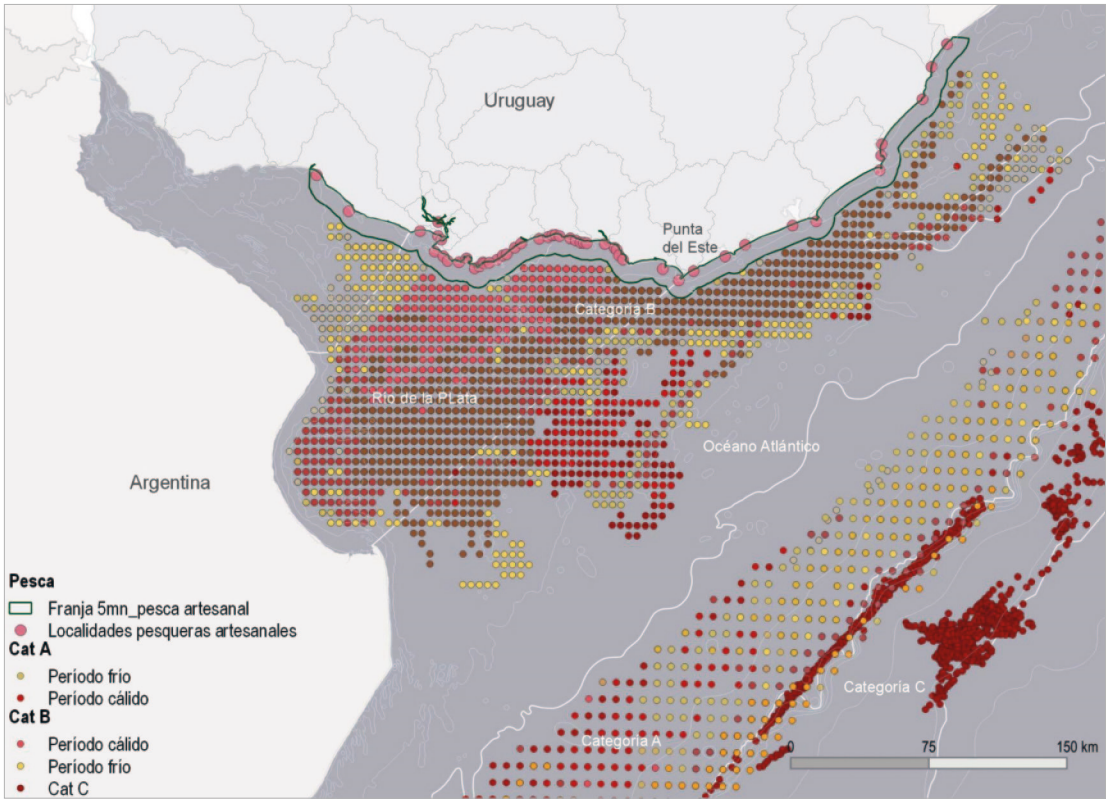


Figura 10. Distribución espacial de la flota costera uruguaya categoría A (flota de altura dirigida a merluza), B (pesca costera dirigida a la corvina y la pescadilla) y C (flota dirigida a especies no tradicionales) (elaboración propia a partir de Beathyate et al.*, 2006; Chocca* et al.*, 2007; y Marín* et al.*, 2013).*

Turismo tradicional y náutico

En Uruguay, el turismo residencial está muy vinculado al turismo de sol y playa en la franja costera rioplatense y atlántica (figura 11). Esta actividad económica se ubica entre una de las más importantes del país (en la temporada 2015-2016 ingresaron 1,4 millones de turistas del exterior, según Gadino y Taveira, 2020). Los principales atractivos turísticos culturales, de sol y playa, y también el turismo ecológico y náutico se encuentran en Colonia del Sacramento (declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO), Juan Lacaze, Nueva Helvecia, Rosario, La Paz y Colonia Valdense, en la zona oeste (en esta costa se organizan 18 regatas entre los meses de febrero y noviembre); en Montevideo; en la Costa de Oro, Canelones; en Piriápolis y Punta del Este (incluyendo Isla de Lobos e Isla Gorriti), Maldonado; y en La Paloma, La Pedrera, Cabo Polonio, Valizas, Aguas Dulces, Punta del Diablo, Santa Teresa y Barra del Chuy, Rocha.

El puerto de Punta del Este es el principal puerto deportivo del país y sede de múltiples eventos náuticos. Los principales recursos turísticos hacia el este se relacionan con el entorno natural, playas con oleaje idóneo para la práctica de surf y windsurf,

entre otros. Los principales atractivos se encuentran en las lagunas costeras de Rocha, Castillos, Garzón y Negra, que permiten la realización de actividades náuticas y de interpretación de la naturaleza. La pesca es un producto turístico importante en la región, así como la observación de cetáceos.

Otra modalidad turística es la de los cruceros, que desembarcan en los puertos de Montevideo y Punta del Este (con un total de 166 cruceros en la temporada octubre de 2019 - abril de 2020, de los cuales 118 arribaron al puerto capitalino, según datos del Ministerio de Turismo [MINTUR], 2020). Los turistas provenientes de cruceros son aproximadamente un 6% del total de y realizan un 0,4% del gasto (frente al 99,6% del gasto generado por el turismo receptivo tradicional) (MINTUR, 2018).

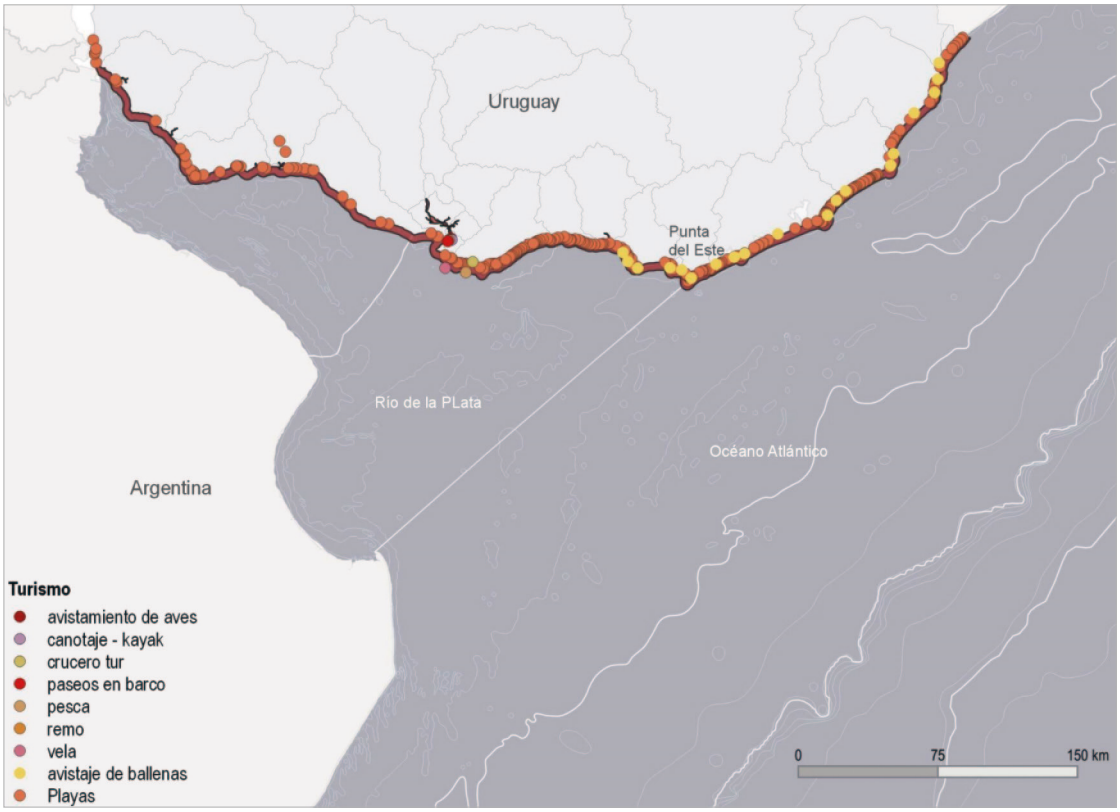


Figura 11. Distribución espacial de las principales actividades asociadas al turismo costero (Plan Nacional de Turismo Náutico de Uruguay, MINTUR, 2011, 2018).

Defensa y seguridad

El uso militar del Río de la Plata y océano Atlántico incluye diferentes tipos de ejercicios que se ejecutan en tierra y mar. Estos ejercicios son asignados a zonas específicas y aunque estas cubren una gran parte del territorio marítimo, la intensidad de los ejercicios es relativamente baja en comparación con los otros usos. Este uso está regulado

por la CONVEMAR y, en general, puede afirmarse que las cuestiones de defensa nacional suelen tener prioridad sobre todas las demás actividades marítimas. Las áreas de maniobras militares están bien definidas por razones de seguridad y restricciones, y las áreas de control corresponden a toda el área jurisdiccional. Es de destacar que el Ministerio de Defensa puede emitir áreas de exclusión temporal por actividades militares, ejercicios o emergencias, y que muchas de estas áreas no son de conocimiento público, por lo que no pueden ser adecuadamente mapeadas.

Tabla 2. Normativa internacional y nacional relevante referida a las categorías de uso indicadas en el texto

Categoría	Normativa
Rutas de navegación y canales	• CONVEMAR: dispone sobre derechos de los Estados ribereños, sobre el régimen jurídico del mar territorial (artículos 2 a 16) y el derecho de paso inocente (artículos 17 a 44) (Poder Legislativo, 1992b). • Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (Poder Ejecutivo, 1974): regula sobre uso del río y el aprovechamiento de los recursos. • Ley Orgánica de la Armada Nacional (Poder Legislativo, 1946). • Ley de Prevención y Vigilancia de la Contaminación por Buques (Poder Legislativo, 1994c). • Disposición Marítima 8 (PRENA, 1977): prohibición de vertidos de lavados de sentina y manual sobre contaminación petrolífera. • Disposición Marítima 109 (PRENA, 2006): refiere a aguas de sentina, lastre y deslastrado. • Competencia de la Armada en el control de los espacios costeros y la navegación deportiva (Poder Ejecutivo, 1991).
Puertos	• Código Internacional para la Protección de los Buques e Instalaciones Portuarias de la Organización Marítima Internacional (OMI, 2002). • Ley de Puertos (Poder Legislativo, 1992a): dispone la administración de puertos comerciales y no comerciales. • Reglamento de Uso de Espacios Acuáticos, Costeros y Portuarios (Poder Ejecutivo, 1991): dicta normas sobre uso de espacios portuarios.
Dragado	• Tratado del Río de la Plata y Frente Marítimo, artículos 17 a 22 (Poder Ejecutivo, 1974): regulan con relación a obras en el río y establecen la obligación de consulta a la otra parte para la construcción y administración de canales. • Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Poder Legislativo, 1994a; Poder Ejecutivo, 2005a): obliga a tramitar la autorización ambiental previa para la extracción de áridos en los álveos del río Uruguay, el Río de la Plata y el océano Atlántico, así como la construcción de nuevos canales de navegación. • Código de Minería (Poder Ejecutivo, 1982): regula sobre extracción de materiales por medio de dragado.
Energía eólica marina	• Ley de Uso Eficiente de la Energía (Poder Legislativo, 2009b): define a la energía eólica y mareomotriz como fuentes renovables no convencionales. Si bien no se ha instalado aún infraestructura eólica marina, el marco jurídico permite dicha actividad en todo el territorio nacional, considerando el cumplimiento de la autorización ambiental previa (Poder Legislativo, 1994a; Poder Ejecutivo, 2005b).

Categoría	Normativa
Exploración de petróleo y gas	• CONVEMAR, artículos 80 y 81 (Poder Legislativo, 1992b): regulan sobre derechos de los Estados a construir estructuras y a perforar en la plataforma continental. La actividad será alcanzada, además, por lo dispuesto en cuanto a navegación, contaminación, transporte de petróleo, etc. • Código de Minería, artículo 71 (Poder Ejecutivo, 1982): dispone la exclusiva competencia de ANCAP para la prospección, exploración y explotación de petróleo y gas. • Ley de Evaluación de Impacto Ambiental (Poder Legislativo, 1994a; Poder Ejecutivo, 2005b): dispone la obligatoriedad de la tramitación de autorización ambiental previa para la perforación minera y, eventualmente, la autorización ambiental de operación en un escenario de explotación. • Ley relativa a las competencias generales de la Armada Nacional (Poder Legislativo, 1946): refiere a las actividades de navegación conexas. • Ley sobre Prevención y Vigilancia de la Contaminación en el Río de la Plata y Frente Marítimo (Poder Legislativo, 1994c; PRENA, 1977): indica la prohibición de vertidos de lavados de sentina e incluye manuales sobre contaminación petrolífera. • ANCAP: responsable de la ejecución de políticas sobre explotación de hidrocarburos, administración general, licitación de bloques, integración de consorcios para exploración, investigación, etc.
Cables y tuberías submarinos	• CONVEMAR, artículo 58 (Poder Legislativo, 1992b): establece el derecho de todos los Estados al tendido de cables y tuberías submarinos sobre el lecho de la zona económica exclusiva y en el lecho de alta mar (artículos 112 a 115). • Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (Poder Ejecutivo, 1974) (Disposición 4/01): dispone la intervención de la CTMFM en el tendido de cables y tuberías, a través de un informe técnico sobre el impacto ambiental de las obras. • Disposición Marítima 128 (PRENA, 2011): dispone la prohibición de fondeo de artes de pesca a menos de 1 milla de los cables y tuberías. • Decreto n.º 100/91 (Poder Ejecutivo, 1991): Reglamento de Uso de Espacios Acuáticos, Costeros y Portuarios.
Pesca	• CONVEMAR, artículo 55 y siguientes (Poder Legislativo, 1992b): regulan sobre derechos de pesca en la zona económica exclusiva por parte de los Estados ribereños. • Pesca responsable (FAO, 1995): instrumento voluntario de buenas prácticas pesqueras. • Ley de ratificación del Acuerdo sobre Medidas de Pesqueros en Alta Mar (Poder Legislativo, 1999). • Ley de ratificación del Acuerdo sobre Medidas del Estado Rector de Puertos (Poder Legislativo, 2012d). • Ley de Recursos Hidrobiológicos (Poder Legislativo, 2014): dispone sobre investigación, conservación y explotación de la pesca y acuicultura.

Categoría	Normativa
Turismo tradicional y náutico	• Autorización ambiental previa (Poder Legislativo, 1994a; Poder Ejecutivo, 2005b): dispone la obligatoriedad del artículo 153 del Código de Aguas para las actividades u obras en la faja de defensa de costas. • Ley Orgánica Municipal (Poder Legislativo, 1935): vela por el cuidado de las costas y playas de cada departamento. • Ley de Ordenamiento Territorial (Poder Legislativo, 2008a); regula en lo relativo a instrumentos de ordenamiento territorial y protección de la faja de defensa de costas. • Reglamento de Uso de Espacios Costeros y Portuarios (Poder Ejecutivo, 1991): regula el uso de los espacios de playa para las distintas actividades.
Defensa y seguridad	• Ley Orgánica de la Armada Nacional (Poder Legislativo, 1946): establece como misión de la Armada Nacional la protección de la integridad territorial y la policía marítima de la República.

Tabla 3. Implicancias en tierra de las categorías de uso indicadas en el texto

Categoría	Implicancias en tierra
Rutas de navegación y canales	Refiere a las infraestructuras terrestres del transporte de mercancía, de pasajeros, de transporte marítimo de corta distancia y flota pesquera, asociadas a puertos comerciales, puertos deportivos, embarcaderos y pequeños puertos, y las conexiones hacia el interior (transbordo, sistema vial).
Puertos	Refieren a las infraestructuras portuarias y terrestres del área de influencia (*hinterland*) de cada puerto, por ejemplo, áreas de almacenaje y manejo de la carga en recinto portuario, infraestructura especializada, transporte terrestre (desde y hacia el puerto), vías de tren, rutas y sistema viario.
Dragado	Refieren a muelles, atracaderos, dársenas e infraestructuras costeras necesarias de apoyo para las embarcaciones involucradas, abastecimientos a las dragas en operación, traslado de maquinarias, materiales y operarios.
Energía eólica marina	Refieren a las conexiones a través de puertos, para la construcción, mantenimiento e instalación de los parques eólicos marinos y para la conexión a la red terrestre de energía (subestación, tendidos).
Exploración de petróleo y gas	Refieren a conexiones a través del puerto para mantenimiento y navegación para suministro de los buques, generando una presión mayor en el puerto.
Cables y tuberías submarinos	Refieren a las conexiones a través de puertos para la construcción, mantenimiento e instalación de los cables y tuberías submarinos, así como a la conexión a la red terrestre de energía y comunicaciones (subestación, tendidos, etc.).
Pesca	Refieren a las conexiones a través de puertos pesqueros y otros vínculos terrestres a lo largo de la cadena de valor de las pesquerías, asociadas al procesamiento y a la distribución.
Turismo tradicional y náutico	Refieren a muelles y dársenas portuarias asociadas al turismo náutico y de cruceros, infraestructuras, servicios y espacios vinculados al ocio, transporte, alojamiento, alimentación y entretenimiento, entre otros.
Defensa y seguridad	Refieren a la existencia de bases militares navales, muelles y dársenas, y diversas infraestructuras asociadas a su presencia en el territorio.

A modo de síntesis, es posible resaltar que contar con una caracterización del sector marítimo-costero de Uruguay, así como establecer el valor de cada una de las actividades y su peso relativo, entraña cierta dificultad debido al conjunto de actividades que allí tienen lugar. Además, desde el punto de vista de la gestión y el control de las actividades, existe una multiplicidad de instituciones y normas que las regulan, y, si bien existe una vinculación primaria de cada actividad a un marco normativo específico, la multiplicidad de actividades e instituciones y sus interacciones hace complejo identificar específicamente el universo normativo de cada caso concreto (tabla 2).

Existen usos históricos o tradicionales del mar, comunes a todos los países, como la navegación, los puertos e infraestructuras de defensa costera y la pesca, que se completan con otros usos surgidos del avance tecnológico a partir del siglo XIX, como la comunicación por cables submarinos, la recreación en el mar a través el turismo, la exploración petrolera y, más recientemente, la incorporación de la energía eólica marina como alternativa a la matriz energética (Mourmouris 2017; EASME *et al*., 2019; Bonnevie *et al*., 2019).

Se plantean tres tendencias con relación a los usos del espacio marino-costero (Echevarría *et al*., 2016). Por un lado, la consolidación de usos como la pesca, el transporte marítimo, el uso militar y la recreación y, por otro, la expansión de usos, asociada principalmente a aquellos que implican infraestructuras, como los cables submarinos, la defensa costera y las estructuras portuarias o potenciales infraestructuras, la explotación petrolera y los parques eólicos *offshore* o potenciales nuevos usos como la acuicultura. A su vez, todas estas actividades deberían poder coexistir con los ecosistemas marinos, lo que genera desafíos y requiere decisiones complejas.

Aquí se sostiene que el patrón de usos, actividades e interacciones identificado coincide, en general, con la superposición espacial de usos en franjas y la zonificación de ambientes determinada por FREPLATA (2005). Asimismo, los tipos de usos de la zona marino-costera de Uruguay coinciden, en general, con la literatura internacional, con énfasis diferentes según el grado de desarrollo local.

En las regiones donde estos usos están consolidados y son parte del uso intensivo del espacio marino, se ha generado la necesidad de regulación a través de normas de planificación territorial de ese espacio, con el objetivo de minimizar los conflictos potenciales. Al respecto, tal es el caso de la legislación en muchos países de Europa, así como en México, Canadá y Australia.

Se observa que los usos y actividades son desarrollados por una pluralidad de actores y sectores de interés, que, a su vez, son influidos por políticas y factores externos y por el mercado. Asimismo, estos usos y actividades también pueden estar influidos por planes sectoriales, como el Plan Maestro del Puerto 2018-2035 (ANP, 2018) y la Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde en Uruguay (MIEM, 2022). El aumento de las actividades marinas en Uruguay implica una competencia por el espacio y un aumento de la presión sobre los recursos naturales.

En este contexto, se han planteado cuatro tendencias con relación a los usos del

espacio marino-costero (Echevarría, 2015; Echevarría *et al*., 2016, 2021): la intensificación de usos (como el transporte marítimo), la consolidación de usos tradicionales (como la pesca, el uso militar y la recreación en el agua), la expansión de infraestructuras (como los cables submarinos, la defensa costera y las estructuras portuarias) y nuevos usos en fase de proyecto (como la exploración de hidrocarburos, la energía eólica marina, infraestructura submarina y la acuicultura). La mayor actividad marítima se registra en las zonas paralelas a la costa, que incluyen las franjas de jurisdicción exclusiva de 2 y 7 M en el Río de la Plata y la franja del mar territorial y zona contigua (*nearshore - offshore*) en el océano Atlántico, siendo la morfología costera un factor favorable para la concentración y el uso múltiple, coincidiendo con la proximidad de la isóbata de 20 m.

En cuanto a la localización de los usos y actividades en la región, se puede observar cierta especialización en la que influyen factores naturales (bióticos, hidrológicos y geomorfológicos) y antrópicos (localización de los puertos u otras instalaciones en tierra). Los distintos usos se valen del espacio de diferente manera; hay usos que requieren infraestructura fija en el mar, normalmente más permanente, de elevado costo y más difícil de trasladar (cables submarinos, tuberías, energía eólica marina, puertos), mientras otros usos implican la movilidad (turismo y actividades recreativas, pesca, transporte marítimo). De todos modos, la mayoría tiene implicancias en tierra (requerimientos infraestructurales, logísticos o de servicios), lo que implica también una presión sobre las áreas costeras (tabla 3). Si bien todos los sectores buscan ubicaciones ideales para sus actividades, algunos están más limitados en sus opciones que otros. La caracterización de los usos, el conocimiento de las necesidades y de las limitaciones espaciales de cada uno de ellos, y la identificación de los actores involucrados pueden contribuir a determinar de manera conjunta con quienes lleven adelante la PEMC tanto los límites de la adaptabilidad espacial de cada uno de los usos como las posibles restricciones y la identificación de las interacciones existentes o potenciales.

Se prevé que todos los usos analizados en el área de estudio se intensifiquen o expandan a mediano plazo, según la tendencia nacional (Marín *et al*., 2021) e internacional (Bonnevie *et al*., 2019), ejerciendo, por tanto, una presión cada vez mayor sobre el espacio marino, sus recursos y las áreas costeras adyacentes.

Identificación de las interacciones espaciales

La importancia de identificar y profundizar el estudio de las interacciones espaciales tierra-mar (ITM) que generan los conflictos en la zona marino-costera es fundamental, ya que donde existe superposición espacial o incompatibilidad entre usos diferentes los impactos necesariamente generan repercusiones en los ecosistemas implicados y en la organización económica y social del espacio marino-costero (Vallega, 1999). Esto obliga a considerar opciones para maximizar el uso del espacio sin dañar los servicios ecosistémicos vitales (Kannen 2014; Pınarbaşı *et al*., 2017; Rempis *et al*., 2018), mediante la gestión de medidas espaciales y temporales. Las medidas pueden ser, por ejemplo,

la asignación o exclusión de espacios para determinados usos, o la definición de condiciones generales o específicas para el uso de ciertas áreas o recursos. Esta compleja gestión debe considerar, además, las distintas dimensiones propias de los ecosistemas, que incluyen el lecho marino, la columna de agua y la atmósfera (Ehler y Douvere, 2009; UNESCO, COI y Comisión Europea, 2021).

En este sentido, el análisis de las ITM toma creciente valor como herramienta de apoyo, a pesar de sus complejidades e incertidumbres (CAMP Italy Project, 2017). Los resultados de estos análisis contribuyen a la resolución de interacciones espaciales que generan conflictos, independientemente de donde se encuentren en el ciclo de la PEMC, y, sobre todo, a la visualización de *hotspots* en los cuales profundizar las acciones de planificación y gestión.

Se presenta a continuación una identificación de las interacciones espaciales tierra-mar en el Río de la Plata y el océano Atlántico, como avance para la posible aplicación de la metodología ITM en la zona, para lo cual este análisis deberá ser profundizado luego de que se haya avanzado en ajustes metodológicos a escala regional. A estos efectos, es posible resaltar la existencia de tres iniciativas regionales que dan marco a ese desarrollo metodológico: el proyecto "Interacciones en la interfase tierra-mar" (CSIC-Udelar, I+D, 2020), el proyecto "Análisis del proceso interacción mar-tierra como base de la gestión integrada de zonas costeras y marinas: estudio comparativo entre Argentina y Uruguay" (Echeverría *et al.*, 2022) y la creación del Núcleo Interdisciplinario sobre Abordajes Interdisciplinarios para una Planificación Integrada de la Cuenca al Mar, en el Espacio Interdisciplinario de la Udelar (2023).

El presente análisis fue realizado con base en un mapeo de información disponible mediante sistemas de información geográfica (SIG) y un análisis espacial de los principales usos y actividades identificadas y su compatibilidad espacial (la compatibilidad se refiere a la capacidad de los usos marinos para ubicarse espacial y temporalmente juntos sin afectarse entre sí de manera negativa). Se identifican así cuáles interacciones espaciales generan potencialmente conflictos o sinergias, a partir de la literatura internacional y nacional (Douvere y Ehler, 2009; Tuda *et al.*, 2014; EASME *et al.*, 2019; Bonnevie *et al.*, 2019).

Se presentan en primer lugar las interacciones espaciales entre usos, con base en las categorías de la tabla 2 y, a continuación, las interacciones espaciales entre esas categorías de uso y las áreas relevantes para la conservación natural y patrimonial.

Interacciones espaciales entre usos y actividades

Esencialmente se consideran siete sectores de usos y actividades en el Río de la Plata y el océano Atlántico, en interacción actual o potencial con otros sectores. Estos cruces se detallan a continuación junto a las figuras que ilustran los casos, según cada ambiente de FREPLATA (2005) (Figuras 12 a 15 y los códigos espaciales asociados).

Interacción de rutas de navegación, canales y puertos con otros sectores (ver figuras 12 y 13):

- Con turismo: el turismo (cruceros, navegación de recreo y vela) genera tráfico marítimo, lo que representa un problema de seguridad para otros tipos de navegación. La presión de la expansión portuaria (longitud de muelles, profundidad), su desarrollo y su conexión con el interior mediante infraestructuras viales y ferroviarias que vinculan la actividad a escala nacional determinan una serie de interacciones que implican alteración del paisaje (disminución de la calidad visual y reducción de la línea de costa, dada principalmente por los contenedores y la zona de acopio). El creciente tráfico de cargas y la expansión del puerto en superficie lleva a replantearse la ubicación del resto de las actividades portuarias (área de la flota pesquera, el movimiento de pasajeros e incluso el área ocupada por la Armada Nacional).

- Con cables y tuberías submarinos: el fondeo de las embarcaciones puede dañar cables y tuberías (código B13).

- Con pesca industrial: la pesca implica la navegación, pero no sigue los patrones de navegación de carga y transporte de pasajeros. Se produce interacción por concurrencia espacial por pérdida de zonas de pesca. La flota mercantil está condicionada por las operaciones de la Armada; el tránsito es dirigido fundamentalmente en la zona costera uruguaya; el corredor de aguas seguras coincidiendo con la proximidad de la isóbata de 20 m a la costa, también es una zona muy utilizada también por los buques pesqueros (códigos B7, B9, B11 y B13).

Interacción de energía eólica marina con otros sectores (ver figura 13):

- Con rutas de navegación, canales y puertos: podría existir un potencial conflicto, ya que la proximidad con rutas de navegación aumenta el riesgo de accidentes.

- Con cables y tuberías submarinos: la infraestructura submarina podría generar un conflicto potencial debido al tendido de cables existentes, lo que puede dificultar la disposición espacial de los parques.

- Con puertos: podría haber una sinergia potencial, ya que los parques dependen de las cercanías de los puertos para brindar servicios de logística (fase de construcción y mantenimiento).

- Con pesca industrial: puede haber una interacción potencial de conflicto con la pesca por reducción de área (franja de servidumbre del tendido), así como las artes de pesca y fondeo que pueden causar daño a las turbinas y los cables entre las turbinas, o los barcos pesqueros pueden correr el riesgo de colisionar con turbinas. Algunos autores mencionan una posible sinergia potencial, ya que hay evidencia de que las poblaciones de peces pueden aumentar alrededor de los parques eólicos y los barcos pesqueros pueden ser capaces de explotar este recurso dentro o alrededor, dependiendo de las disposiciones reglamentarias (códigos B18 a B20).

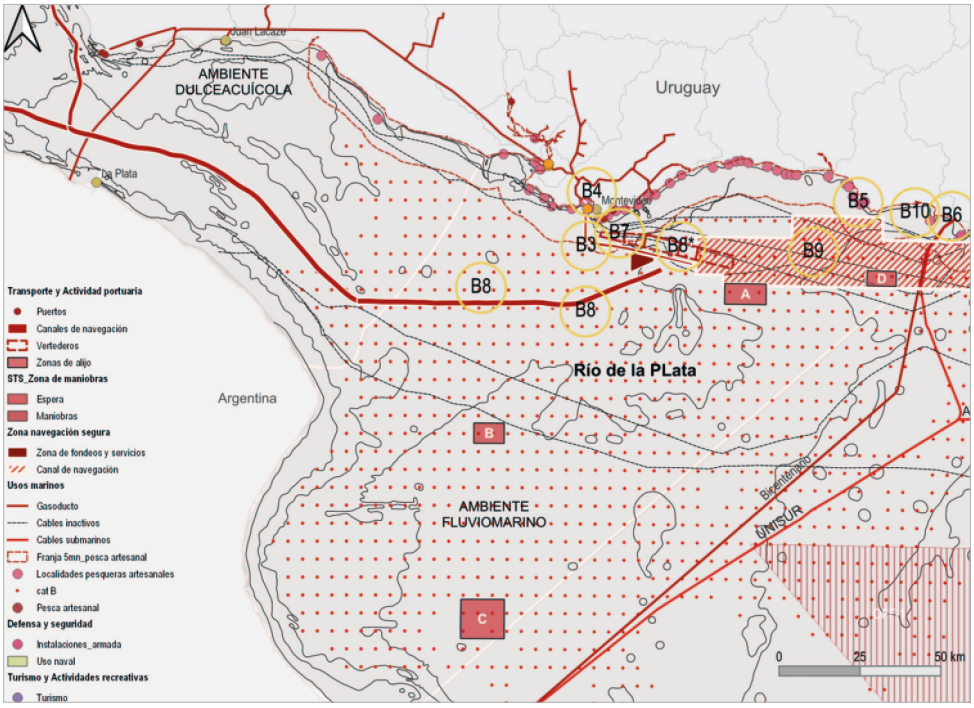


Figura 12. Principales interacciones entre usos en el ambiente fluviomarino en la zona de estudio (ver códigos en el texto).

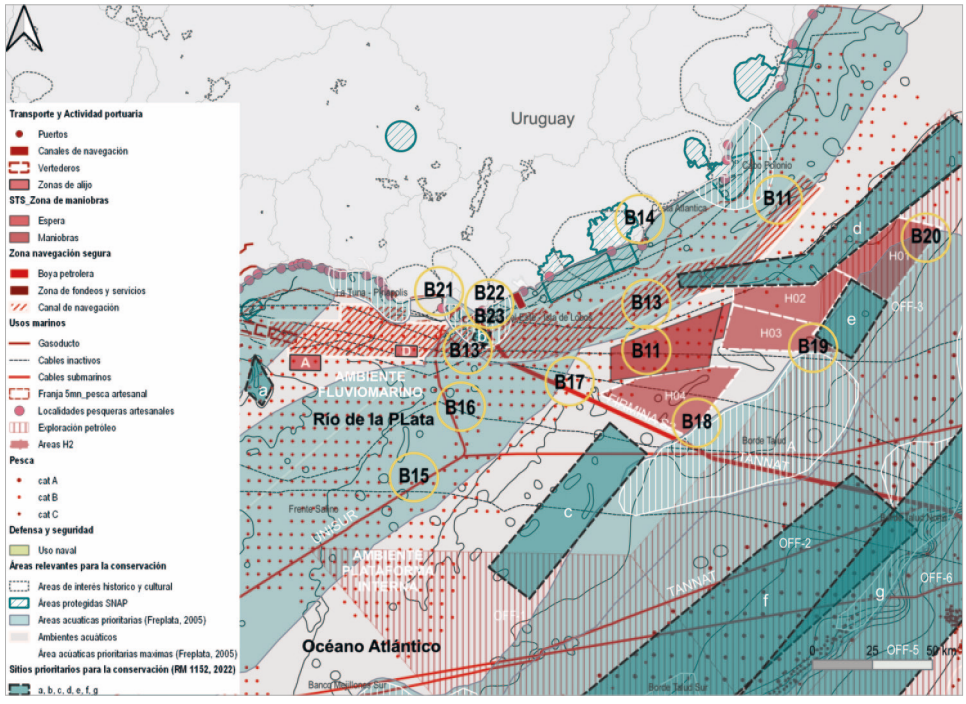


Figura 13. Principales interacciones entre usos en el ambiente plataforma interna (salinidad >25 y profundidad <50 m) en la zona de estudio (ver códigos en el texto).

Interacción de exploración de petróleo con otros sectores (ver figuras 13 y 14):

- Con rutas de navegación, canales y puertos: el desarrollo de esta actividad podría generar un uso más intenso de puertos en abastecimiento, mantenimiento y transferencia de hidrocarburos, y también se generarían zonas de exclusión de navegación alrededor de la infraestructura. Las actividades de desmantelamiento requerirán instalaciones en tierra para el desmantelamiento de plataformas marinas.

- Con cables y tuberías submarinas: la producción de petróleo y gas en alta mar representa la principal demanda de instalación y operación de tuberías. La instalación de nueva infraestructura necesita considerar las tuberías y cables existentes para asegurarse de que no se afecten.

- Con energía eólica marina: puede existir una competencia potencial en la demanda de desarrollo espacial, aunque sólo donde los recursos son adecuados para ambos tipos de desarrollo.

- Con pesca industrial: el desplazamiento de la actividad pesquera durante la instalación, el funcionamiento y el desmantelamiento, así como las zonas de exclusión de seguridad y el desplazamiento potencial durante la instalación de tuberías, conllevan a una reducción de las áreas de pesca (códigos B28 a B30, B35 y B36).

Interacción de cables y tuberías submarinas con otros sectores (ver figuras 13 y 14):

- Con rutas de navegación, canales y puertos: los cables y las tuberías pueden restringir el fondeo de barcos en ciertas áreas. Durante la instalación puede haber interacciones temporales; una vez tendido el cable, el transporte puede coexistir en espacio.

- Con energía eólica marina: la planificación de las áreas para energía eólica contempló el trazado de los cables submarinos existente, lo que resulta positivo porque pueden existir interacciones entre cables y la cercanía de las instalaciones de la energía eólica marina y la zona de exclusión. Puede también generar sinergias cuando se planifica.

- Con cables y tuberías submarinos: el daño o perturbación de nuevos cables a otros y a tuberías ya existentes, así como pueden existir restricciones de emplazamiento por cables existentes. Se requiere de medidas de protección cuando los cables se cruzan.

- Con pesca industrial: pueden existir posibles daños accidentales a cables y tuberías por anclas y artes de pesca al arrastrar la línea de cableado. Las restricciones espaciales alrededor de cables y tuberías generan una reducción de áreas de pesca a ambos lados del trazado en 1.852 m (1 M). Según el estudio de Marín *et al*. (2013), los porcentajes de concurrencia espacial de los cables submarinos fueron de 2,5% para la categoría de pesca A; de 1,4% para la categoría B; y de 2,6% para la categoría C (SAM-1 y Atlantis II) (códigos B15 a B17, B21 a B27 y B31 a B34).

Interacción de pesca industrial con otros sectores (ver figuras 12, 13, 15 y 14):

- Con rutas de navegación, canales y puertos: la intensificación del tránsito desplazaría el esfuerzo de pesca hacia otras zonas, no solamente por criterios de seguridad que hacen incompatibles las operaciones de pesca en zonas de tráfico (COLREGS, 1972), sino también por las zonas de operación y servicios que requieren los grandes buques mercantes donde la pesca está permitida (Marín *et al*., 2013) y también en áreas de dragado. El aumento de las zonas de fondeo en Río de la Plata genera interacciones de la pesca industrial, ya que se ubican en zonas tradicionales de pesca. Para Marín *et al*. (2013), la concurrencia espacial fue de un 28,6%, y las zonas con mayor concurrencia fueron al norte del Banco Inglés y el acceso al Río de la Plata (códigos B7, B9, B11 y B13).

- Con cables y tuberías submarinas: el fondeo y el arrastre de fondo está prohibido en áreas donde los cables y las tuberías no están sumergidas.

- Con energía eólica marina: puede existir una interacción potencial por espacio entre energía eólica marina y pesca industrial, porque requiere grandes áreas.

- Con exploración de petróleo y gas: puede existir interferencia con conflicto durante la fase de prospección y explotación en caso de accidentes petroleros en alta mar. Durante la fase de prospección, las especies comerciales podrían ser sensibles al sonido y las larvas de peces podrían morir por fuentes sísmicas.

- Con pesca industrial: los bloques definidos para la exploración de hidrocarburos (Ronda Uruguay Abierta) resultan especialmente relevantes por su extensión y por la superposición espacial con una intensa actividad pesquera. Según Marín *et al*. (2013), un 46,5% de la actividad de los pesqueros de la categoría de pesca A y el 70,5% de aquellos de la categoría C se encontraron en el área en el período de análisis (2011), además de incluir gran parte del área de veda de merluza definida regularmente por la CTMFM. En los bloques también se encuentran incluidas áreas de protección del cangrejo rojo (Marín *et al*., 2013). Algunas pesquerías de la categoría C se encontraron prácticamente incluidas en su totalidad en la zona de prospección (pesquerías de cangrejo rojo, cherna y rouget) (Marín *et al*., 2013) (códigos B28 a B30, B35 y B36).

Interacción de turismo con otros sectores (ver figuras 12, 13 y 15):

- Con pesca: la pesca artesanal y recreativa pueden atraer al turismo, mientras que la pesca recreativa puede causar daño a los ecosistemas y en muchos casos ambas compiten por recursos.

- Con cables y tuberías submarinas: por el cierre temporal de playas debido a la instalación y soterramiento de cables submarinos y segmentos de cables que emergen en playas (código B10).

- Con energía eólica marina: puede existir una interacción potencial de conflicto debido al impacto visual del paisaje costero relacionado con el turismo costero y de playa, por la visibilidad de los

parques eólicos marinos desde la costa, lo que puede reducir el atractivo del lugar. Podría haber una sinergia potencial, dependiendo de la distancia a la costa, las actividades recreativas que se pueden realizar cerca y el beneficio de la exclusión de actividades como navegación comercial y pesca.

En síntesis, los usos principales del espacio marino-costero de Uruguay hasta hace poco tiempo eran los usos históricos o tradicionales del mar, como la navegación, la pesca y el turismo. Recién en los últimos años aparecen nuevos usos que generan nuevos desafíos o podrían generar nuevos conflictos, particularmente una vez que se consoliden (por ejemplo, exploración petrolera, energía eólica marina), ya que implican infraestructuras fijas en el mar. Las causas de los posibles conflictos potenciales estarían relacionadas con la concurrencia espacial con usos ya existentes, el requerimiento de nuevas infraestructuras (por ejemplo, conexiones a la costa) y los impactos por la superposición con áreas acuáticas prioritarias para la conservación (derrames, descargas de agua de producción, abandono de estructuras, etc.). Ciertos usos afectan a otros de forma tal que no pueden coexistir y requerirían, por tanto, de la reducción de área de alguna de las actividades (por ejemplo, es el caso de la pesca con respecto otros sectores). Algunos de estos usos pueden ocurrir en el mismo sitio y ser compatibles, o incluso verse afectados positivamente (por ejemplo, pesca artesanal y recreativa con turismo). Sin embargo, en su mayoría, las necesidades de los usos, sean individuales o múltiples, se ven afectadas negativamente por la presencia espacial o temporal de otros usos. En este sentido, las interacciones espaciales cercanas a la costa son más comunes, visibles y variadas que las que se generan mar adentro.

Del análisis surge que los usos más frecuentemente involucrados en las interacciones identificadas en el Río de la Plata y el océano Atlántico son la pesca (categorías A y B), la navegación, la exploración de hidrocarburos y gas, y los cables submarinos. Las mayores interacciones entre usos están ubicadas principalmente en los ambientes fluviomarino y costero, y también en el ambiente de plataforma, por ser donde se concentra la mayor cantidad de actividades. Se considera que las interacciones generadas por los usos tenderían a no aumentar la ocupación del espacio, debido a que la mayoría ya ocupa actualmente grandes extensiones, sino que tenderán a intensificarse en las zonas que ya ocupan, con la excepción de la exploración de hidrocarburos, una actividad muy variable y en desarrollo, o las actividades nuevas proyectadas, como la energía eólica marina.

El aumento de la navegación y las estrategias de adecuación de los puertos permiten prever la circulación de más buques y de mayor tamaño a mediano plazo, tanto en el Río de la Plata como en el océano Atlántico. Esta intensificación desplazaría el esfuerzo de pesca hacia otras zonas, no sólo por criterios de seguridad (que hacen incompatibles las operaciones de pesca en zonas de tráfico), sino también por las zonas de operación y servicios que requieren los grandes mercantes. Adicionalmente, en ciertas condiciones, las zonas de alijo no serían suficientes y se requeriría ampliarlas, por ejemplo, en las cercanías de La Paloma, donde el tránsito es en particular intenso ya que convergen rutas desde y hacia el Río de la Plata procedentes del puerto de Río Grande (Brasil) y otros puertos (PRENA, 2017).

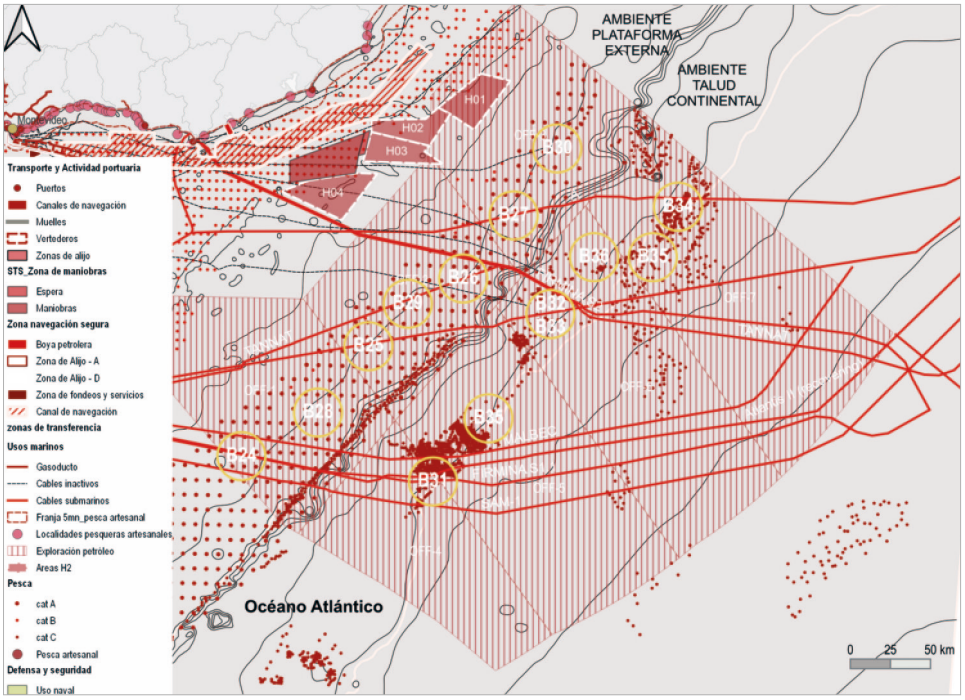


Figura 14. Principales interacciones entre usos en los ambientes plataforma externa y talud en la zona de estudio (ver códigos en el texto).

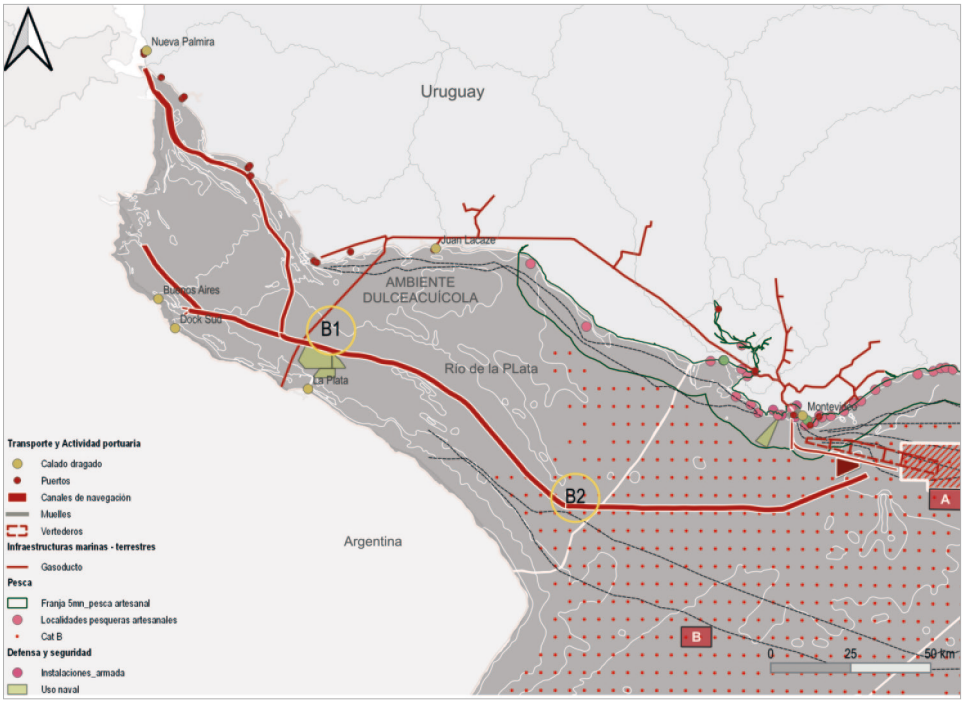


Figura 15. Principales interacciones entre usos en el ambiente dulceacuícola en la zona de estudio (ver códigos en el texto).

Los cables submarinos, operados por consorcios y empresas internacionales, son instalados sin planificación previa, con las consiguientes dificultades para prever sus consecuencias. Si bien se presuponen menos propensos a los conflictos, ya que existe una protección jurídica especial en la CONVEMAR, el aumento en Uruguay de la zona de prohibición de pesca de 0,5 a 1 M a cada lado de los cables submarinos, dada su distribución espacial (PRENA, 2011) y la prohibición de algunos tipos de artes de pesca y fondeo, genera una importante reducción de áreas de pesca.

Muchos de los usos que generan interacciones potencialmente conflictivas en Uruguay son incipientes, por lo que resulta importante anticiparse en la planificación y la gestión. Estos usos están asociados al uso del espacio marino con base en el viento *offshore*, la energía de oleaje, mareas y corrientes, la minería de aguas profundas, la búsqueda de nuevas materias primas no energéticas o la utilización de biomasa (Genta y Piedra-Cueva, 2018). Estos temas están (o estarán) en la agenda de los cambios de la matriz energética de Uruguay en un lugar prioritario. Ciertamente, muchas de estas actividades generarán conflictos por la competencia de espacio con otros usos, pero también por la afectación que estos usos generan en los ecosistemas y sus servicios.

Por otra parte, aunque la mayoría de las actividades que tienen desarrollo en el espacio marítimo-costero uruguayo tienen su regulación propia (por ejemplo, navegación, pesca, cables submarinos), que incluso establece pautas para mitigar conflictos con otros usos, en el caso de los nuevos usos aún queda un largo proceso a recorrer para el establecimiento de normas de regulación, particularmente con relación a las interacciones y sinergias entre usos (por ejemplo, las áreas definidas para energía eólica marina tienen en cuenta los trazados de los cables activos).

Por último, cabe señalar que procesos adecuados de PEMC podrían prevenir o mitigar los conflictos mediante acciones que busquen evitar la competencia espacial, asegurando que actividades incompatibles no ocurran en el mismo espacio o se afecten negativamente entre sí, tanto para aquellas actividades que ya están en funcionamiento como, en particular, para las nuevas.

Interacciones espaciales entre los diferentes usos y actividades con las áreas relevantes para la conservación

A continuación, se enumeran las interacciones espaciales entre los diferentes usos y actividades con las áreas relevantes para la conservación natural y patrimonial, en los cinco ambientes definidos oportunamente por FREPLATA (2005) para el Río de la Plata y el océano Atlántico, que se definen en la figura 3, incluyendo también las alteraciones ambientales y posibles impactos generados por las interacciones. Como apoyo gráfico, en la figura 16 se muestra una síntesis de la superposición de áreas para la conservación natural definidas para toda la zona de estudio con los principales usos y actividades identificadas en ese espacio marino-costero. Por su parte, en las figuras 17 y 18 se localizan con mayor grado de definición espacial las referidas interacciones espaciales, discriminadas por ambiente.

Ambiente dulceacuícola (ver figura 17):

En este ambiente se ubican las áreas acuáticas prioritarias: Buenos Aires (1.290 km^2), de elevada riqueza específica de zooplancton y bentos, y el Banco de Ortiz (3.698 km^2), con alta riqueza específica de plancton, bentos y peces. También es un ambiente asociado a la conservación patrimonial, pues es una zona donde está probada la existencia de bienes de valor histórico y cultural, aunque se requiere aún de la verificación de su estado de integridad (Echevarría *et al*., 2021).

Las principales interacciones espaciales están asociadas a la navegación, los canales (Canal Punta Indio, Canal Intermedio, canales a Martín García), puertos (Colonia, Juan Lacaze, puerto de yates de Colonia, atracadero de yates de Carmelo, dársena de Higueritas) y obras de dragado (profundización/apertura y mantenimiento), lo que estaría generando múltiples amenazas e impactos (por ejemplo, invasiones biológicas, floraciones algales nocivas, alteración de hábitats bentónicos y contaminación) (figura 17, códigos A1, A2 y A3). Otras interacciones se corresponden con la pesca artesanal (código A4, Arazatí, Rincón del Pino y Puerto Sauce) y la pesca industrial categoría B (código A5) en áreas acuáticas prioritarias.

Ambiente fluviomarino (ver figura 17):

Este ambiente incluye áreas de gran importancia ecológica, como las desembocaduras de arroyos, áreas acuáticas prioritarias, y el Frente de Turbidez Central (12.515 km^2), con elevada biomasa zooplanctónica y grandes abundancias de peces; el Frente de Salinidad (13.489 km^2), que resalta por la abundancia fitoplanctónica, zooplanctónica y de peces; las áreas protegidas humedales del Santa Lucía e Isla de Flores, y el sitio prioritario Banco Inglés (117 km^2), definido por el Ministerio de Ambiente (2022b).

Esta zona también está asociada a la conservación patrimonial, pues está probada la existencia de bienes de valor histórico y cultural (Echevarría *et al*., 2021). Al ubicarse casi toda la infraestructura existente en el Río de la Plata y el frente marítimo en este ambiente (por ejemplo, puertos, emisarios, infraestructura asociada al turismo de mar, la pesca artesanal y los cables submarinos Bicentenario, Unisur y Tannat), existen múltiples interacciones espaciales con áreas prioritarias para la conservación, debido a la alta intensidad de uso por la cercanía a la costa.

El puerto y las actividades de dragado establecen interacciones espaciales (códigos A6, puerto de Montevideo; A7, puerto de Buceo; A8, puerto de Piriápolis; A9, Canal Punta Indio; A10, canal de acceso a puerto de Montevideo y antepuerto; A11, zona de vertido, dragado puerto de Montevideo), con el área acuática prioritaria Frente Turbidez. Este uso genera plumas de turbidez, cambios en la calidad de agua, eliminación o alteración del hábitat y cambios en los patrones de oleaje. Se ha reportado que las operaciones de dragado han coincidido con el desove de la corvina blanca (*Micropogonias furnieri*) en zonas frontales y el efecto de material suspendido en huevos y larvas podría ser relevante (Marín *et al*., 2021).

Las estadísticas oficiales del transporte marítimo en el estuario del Río de la Plata muestran una tendencia relativamente constante con relación a los eventuales impactos

(García-Alonso *et al*., 2019). Las interacciones por navegación en el corredor de aguas seguras, zona de fondeo (códigos A12, A13 y A16) generan amenazas e impactos sobre el ambiente marino, como invasiones biológicas, floraciones algales nocivas, alteración de hábitats bentónicos y contaminación.

Las interacciones espaciales con pesca industrial categoría B (códigos A14, A17 y A21) y pesca artesanal (código A15) surgen por el conflicto con la conservación, causado por prácticas insostenibles como la sobrepesca (Milessi y Defeo, 2002) o la alteración de las comunidades y fondos marinos y los residuos pesqueros (FREPLATA, 2005). Las capturas incidentales de *Chelonia mydas*, que se observaron en los puertos de San Luis y Piriápolis, ocurrieron en zonas rocosas, poco profundas y durante el verano, cuando la disponibilidad de algas para alimentación es mayor (Lezama, 2009).

La contaminación puntual costera por aguas residuales, hidrocarburos (refinación del petróleo), transporte, actividades portuarias, metales pesados derivados de diferentes fuentes, entre otros, genera enfermedades y potencial mortalidad de organismos, reducción de abundancia poblacional, pérdida de especies y alteración de estructura comunitaria, con efectos en plancton, bentos y necton, y posibles efectos sobre la salud humana (Brugnoli *et al*., 2009). Particularmente, la bahía de Montevideo fue descrita como una zona altamente contaminada (García-Alonso *et al*., 2019).

Las interacciones con áreas relevantes para la conservación patrimonial y el dragado generan la alteración o la pérdida de registros del patrimonio histórico. Con respecto a los tendidos de cableado submarino (telecomunicaciones, proyecto de energía eólica marina), según el tipo de fondo y la profundidad, pueden conllevar acciones de remoción y movimiento de sedimento con potencial impacto sobre el registro arqueológico (Brum Bulanti *et al*., 2020).

Ambiente plataforma interna (ver figura 18):

En este ambiente, los peces y organismos bentónicos presentan la mayor diversidad en el área de estudio, la que se reduce tanto hacia la zona dulceacuícola como hacia la plataforma exterior (FREPLATA, 2005). Las áreas principales para la conservación son: el área acuática prioritaria "costa atlántica uruguaya" (7.693 km^2), la zona Punta del Este-Isla de Lobos (667 km^2), las áreas protegidas de Laguna Garzón, Cabo Polonio, Laguna de Rocha, Cerro Verde e Islas de la Coronilla, el pozo de fango (4.780 km^2), la zona de moluscos (395 km^2) y las restingas del pez limón (1.465 km^2) (Ministerio de Ambiente, 2022b). Los alrededores de Punta Ballena, Punta del Este e Isla de Lobos incluyen prioridades de conservación patrimonial, como área con probabilidad de aparición de bienes histórico-culturales, aunque, actualmente, su ubicación, caracterización y estado de conservación no se puede establecer con precisión (Echevarría *et al*., 2021).

Las principales interacciones espaciales con usos están vinculadas a infraestructuras (cables submarinos), la pesca artesanal (código A25) e industrial categoría B (código A24), la navegación (corredor de aguas seguras, código A23), dragado (código A26), puerto de La Paloma (código A22) y exploración de petróleo (código A30).

Existen evidencias de interacciones negativas entre la flota pesquera artesanal (redes de enmalle) e industrial por captura incidental de especies emblemáticas de tortugas marinas (tortuga verde, cabezona, siete quillas y olivácea) (Carreira *et al*., 2007; Defeo *et al*. 2009). Asimismo, se ha reportado captura incidental de aves, particularmente albatros ceja negra (*Thalassarche melanophrys*) y pico amarillo (*Thalassarche chlororhynchos*) y el petrel barba blanca (*Procellaria aequinoctialis*), y especies de mamíferos (Jiménez *et al*., 2010; Passadore *et al*., 2015; Franco-Trecu *et al*., 2019). A su vez, numerosos recursos biológicos se encuentran plenamente explotados e incluso sobreexplotados (Defeo *et al*., 2009) en la zona de estudio.

En esta zona ocurren actividades asociadas al tráfico marítimo, que generan impactos ambientales asociados a descargas químicas (aceite, aguas residuales, pintura antiincrustante, agua de lastre y basura marina), contaminación física (ruido subacuático, puertos, canales, dragados y naufragios) e invasiones biológicas (por ejemplo, la almeja asiática, *Corbicula* sp., y el mejillón dorado, *Limnoperna fortunei*) que generan exclusión competitiva de moluscos nativos, y efectos sobre las tomas de agua y tuberías (FREPLATA, 2005; GEO, 2008; García-Alonso *et al*., 2019; Brugnoli *et al*., 2021).

Ambiente plataforma externa (ver figura 18):

En este ambiente (50 metros hasta 200 metros de profundidad) el zooplancton presenta la mayor diversidad de la zona de estudio, lo que posiblemente esté relacionado con la existencia de una zona ecotono asociada a la confluencia de las corrientes de Brasil y Malvinas (Manta *et al*., 2022), rica en nutrientes y producción primaria. La zona frontal del borde de plataforma representa un área relevante para la reproducción y cría de varias especies nectónicas, incluyendo el calamar (*Illex argentinus*) y la merluza (*Merlucius hubbsi*) (Brazeiro *et al*., 2003; Acuña *et al*., 2017). Las áreas acuáticas prioritarias son el área de cría permanente de merluza (Ministerio de Ambiente, 2022b), por lo que se considera un hábitat de relevancia ecológica para esta y otras especies acompañantes (por ejemplo, papamoscas, *Nemadactylus bergi*), constituyendo, por tanto, una zona de relevancia socioeconómica nacional, pues se trata de uno de los principales productos pesqueros y coincide en parte con el núcleo de alta significancia ecológica Borde Talud Sur (Brazeiro *et al*., 2003). Es una zona vulnerable también por la presencia de especies amenazadas y en peligro de extinción: mamíferos, ballena sei, ballena azul y ballena de aleta, reptiles, tortuga laúd y peces (gatuso, angelito, guitarra y sierra) (Acuña *et al*., 2017).

Es una zona de pesca de alto rendimiento (categoría A), con actividades nuevas como la exploración de petróleo y áreas de servicios (STS2), y cables submarinos (Unisur, SAC, Atlantis II, SAM-1, Tannat). En los bloques también se encuentran incluidas áreas de protección del cangrejo rojo (Defeo y Masello, 2000b; Gutiérrez *et al*., 2011; Echevarría *et al*., 2021).

Las principales interacciones espaciales con usos se relacionan con la pesca industrial categoría A (código A32) y con la exploración de hidrocarburos (código A33). La alteración producida por las pesquerías es la de mayor

impacto, particularmente asociada a la pesca de arrastre, por sus técnicas y por su importancia comercial. Además de la mortalidad por pesca de las poblaciones objetivo (sobrepesca), existe mortalidad de especies no objetivo (Retta *et al*., 2006; Defeo *et al*., 2009). La ZCPAU ha mostrado un descenso en las capturas de las principales pesquerías (por ejemplo, *Merluccius hubbsi*).

Ambiente talud (ver figura 18):

En este ambiente (hasta los 3.000 m de profundidad) se propone el área acuática prioritaria Margen Continental y Talud (que incluye cabeceras de cañones y corales) (Ministerio de Ambiente, 2022b), con una importante diversidad de ambientes bentónicos y elevados valores de biomasa fitoplanctónica y riqueza específica zooplanctónica (FREPLATA, 2005). Es una zona de relevancia ecológica por ser hábitat de reproducción, cría y alimentación de crustáceos (por ejemplo, langostas *Thymops birsteini* y centollas *Lithodes* spp.). Según Burone *et al*. (2013), se encuentran cañones submarinos y *pockmarks* (depresiones en forma de cráter asociadas a migraciones de agua de alta temperatura o hidrocarburos) de hasta 40 m de profundidad y montes submarinos (con corales de aguas profundas asociados), con una altura de hasta 24 m y 1.200 m de diámetro, distribuidos entre 250 y 400 m de profundidad (Carranza *et al*., 2012). En esta zona ocurren procesos hidrodinámicos de elevada energía, con consecuencias en la resuspensión de nutrientes y sedimentos (Burone *et al*., 2021).

Las principales interacciones espaciales con usos se corresponden con la pesca categoría C (código A34), donde se desarrollan pesquerías de peces demersales (por ejemplo, merluza, *Merluccius hubbsi*, y merluza negra, *Dissostrichus eleginoides*), de invertebrados bentónicos (por ejemplo, cangrejo rojo, *Chaceon notialis*), todas de interés socioeconómico, así como otras especies que también son objeto de presión pesquera (por ejemplo, rouget, *Helicolenus dactylopterus*; chernia, *Polyprion americanus*, y meros, *Acanthistius* spp.). Además, existen importantes registros de orcas (*Orcinus orca*) y cachalotes (*Physeter macrocephalus*), asociados a las pesquerías de palangre pelágico, que también se concentran para la captura de atunes (principalmente *Thunnus albacares, T. alalunga* y *T. obesus*), pez espada (*Xiphias gladius*) y grandes tiburones (azul, *Prionace glauca*; moro, *Isurus oxyrinchus*; martillo, *Sphyrna* spp., y marrón, *Carcharhinus* spp.) (Domingo *et al*., 2015).

También es una zona donde se desarrollan la exploración de petróleo (bloques 4, 5, 6 y 7) (código A35) y los cables submarinos (Unisur, SAC, Atlantis II, SAM-1 y Tannat) (código A36).

Se ha indicado también como causa de interacción a las capturas incidentales de ciertas pesquerías, como el arrastre de altura, el arrastre costero, el palangre pelágico (por ejemplo, interacción con albatros y petreles en el talud continental), la ocurrencia de enredos de los mamíferos en las artes de pesca, la pérdida de captura y la mortalidad incidental de mamíferos marinos (por ejemplo, individuos juveniles de franciscana, *Pontoporia blainvillei*; lobo marino; lobo común, *Otaria flavescens*, y el lobo fino o de dos pelos, *Arctocephalus australis*).

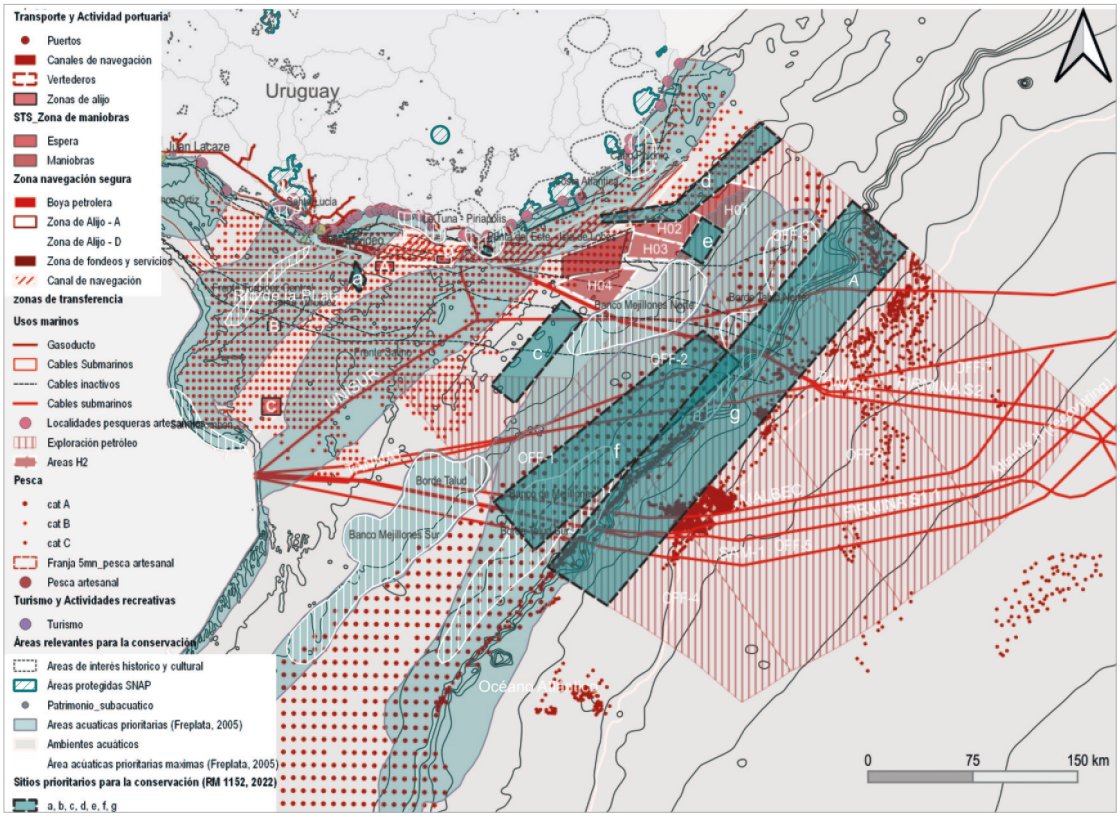


Figura 16. Interacciones entre usos y áreas relevantes para la conservación natural y patrimonial en la zona de estudio.

Otras problemáticas del medio acuático en el Río de la Plata y el océano Atlántico, no necesariamente con definición especial concreta, son la contaminación de agua y sedimentos, las alteraciones en la estructura y productividad de los ecosistemas (FREPLATA, 2005), y los desechos marinos. En el Río de la Plata se ha reportado la presencia de objetos de plástico, embalaje y restos de artes de pesca (Acha *et al.*, 2004; GEO, 2008; García-Alonso *et al.*, 2019), y se evidencia la presencia de microplásticos en muestras de plancton en la costa del estuario (Lozoya *et al.*, 2015; Pazos *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2020), que generan alteraciones ecológicas a partir de la mortalidad de tortugas y aves por ingesta (GEO, 2008). Por otra parte, las áreas costeras, particularmente del Río de la Plata, son receptoras de nitrógeno y fósforo de las cuencas de drenaje y los aportes fluviales de los ríos Paraná y Uruguay, lo que promueve el desarrollo de las floraciones de cianobacterias (Bonilla *et al.*, 2015; Aubriot *et al.*, 2020). Asimismo, los efectos del cambio climático pueden actuar en sinergia con el aumento de los nutrientes, acelerando la eutrofización (Meerhoff *et al.*, 2007).

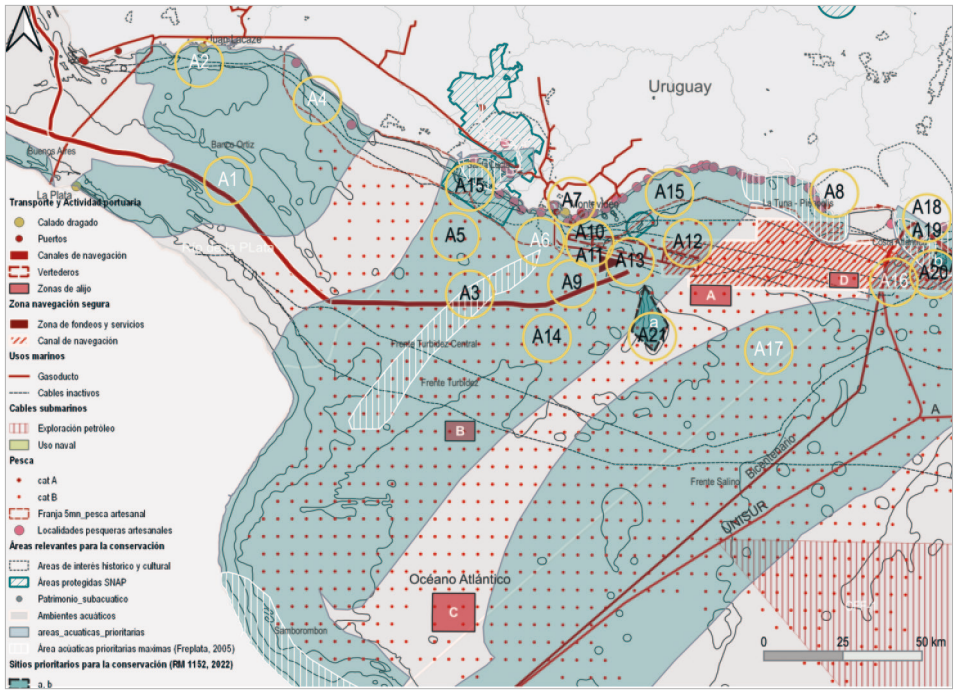


Figura 17. Interacciones entre usos y áreas relevantes para la conservación natural y patrimonial en los ambientes dulceacuícola y fluviomarino en la zona de estudio.

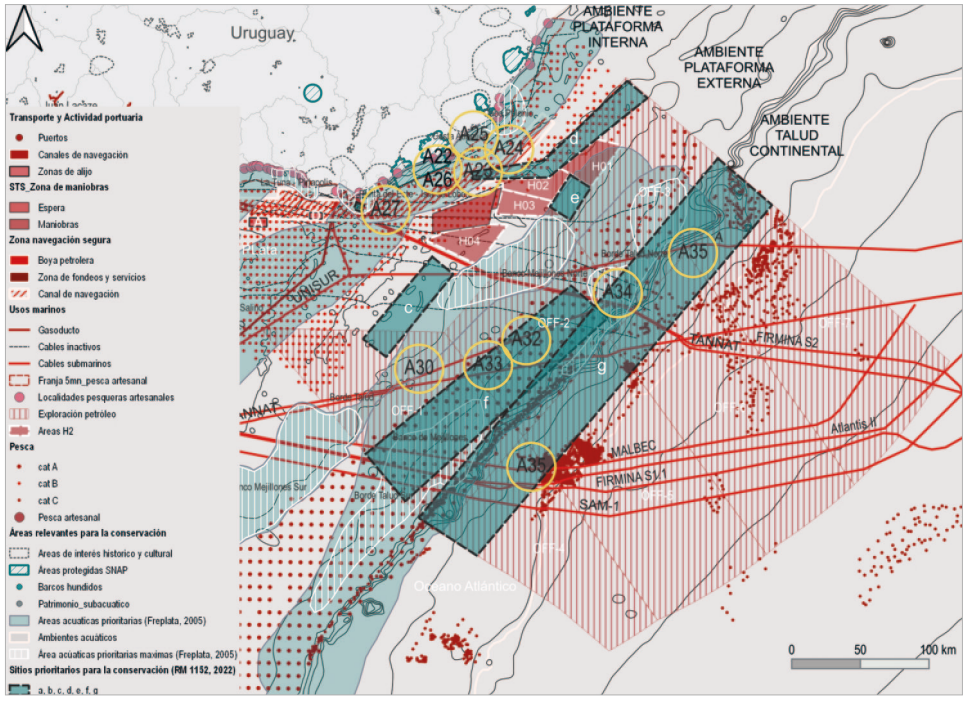


Figura 18. Interacciones entre usos y áreas relevantes para la conservación natural y patrimonial en el ambiente plataforma interna, plataforma externa (continental) y talud continental, en la zona de estudio.

En síntesis, las principales interacciones entre los usos y la conservación natural y patrimonial en el territorio marino-costero en Uruguay se producen cuando las actividades se desarrollan en áreas vulnerables, por modificación de hábitats marinos y costeros que afectan el funcionamiento del ecosistema, o cuando amenazan la provisión de servicios ecosistémicos. Ejemplos a resaltar de estas actividades son la presencia de puertos y emisarios subacuáticos, el dragado y la disposición del material, la exploración de petróleo y gas, la extracción de arena y la pesca (Echevarría, 2015). Por otro lado, desde la PEMC y en el marco de la identificación de interacciones y posibles conflictos entre usos y actividades, el patrimonio cultural se visualiza especialmente desde la óptica de la conservación. Sin embargo, en Uruguay la problemática respecto de la conservación del patrimonio no se vincula tanto con la superposición de ciertos usos con las áreas de conservación, sino con la escasez de áreas de conservación. Queda de esta forma en evidencia la falta de protección patrimonial, ligada a la ausencia de inventarios, relevamientos, monitoreos y mapeos, tanto del patrimonio en tierra como bajo agua (Caporale y Vallvé, 2023).

Aunque la distribución de las interacciones existentes entre los usos y la conservación natural ocupa casi todos los ambientes estudiados, las más significativas se dan en las áreas acuáticas prioritarias para la conservación, incluyendo las áreas marinas protegidas en el ambiente fluviomarino y la plataforma interna, con un patrón espacial paralelo a la costa platense y atlántica, y también en paralelo a la costa en al ambiente plataforma externa y el talud continental.

Los impactos en áreas de prioridad para la conservación son particularmente relevantes por la competencia espacial que generan. En este sentido, el ambiente fluviomarino y la plataforma interna son los más vulnerables a estas interacciones, por ser esta interfase entre el río y el océano un área de reproducción de varias especies, por la presencia de AMP o de hábitats o especies protegidas (áreas de cría de peces, áreas de reproducción de mamíferos marinos o aves). Con respecto a la variación temporal de las interacciones que generan conflicto, puede observarse una dinámica en la cual en el período cálido (noviembre-marzo) la variedad y la relevancia de las interacciones son mayores que en otoño-invierno, debido a la mayor actividad biológica (por ejemplo, migración de ballenas y reproducción de peces) y humana (por ejemplo, turismo, turismo de cruceros y pesca).

En el ambiente fluviomarino y la plataforma interna es donde se ubican las interacciones potencialmente conflictivas, dadas por la interrelación del mar con la costa y por concentrar la mayor cantidad de actividades y áreas relevantes para la conservación costero-marina. El desarrollo portuario y la ubicación del canal de navegación en Uruguay explican claramente este patrón. También es donde existe mayor competencia por uso de espacio, el turismo marítimo, la industria pesquera y las nuevas actividades, como la energía eólica marina, entre otros. Esto es esperable y coincide, en general, con lo que sucede en otros países de la región y del mundo (Ehler y Douvere, 2009; Jiménez, 2013; Schultz-Zehden *et al*., 2018), al igual que la identificación de interacciones que generan incompatibilidades por superposición espacial. La utilización competitiva del espacio

marino-costero y sus recursos naturales son finitos, no renovables y locales, lo que genera condiciones similares en todas las zonas marino-costeras del planeta.

En el ambiente de plataforma externa (profundidad 50-220 m) se concentran interacciones potencialmente conflictivas, asociadas a las áreas acuáticas prioritarias y los sitios de prioridad definidos por el Ministerio de Ambiente, la pesca, la energía eólica marina y la exploración de hidrocarburos, ya que donde hay mayor biodiversidad es también donde se concentran los recursos y su explotación. El patrón de distribución en este ambiente se asocia a características ambientales particulares del área estuarina en conjunción con el área oceánica y, por lo tanto, no responde a un patrón común con otros países.

La planificación espacial marino-costera como opción de política en Uruguay: diseño institucional, impulsos políticos e instrumentos de gestión

Este apartado presenta, a modo de cierre del capítulo, algunos desafíos para el desarrollo de políticas de PEMC en Uruguay, referidos a tres dimensiones clave, a saber: el posible andamiaje institucional, el tipo de impulso político y los instrumentos de gestión.

Andamiaje institucional

Para la primera dimensión, referida al posible andamiaje institucional, se plantean puntos de vista de las instituciones uruguayas sobre el modo en que podría avanzarse hacia la PEMC en el país. Estas visiones fueron registradas a través de una serie de entrevistas y talleres en 2013-2015, en un momento de especial interés institucional por el abordaje de la PEMC, ante el escenario de la posible explotación de hidrocarburos en el espacio marino-costero de Uruguay. Dado que esa coyuntura marcó el momento de mayor atención de la institucionalidad nacional por la PEMC, ante una posible transformación intensa y rápida de los usos, las alternativas manejadas entonces pueden continuar siendo orientadoras respecto a las visiones predominantes.

En la investigación se consultó a autoridades y funcionarios de las instituciones involucradas sobre la conveniencia de crear un andamiaje de PEMC en Uruguay y sobre sus preferencias en términos del diseño institucional a adoptar. Es de destacar que estas opiniones no implicaban posiciones institucionales, sino visiones personales de jerarcas y técnicos en el período en cuestión.

Echevarría *et al*. (2016) tomaron como referencia para el planteo de alternativas los tres modelos identificados previamente en función de la experiencia internacional y luego presentaron los resultados en función de ellos:

- Asignar la competencia en el tema a una institución específica existente, a la que se le encomiende liderar la coordinación con las demás instituciones, como se planteó, por ejemplo, en Canadá, Bélgica, Alemania y China (Douvere y Ehler, 2009).

- Asignar la competencia a un ámbito de gobernanza interinstitucional que reúna al conjunto de los organismos involucrados, andamiaje del que dan ejemplo Australia y Holanda (Barry *et al*., 2003; Foster *et al*., 2005; Day *et al*., 2008).

- Crear un nuevo organismo abocado a la gestión marina, reuniendo las áreas que se ocupan de temas marinos situadas en otras instituciones y las dedicadas a la PEMC, opción desarrollada, por ejemplo, en el Reino Unido (Douvere y Ehler, 2009; Gilliland y Laffoley, 2008).

Como resultado, cabe resaltar que ninguna de las fuentes consultadas consideró preferible la opción de asignar el tema enteramente a una de las instituciones existentes (primera opción), lo que puede atribuirse a la escasa experiencia previa de los organismos uruguayos respecto al tema. Por el contrario, la gran mayoría de las respuestas se orientaron a que el tema se encomendara a un ámbito de coordinación interinstitucional (segunda opción). Dentro de esta preferencia, se manejaron tres variantes respecto al posible organismo líder: la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP), organismo radicado en la cúpula del Poder Ejecutivo, junto a la Presidencia de la República; el Ministerio de Relaciones Exteriores (MRREE); y el entonces Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA, actualmente dividido en dos ministerios y que por entonces se manejaba ya con dos opciones de coordinación diferentes).

La primera alternativa, referida a la OPP, está fundada en que esta, en tanto tiene un rango superior al de los ministerios y las empresas públicas, es el organismo indicado para liderar la articulación. Según plantearon algunas visiones, el centro de gobierno sería el único realmente capacitado para forzar a los distintos actores a adoptar una línea común. A su vez, la preferencia por esta alternativa tendió a registrarse en actores que veían la eclosión de una eventual política de PEMC como un proceso que debería ser altamente transformador y que, por tanto, requeriría una construcción vertical fuerte.

La segunda alternativa, el MRREE, es una variante opuesta de la primera. En ambas se apunta a un líder no identificado con un sector específico, pero en esta, a diferencia de la anterior, se apuesta a un coordinador sin ningún diferencial jerárquico respecto a los coordinados. Por el contrario, su idoneidad estaría dada por no tener la propiedad del tema en ningún sentido, ni como instancia de jerarquía respecto a los miembros ni como rector sectorial de un tipo de recursos marinos. Esta opción tenía como antecedente el trabajo de coordinación interinstitucional con relación a la prospección del subsuelo marino en busca de hidrocarburos, que se había convocado a través del MRREE. Para algunos de sus participantes, una línea de evolución posible era, entonces, ampliar el foco temático de este mismo ámbito, llevándolo a la PEMC en general.

La posibilidad referida al MVOTMA involucró, de distinta forma, a las direcciones de Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (ex-DINOT y ex-DINAMA, respectivamente). En el momento de la consulta estas áreas pertenecían a un mismo ministerio. Actualmente corresponden a dos instituciones distintas, por lo que los distintos matices reflejados en la consulta son aún más pertinentes en la estructura vigente. En el área

de ordenamiento territorial se planteaba que la competencia en coordinar organismos de PEMC podría corresponder a esta área, con base en el marco legal vigente. La situación del área de ambiente era más variada, conviviendo un espectro de posiciones tentativas dentro del organismo. Algunas de ellas se adscribían a las dos primeras variantes, con la OPP o el MRREE como eventuales coordinadores, teniendo en cuenta el potencial de coordinación global de la primera y los antecedentes de coordinación sobre hidrocarburos en el segundo. Pero en otros casos se pensó también en la propia área de ambiente como posible coordinadora.

La opción de generar una nueva institución específica (tercera opción) que reuniese a las áreas con competencia directa sobre asuntos marinos, actualmente distribuidas en distintos organismos, estuvo también presente, aunque su registro fue minoritario respecto a la anterior. Sin que existiera una visión general ya asentada, esta alternativa era particularmente considerada por parte del funcionariado de la DINARA. En esa misma área, la opción de crear una nueva institución específica convivía con la preferencia por una coordinación interinstitucional dirigida desde la OPP.

La amplia variedad de opciones manejadas y el predominio de visiones centradas en ámbitos de diálogo interinstitucional reflejaba que, en Uruguay, dado el escaso desarrollo del tema, el posible andamiaje de la PEMC no era algo ya laudado por la trayectoria institucional previa y que, en cambio, el espectro de posibilidades a tener en cuenta continuaba siendo variado. Por otra parte, cualquiera de esas opciones tiene ejemplos de concreción en otros países, en función de qué instituciones y qué ejes de política fueron claves en cada país para abordar el espacio marino-costero en clave de planificación integral, por lo que el tema no tiene una respuesta única sino adaptaciones prácticas en función de cada escenario nacional.

Impulso político

Junto al diseño institucional, el tipo de impulso político es también una dimensión crucial en la que la experiencia internacional muestra distintos modelos para las iniciativas de PEMC. En algunos países la PEMC se ha desarrollado en el marco de planes priorizados en la agenda de gobierno, con un fuerte compromiso y, por tanto, responsabilidad del centro de gobierno por sus resultados. El surgimiento de la PEM en Australia y Bélgica tiene este contexto. En otros casos la iniciativa ha tenido menor perfil político y se desarrolló en el ámbito de la agenda institucional de los organismos más involucrados. El origen de la PEM en Canadá es un caso de este tipo (Foster *et al*., 2005).

Ambas trayectorias conllevan potenciales diferencias en el proceso de diseño e implementación y pueden incidir en los tiempos de desarrollo, ya que una iniciativa con fuerte perfil de gobierno requerirá productos concretos en plazos más acotados, mientras que las agendas institucionales suelen avanzar a ritmo más lento. Este factor tiene aspectos positivos y negativos en cualquiera de sus alternativas, en tanto contar con productos a menor plazo favorece el despliegue de la política, pero no depender tan estrechamente de ciclos de gobierno y elecciones permite un proceso de construcción más cuidadoso.

Lo mismo puede reflejarse en la amplitud de los actores participantes. Las agendas institucionales suelen resultar más abiertas a la incorporación de actores variados, en especial a los gobiernos subnacionales y la sociedad civil. En definitiva, en este tipo de procesos la concreción de la política depende en gran parte de que la institución, o las instituciones, puesta a cargo del proceso consiga socios en clave de gobernanza horizontal. Esta construcción de redes suple, entonces, la falta de un fuerte impulso político vertical desde el comando de gobierno. Por el contrario, procesos de alto perfil político gubernamental llevan más fácilmente a procesos de acuerdo, con una menor inclusión de actores y un menor margen para la discusión más allá de las instituciones clave, con el objetivo de evitar puntos de veto y multiplicación de líneas de debate en temas donde el gobierno haya tomado ya una postura y un rumbo concreto (Foster *et al*., 2005; Plasman, 2008).

Indirectamente, estas dimensiones pueden incidir en otras variables que presentan también diferencias importantes entre países. Mientras en algunos casos la planificación se maneja en áreas de gran escala, en otras se tiende a operar con mayor énfasis en escalas locales. Esto está ligado al espacio gestionado: cuanta más importancia tenga en la planificación la zona costera, más importancia cobra la escala local; en el extremo opuesto, planes que involucren exclusivamente aguas profundas requieren un uso menos intensivo de la microescala.

Esta dimensión también ha tenido contacto con la del contexto político, ya que un andamiaje plural, que integre intensivamente a actores locales, tiende a abordar en mayor medida la costa, mientras que abordajes centrados en el gobierno y en el nivel nacional de políticas pueden concentrarse en mayor medida en las aguas profundas (Foster *et al*., 2005; Echevarría *et al*., 2016.

Por último, cabe señalar que la escala y el tipo de espacio (cuánto se integra la gestión terrestre con la marina) depende también en cada país del perfil y trayectoria histórica de la institución, o instituciones, encargada de liderar el proceso. Por ejemplo, casos en que se llega a la PEMC como extensión del ordenamiento territorial clásico tienden a generar una mayor articulación entre ambas políticas, mientras que casos en que asume la rectoría una institucionalidad específicamente marina se han traducido en menor solapamiento y articulación (Echevarría *et al*., 2016).

Instrumentos de gestión

Finalmente, sobre la tercera dimensión, referida a los instrumentos de gestión, podría mencionarse que el espacio marino-costero de Uruguay, dada la cantidad de actividades que comprende y sus impactos en tierra y en mar, debería gestionarse a través de figuras de planificación territorial específicas, o bien incorporarse dentro de instrumentos de planificación, tanto a nivel nacional como departamental o local. La propia Ley n.º 18.308, en su artículo 2, declara de interés general el ordenamiento de las zonas sobre las que el país ejerce su soberanía y jurisdicción, lo que incluye el espacio marino.

En este sentido la normativa nacional ofrece un marco regulatorio para el ordenamiento del territorio uruguayo. Para esto propone

una serie de instrumentos de distinto alcance y naturaleza jurídica: algunos de alcance nacional, con naturaleza de leyes o decretos, que buscan marcar los principales lineamientos para el uso del territorio, incorporando elementos ecosistémicos, sociales, productivos, etcétera; y otros que tienen alcance regional, departamental o local, con naturaleza de decreto de la respectiva Junta Departamental. La elaboración de estos instrumentos incorpora elementos de participación y evaluación ambiental, por lo que la inclusión del espacio marino en estos instrumentos podría contribuir a una planificación más amplia e integrada, y permitiría una mejor evaluación de sus impactos.

Conclusiones y perspectivas

A modo de perspectivas, se hará referencia brevemente a algunos aspectos emergentes que surgen como desafíos interesantes a corto y mediano plazo con relación a una PEMC con características locales. En todos los desafíos planteados a lo largo del capítulo, la PEMC podría considerarse como una variante adecuada de la PEM para el caso de Uruguay, por las características netamente costeras del país, por la convicción de la necesidad de su inclusión en la planificación y como fomento de la visión "de la cuenca al mar". Claramente, esto requerirá de una planificación y gestión conjunta basada en los ecosistemas, la buena gobernanza y la participación social, donde se deberán establecer opciones estratégicas, de carácter anticipatorio y precautorio, y que reconozcan las conexiones entre las actividades realizadas en tierra y en el medio acuático, así como sus interacciones.

Del análisis desarrollado en el capítulo emergen algunos temas de mayor interés, referidos a la generación de información, a la necesidad de profundizar en el análisis de las interacciones tierra-mar y a los aspectos transfronterizos, que se comentan a continuación.

En primer lugar, se evidencia que existe suficiente información disponible para desarrollar una base de conocimientos con la cual iniciar la elaboración de un plan marino-costero con particularidades nacionales. Sin embargo, se reconoce que los datos son muy costosos y de difícil obtención, lo que puede generar una alta incertidumbre. Para lograr una gestión adecuada se entiende necesario, entre otros temas, que las diferentes instituciones manejen la información en un único formato, accesible, que permita la generación de una base de datos sólida y sostenible en el tiempo, de manera que tanto las instituciones como la sociedad tengan acceso libre a la base de conocimientos sobre el medio marino-costero local. La gestión espacial marina-costera requiere de enfoques transparentes y accesibles para la comprensión de la influencia de las actividades en los ecosistemas, para la gestión de escenarios tanto actuales como futuros.

En segundo lugar, surge como desafío mayor profundizar en el corto plazo en el análisis de las ITM esbozadas en este trabajo, partiendo inicialmente del ajuste de una metodología con características locales y regionales, que, a la vez, reconozca los esfuerzos internacionales actuales en la materia. En ese contexto, surgen como necesidades ineludibles, por un lado, un análisis integral que incluya las múltiples dimensiones espaciales y matrices

involucradas (lecho marino, columna de agua y atmósfera) y, por otro, un análisis temporal de la intensidad de las ITM clave, de forma de orientar adecuadamente a los procesos de PEMC sobre las zonas a ser abordadas con mayor urgencia.

Finalmente, teniendo en cuenta que Uruguay comparte el espacio marítimo con los países vecinos, es relevante alcanzar formas de coordinación transfronteriza: con Brasil, especialmente en el sector sur, con quien Uruguay tiene continuidad a lo largo de una zona costera de características similares, y con Argentina, para la generación de un proceso en común para el Río de la Plata y su frente marítimo. En ambos casos podría generarse el mismo tipo de recomendaciones y normas para las partes involucradas, que podrían ser interpretadas de acuerdo con el ordenamiento jurídico de cada país. Para ello, el TRPFM constituye un antecedente fundamental y es clave el involucramiento de la CARP y de la CTMFM como organismos permanentes para la gestión de los recursos compartidos en la región, a través del MRREE.

También es de destacar que actualmente Brasil y Argentina están avanzando en iniciativas de PEM. Brasil se encuentra abocado a la aprobación y el inicio de un proyecto piloto en la región sur, que abarca la porción marina de los estados de Paraná, Santa Catarina y Río Grande del Sur (BNDES-FEP, Selección Pública 03/2022), para el cual se indica como importante "identificar programas y acciones que se comparten con Uruguay, dado que los tratados internacionales y los proyectos de investigación son objeto de interés común para ambos países". Argentina, por su parte, se encuentra desarrollando la Iniciativa Pampa Azul y el inicio del estudio en dos áreas piloto (la Cuenca Argentina Norte y la Cuenca Austral-Malvinas Occidental). Desde estas perspectivas, habría que preguntarse, para poder avanzar conjuntamente, por ejemplo: ¿Cuáles son los límites geográficos y qué implica la dimensión transnacional de un sistema PEMC regional?

En torno a lo expuesto, emerge como necesaria la elaboración de una política sobre el espacio marino-costero de Uruguay, dando prioridad a la asociación de los distintos niveles de responsabilidad sobre el territorio marino-costero y de cooperación entre los sectores público y privado, dentro de una política definida mediante una concertación lo más amplia posible. Cabría preguntarse, como disparador de un proceso de planificación y gestión de un espacio tan relevante para Uruguay: ¿Cómo construir una visión compartida del espacio costero-marino a nivel nacional? ¿Cómo fortalecer las capacidades de gobernanza para la aplicación de un proceso de PEMC exitoso a largo plazo?

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Echevarría Fratti, L., R. Tejera, A. Gómez, M. Caporale y D. Conde, 2024, Caracterización y perspectivas de la planificación espacial marino-costera en Uruguay, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 437-486, doi: 10.70952/a8827tmuc4-4

Capítulo 4.5
La transición energética y el *offshore* de Uruguay

Imagen generada por Gemini Advanced (2024). Representa una plataforma de producción de hidrógeno a partir de energía eléctrica (electrólisis *offshore*) ubicada dentro de un parque eólico marino.

Capítulo 4.5
La transición energética y el *offshore* de Uruguay

Santiago Ferro,[1] Natalia Blánquez,[1]
Cecilia Romeu,[1] Josefina Marmisolle[1] y Juan Tomasini[1]

[1] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

Introducción[1]

A fin de evitar los impactos del cambio climático, el aumento global de la temperatura necesita limitarse a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales (Masson-Delmotte *et al.*, 2019). Para mantener el calentamiento global por debajo de este límite, tal como se exige en el Acuerdo de París, es necesario que se alcance el cero neto de emisiones de gases de efecto invernadero hacia 2050 (Naciones Unidas, 2023c). El sector energético constituye la fuente de cerca de tres cuartos de las emisiones de gases de efecto invernadero en la actualidad (Center for Climate and Energy Solutions, 2023), por lo que la descarbonización del sector energético es clave para lograr este objetivo.

En la figura 1, se puede apreciar que la matriz energética primaria ha cambiado significativamente en los últimos 220 años:

- ha crecido de forma constante, de la mano del incremento de la población global y del crecimiento de la actividad económica y el confort del estándar de vida, y
- ha evolucionado constantemente (ya sea por cuestiones tecnológicas, por disponibilidad de recursos, por políticas o para reducir el impacto ambiental).

Profundizando en el análisis de la gráfica incluida en la figura 1, vemos que inicialmente se consumía sólo biomasa tradicional (leña) y después esta se empezó a sustituir por carbón. La transición de leña a carbón insumió más de 100 años, ya que recién en 1910 la participación del carbón en la matriz energética primaria superó a la de la biomasa tradicional. El petróleo comenzó a notarse en la matriz energética global a mediados del siglo XIX, aunque recién superó al carbón como el principal energético a escala global en los años sesenta, por lo que esta transición también implicó unos 100 años. Sin embargo, el hecho de que el carbón hubiera dejado de ser el principal energético a escala global no implicó que su consumo disminuyera, sino todo lo contrario: hoy día se consume el triple de

1 Los autores agradecen a Niobe Castelli, originalmente profesora de literatura, ahora dedicada a las artes culinarias, que realizó la corrección del texto de este capítulo con el mismo amor con que nos espera con riquísimas comidas cada fin de semana.

carbón que el que se consumía en los años sesenta. En 1965, los energéticos fósiles (carbón, petróleo y gas natural) representaban el 93,5% de la matriz energética primaria global y en 2021, el 83,1%, pero en valores absolutos el consumo de recursos fósiles se multiplicó 3,36 veces (y el consumo de gas natural se incrementó 6,4 veces). La relación de consumo carbón/gas natural, en términos absolutos, se redujo de 2,56 a 1,1 en ese mismo período 1965-2021. Por otra parte, la energía hidroeléctrica empezó a incidir en la matriz energética primaria desde principios del siglo XX y la energía nuclear se agregó a la matriz en la década de los sesenta. Recién a comienzos del siglo XXI empieza a notarse en la matriz el impacto de las energías renovables modernas (eólica, solar, geotérmica y biocombustibles). En resumen, el concepto de transición energética no es nuevo, es algo que viene ocurriendo desde que los seres humamos consumimos energía; la matriz global de energía primaria ha cambiado desde siempre e históricamente hemos vivido numerosas transiciones energéticas.

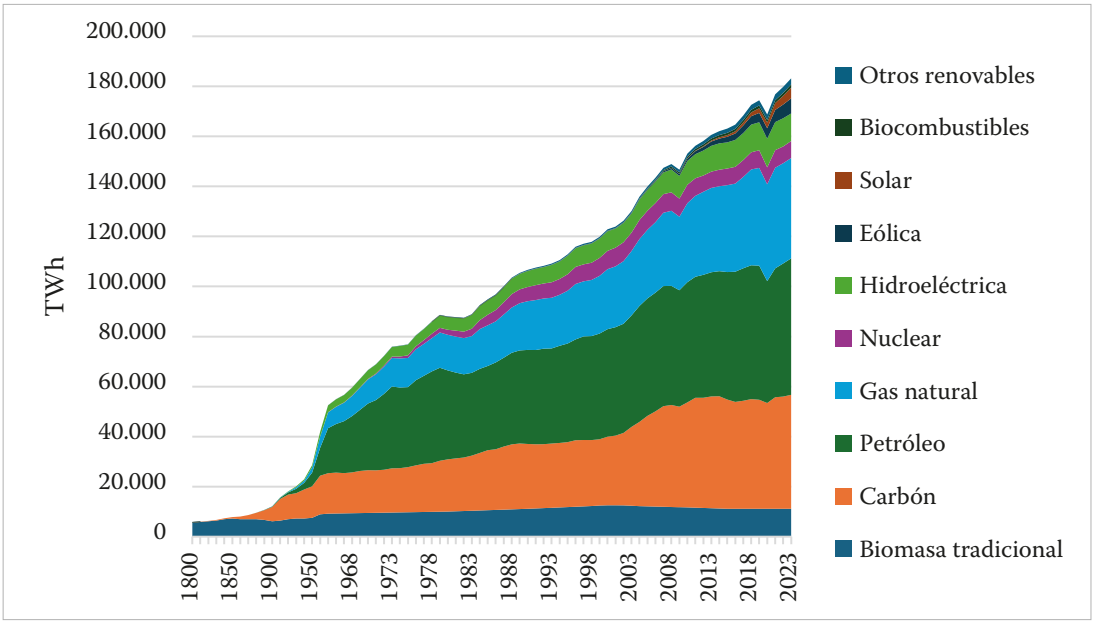


Figura 1: Consumo global de energía primaria por fuente (Our World in Data, 2023).

Sin embargo, las transiciones energéticas anteriores se desplegaron durante centenares de años y las nuevas fuentes de energía no desplazaron a las existentes, sino que se agregaron a ellas, lo que incrementó el consumo global. La transición necesaria para descarbonizar la matriz energética actual y alcanzar los compromisos de emisiones cero neto para 2050 deberá ser mucho más rápida (en menos de tres décadas) y requiere que se sustituyan fuentes de energía, en vez de agregarse, como sucedió en las transiciones pasadas, por lo que el desafío que tenemos por delante como sociedad es enorme.

Ahora bien, la necesidad de descarbonizar la matriz energética no implicará que se dejen de utilizar las energías fósiles de un día para el otro. El mundo debe ser realista acerca de la transición necesaria. El 82% de la economía global depende de los fósiles (Energy Institute, 2023) y cambiar la matriz energética actual no es sencillo. La transición mediante el alejamiento de los hidrocarburos debe de ser ordenada, de forma tal que no haya desabastecimientos ni picos de precios. Dado el carácter intermitente de varias de las formas de energía renovable (eólica, solar, hidroeléctrica) y lo importantes que son los energéticos fósiles en nuestra vida diaria, el sector petrolero no desaparecerá de un día para el otro. Adicionalmente, el agotamiento natural en los yacimientos existentes implica que continuarán invirtiéndose capitales en exploración y producción (E&P) de petróleo y gas natural durante las próximas décadas (BP, 2023).

Las compañías petroleras, cuyos productos han sido durante décadas dominantes del sistema energético global, no son una excepción, también deben hacer la transición a productos y negocios con menor intensidad de carbono. Todas las *majors* —las principales petroleras del mundo— están transformándose en empresas energéticas, implementando estrategias y nuevos negocios, no sólo para mitigar el cambio climático, sino también para continuar posicionándose como líderes de una nueva matriz energética global que se descarboniza.

Además del desafío del plazo, la transición energética enfrenta también un desafío de escala. La población mundial supera los 8.000 millones de personas (Worldometer, 2023) y sigue aumentando. A su vez, hay tres cuartas partes de la población mundial (África, Asia Pacífico, América Central y del Sur) cuyo consumo de energía per cápita es bajo, comparado con el de las economías más desarrolladas (BP, 2021) y se estima que este aumentará. Esto se debe a que cada vez hay más personas en economías emergentes que acceden a bienes, servicios, consumo y confort de la vida moderna. Por lo tanto, las soluciones que se busquen para reducir el impacto del sistema energético primario en el cambio climático tienen que ser escalables.

Es bien conocido el concepto de "trilema energético" del World Energy Council: los sistemas energéticos saludables deben ser seguros, equitativos y sustentables, con un balance entre las tres dimensiones (World Energy Council, 2023). La seguridad energética se refiere a la capacidad de un país de abastecer la demanda energética de forma confiable, sin disrupciones. La equidad mide la capacidad del país de brindar acceso universal a la energía, de forma asequible y abundante. La sustentabilidad ambiental del sistema energético representa la transición de la matriz de un país hacia la mitigación de los daños ambientales y del cambio climático. Expresado de otra forma, una transición energética justa deberá implicar que los países dispongan del acceso a energía confiable y abundante, que sustente una economía creciente y un ambiente limpio.

Adicionalmente, la electricidad representa alrededor de un 20% del consumo final total de energía en el mundo (IEA, 2022), por lo que la descarbonización de la matriz energética va mucho más allá de descarbonizar la generación de energía eléctrica. En tal

sentido, el hidrógeno verde y sus derivados (amoníaco, metanol, *e-fuels*, entre otros) tienen un rol fundamental para jugar en el futuro como vector energético, especialmente en procesos y actividades difíciles de descarbonizar, tales como la industria y el transporte pesados, donde la reducción de emisiones de carbono a través de la electrificación es bastante compleja o técnicamente inviable.

Uruguay tiene un consumo de energía primaria de origen fósil de solamente 44% (43% petróleo y 1% gas natural) (MIEM, 2023) y ha conseguido prácticamente la descarbonización de la generación de energía eléctrica, en lo que se identifica como la primera etapa de la transición energética. La participación de las energías renovables en la matriz eléctrica es elevada, lo que posiciona a Uruguay entre los líderes a escala global, si bien tal participación depende de las condiciones climáticas de cada año en particular. A modo de ejemplo, en 2021 fue del 85%, relativamente baja, pero en el período 2017-2020 fue superior al 97% (MIEM, 2022). Sin embargo, Uruguay no es una excepción con respecto a lo que sucede en el mundo y la electricidad representa sólo un 21% del consumo total de energía del país (MIEM, 2023).

Por lo tanto, el desarrollo de la economía basada en el hidrógeno verde y los combustibles derivados es un camino lógico para sustentar la segunda etapa de la transición energética en Uruguay, en la que se puede apuntar a descarbonizar la matriz energética del país (no sólo la matriz eléctrica). En ese sentido, ANCAP tiene un rol fundamental para jugar en esta segunda etapa, ya que se basa en la producción de moléculas sustentables. Más aún, tiene la oportunidad de transformar el viento y el sol de Uruguay en moléculas de bajo contenido de carbono para exportarlas y contribuir a la descarbonización del sistema energético global.

En conclusión, la transición energética llevará décadas para poder alcanzar los compromisos de neutralidad en carbono y, por ende, todas las formas de energía serán requeridas para abastecer la demanda global creciente. Una transición energética responsable, realista, justa y ordenada implicará necesariamente la convivencia, la competencia y la complementariedad de todas las formas de energía por las próximas décadas. En este sentido, los grandes proyectos energéticos costa afuera (*offshore*) del Uruguay son la E&P de hidrocarburos y la producción de hidrógeno verde y derivados a partir de energía renovable (principalmente eólica) generada en el *offshore*. En este capítulo desarrollaremos sus principales características, similitudes y sinergias.

Hidrocarburos

El consumo de hidrocarburos de Uruguay, con sólo tres millones y medio de habitantes, es relativamente bajo. La refinería de La Teja procesó 2,5 millones de toneladas de crudo en 2022 y produjo los derivados de petróleo para satisfacer la demanda local (ANCAP, 2023a). El petróleo crudo corresponde a un 43% de la matriz de abastecimiento de energía primaria (MIEM, 2023). Por lo tanto, el impacto del costo del petróleo crudo en las importaciones del país es significativo, siendo históricamente el rubro de mayor peso (OEC, 2023). Es así que la Política Energética 2005-2030, avalada por todos los partidos políticos en 2010, establece una estrategia a largo plazo y entre los objetivos del eje de la

oferta de energía mandata a ANCAP a procurar implementar su integración vertical, mediante la búsqueda de petróleo y gas natural en territorio nacional, y propone intensificar la participación del gas natural en la matriz energética uruguaya (MIEM, 2005).

A pesar de que algunos pozos exploratorios perforados en Uruguay han mostrado indicios de hidrocarburos, nunca hubo un descubrimiento comercial de petróleo o gas natural. En este contexto, las cuencas sedimentarias de Uruguay son de frontera exploratoria, con alto riesgo geológico.

Exploración de hidrocarburos en el *offshore*

Las operaciones de exploración de hidrocarburos en la zona económica exclusiva (ZEE) comenzaron en la década de 1970, con varias campañas de adquisición y procesamiento de sísmica 2D. Esta información sustentó la perforación de dos pozos exploratorios: Lobo y Gaviotín, perforados por Chevron en 1976, en aguas someras de la Cuenca Punta del Este, ambos declarados secos. Posteriormente se realizaron otras campañas de sísmica 2D, en 1982 y 2002.

Siguiendo los lineamientos establecidos en la Política Energética 2005-2030, después de tres décadas prácticamente sin actividades de exploración de hidrocarburos y con Uruguay fuera del mapa petrolero mundial, ANCAP comenzó a promover en 2007 la inversión privada por parte de empresas petroleras internacionales (IOC) y de empresas de servicios, lo que logró revitalizar la industria del *upstream* en nuestro país.

El enfoque de ANCAP para atraer la inversión a riesgo de las IOC ha sido ofrecer áreas *offshore* en la ZEE para la E&P de hidrocarburos a través de rondas de licitaciones, que fueron denominadas Ronda Uruguay. La primera fue la Ronda Uruguay 2009, llevada a cabo desde diciembre de 2008 a julio de 2009; la siguiente fue la Ronda Uruguay II, realizada desde setiembre de 2011 a marzo de 2012; luego se lanzó la Ronda Uruguay 3, desde setiembre de 2017 a marzo de 2018; y desde abril de 2019 está en vigencia la Ronda Uruguay Abierta (RUA). Las primeras tres rondas tuvieron características muy similares, con seis meses entre lanzamiento y recepción de ofertas. La ronda abierta funciona de forma continua, con una instancia de recepción de ofertas por semestre.

La Ronda Uruguay 2009 fue lanzada, desafortunadamente, en simultáneo con la crisis mundial financiera de fines de 2008, que afectó fuertemente los precios del barril de petróleo, que cayó en pocos meses de valores cercanos a los USD 140 a USD 35. A pesar de aquellos tiempos turbulentos que sufrió la economía global, y la industria petrolera en particular, seis empresas petroleras se presentaron a calificar (BHP Billiton, Galp, PDVSA, Petrobras, Pluspetrol e YPF) y tres de ellas (Galp, Petrobras e YPF) se asociaron para presentar ofertas por dos áreas localizadas en la Cuenca Punta del Este (ANCAP, 2023i). Por lo tanto, a pesar de la crisis financiera global y el alto riesgo exploratorio de las cuencas *offshore* de Uruguay, por el solo hecho de que la primera ronda realizada después de treinta años sin actividad hubiera recibido ofertas, la Ronda Uruguay 2009 fue considerada un logro.

Inmediatamente después de la firma de los dos contratos que surgieron como resultado de la Ronda Uruguay 2009, ANCAP comenzó a planificar, promocionar y gestionar la Ronda Uruguay II. El objetivo era consolidar el posicionamiento de las cuencas *offshore* de Uruguay como una excelente oportunidad de exploración de frontera, en un país donde las empresas petroleras podían llevar adelante las actividades de E&P eficientemente con ANCAP como facilitador, aprovechando además la percepción internacional de que Uruguay es uno de los mejores lugares de Latinoamérica para la inversión extranjera.

La segunda ronda tuvo un cronograma que se benefició de un precio del barril del petróleo superior a los USD 100 constante durante todo el proceso, por lo que las empresas petroleras contaban con importantes presupuestos de exploración y una gran avidez de las IOC de adquirir áreas en cuencas de frontera exploratoria. En la Ronda Uruguay II, 11 empresas de primer nivel calificaron (Apache, BG, BP, CEPSA, Edison, ExxonMobil, Murphy Oil, Shell, Total, Tullow Oil e YPF) y 9 de ellas presentaron 19 ofertas por 8 de las 15 áreas ofrecidas. El trabajo exploratorio comprometido en el momento de la oferta alcanzó un valor nominal de USD 1.562 millones (ANCAP, 2023k), algo extraordinario para una ronda de áreas de frontera.

La Ronda Uruguay II fue considerada un éxito mayúsculo por los analistas de la industria del *upstream*, con las áreas adjudicadas a algunas de las empresas petroleras de primer nivel a escala mundial (BG, BP, Total y Tullow Oil). Los consultores y analistas atribuyeron el éxito de la ronda a varios factores: un gran deseo de la industria petrolera de incrementar su posición en exploración de frontera, un régimen fiscal atractivo y un ambiente regulatorio favorable en un país estable. Después de la segunda ronda, Uruguay podía jactarse de tener un grupo impresionante de empresas petroleras explorando en su ZEE.

Después de la firma de los contratos que resultaron de la Ronda Uruguay II, Uruguay tuvo un máximo de actividad exploratoria en el *offshore*, principalmente de 2013 a 2015, que las petroleras llevaron a cabo en el marco de sus contratos de E&P con ANCAP y las empresas de servicios en el marco de los contratos multicliente. Simultáneamente, este período pico de operaciones exploratorias fue acompañado por la entrada de algunas otras empresas petroleras de primer nivel por la vía de *farm-ins* (compra de un porcentaje de participación en un contrato vigente), lo que le permitió explorar en Uruguay a empresas que no habían sido adjudicatarias de áreas en las rondas (ExxonMobil, INPEX, Shell y Statoil).

Los principales trabajos exploratorios que se han realizado en el *offshore* desde 2007 incluyen:

- 28.000 km de sísmica 2D (triplicando la cobertura de sísmica 2D disponible antes de 2007).
- 41.000 km^2 de sísmica 3D (que nunca se había adquirido en Uruguay antes de 2012).
- 13.000 km^2 de electromagnetismo 3D (CSEM).

- Más de 200 muestras del subsuelo para análisis geoquímicos.
- Un pozo exploratorio. Después de cuarenta años sin pozos exploratorios perforados en el *offshore*, se perforó el pozo Raya X-1 en 2016, en Cuenca Pelotas. Este pozo fue récord mundial de profundidad de lámina de agua, tocando el lecho marino a 3.404 m de profundidad. Alcanzó el objetivo geológico a testear, una turbidita del Oligoceno que no mostró presencia de hidrocarburos, y fue declarado seco.

En 2017, ANCAP y el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) decidieron intentar atraer nuevamente la inversión privada en E&P a través de la realización de una nueva ronda. Por lo tanto, ANCAP lanzó la Ronda Uruguay 3 en setiembre de 2017. Sin embargo, los bajos precios del barril de petróleo prevalentes desde 2015 a 2018 causaron drásticos despidos masivos de las empresas petroleras y de servicios, así como tremendas reducciones de presupuestos de exploración, sobre todo de exploración de frontera. Esta crisis financiera de la industria petrolera, sumada al resultado negativo del pozo Raya X-1, condujeron al resultado esperable de la ronda. Sólo dos empresas petroleras presentaron su documentación para calificar (Azilat y Tullow Oil) y no se recibieron ofertas (ANCAP, 2023j).

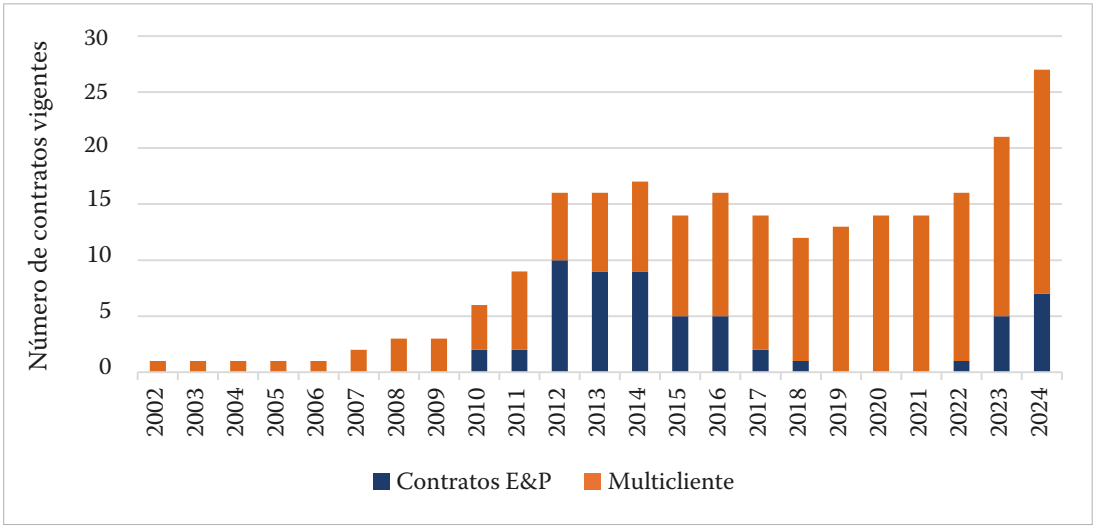


Figura 2: Evolución de contratos (E&P y multiclientes) del offshore *de Uruguay.*

Adicionalmente, tal como se puede apreciar en la figura 2, poco después de que se confirmara el resultado del pozo Raya X-1, seco, sucedieron las devoluciones de áreas y terminaciones de contratos. De la misma forma que todas las empresas petroleras compitieron salvajemente para posicionarse en el *offshore* de Uruguay y ganar áreas en la Ronda Uruguay II, se retiraron del país todas juntas prácticamente al mismo tiempo, actuando

"como en manada". Cabe destacar, no obstante, que todos los contratistas cumplieron con los programas exploratorios comprometidos por contrato y en casi todos los casos lo excedieron, invirtiendo más y realizando trabajos exploratorios adicionales a los comprometidos. Asimismo, vale la pena enfatizar que todos los datos e información generada en el marco de los contratos son propiedad de ANCAP y una vez que finalizan los contratos ANCAP puede hacer libre uso de estos datos e información, incluso comercializarlos, por lo que la retirada de las empresas petroleras no implicó de forma alguna un incumplimiento de contrato, sino que simplemente refleja que no percibieron en ese momento potencial exploratorio en el área.

Si bien la estrategia de ANCAP llevó a tener un máximo de diez contratos de E&P vigentes *offshore* en 2012, este número se redujo a cero en 2019. Como consecuencia, Uruguay se enfrentaba al desafío de evitar que se repitiera lo mismo que sucedió después de los pozos secos perforados en 1976, tres décadas sin actividad exploratoria.

Por lo tanto, dado que en 2019 existía una importante base de datos geológicos y geofísicos, a pesar de contar con escasa información de pozos exploratorios (tres pozos en un área de más de 100.000 km^2 de cuenca es insignificante), ANCAP y el MIEM entendieron que era conveniente cambiar el sistema de adjudicación de áreas de E&P, de forma de hacerlo más competitivo con respecto al régimen fiscal que ofrecían otros destinos de exploración de frontera. Fue así que se desarrollaron las bases y modelos de contratos del sistema llamado Ronda Uruguay Abierta.

Ahora bien, la industria petrolera había mostrado en ese entonces un renovado interés por la exploración en las cuencas de frontera del margen Atlántico, tanto en Sudamérica como en el oeste de África, debido no sólo a algunos descubrimientos importantes, sino también a las oportunidades de exploración y los cambios en el régimen fiscal, que le dieron un mayor dinamismo al sector en dichas regiones del planeta. A modo de ejemplo, Brasil desarrolló el presal, convirtiéndose en un importante productor a escala mundial, mientras que Guyana ha perforado decenas de pozos descubridores y ya ha comenzado a producir parte de sus miles de millones de barriles de reservas. Surinam también ha realizado descubrimientos importantes en *plays* análogos a los de Guyana y Argentina realizó una ronda exitosa en 2019, adjudicando 18 bloques *offshore* y obteniendo un compromiso de inversión de más de USD 700 millones. En el otro margen del océano Atlántico, Namibia y Sudáfrica también se mostraron muy activos, con la participación de grandes empresas petroleras, pero también abriendo las puertas a pequeñas empresas de E&P independientes. Justamente, lo más importante para la reactivación de la actividad exploratoria en el *offshore* de Uruguay sucedió del otro lado del océano Atlántico, en Namibia, a principios de 2022.

Los recientes descubrimientos de yacimientos realizados a partir de los pozos Graff-1 (Shell, 2022a) y Venus-1 (TotalEnergies, 2022) en el *offshore* de la Cuenca de Orange (Namibia) son extremadamente relevantes para la exploración de nuestras áreas *offshore*. La Cuenca Orange es una cuenca que comparte un origen geológico común con

las cuencas del *offshore* de Uruguay (margen conjugado). Por este motivo, esos recientes descubrimientos de petróleo y gas han renovado fuertemente el interés de las empresas petroleras y de servicios en estas áreas, situación que se evidenció en los recientes resultados de la Ronda Uruguay Abierta

La Ronda Uruguay Abierta está vigente desde abril de 2019 y funciona con dos instancias de presentación y apertura de ofertas por año, en mayo y en noviembre, de forma continua año tras año. La calificación en cualquier instancia dada le otorga a la empresa el derecho a presentar ofertas hasta en diez instancias posteriores consecutivas. En mayo de 2019 se presentaron a calificar Kosmos Energy y Tullow Oil y se recibieron dos ofertas por parte de Kosmos Energy (ANCAP, 2023h). Sin embargo, debido a problemas financieros que sufrió dicha empresa, relacionados con la pandemia de COVID-19, se vio obligada a vender todos sus activos de frontera exploratoria y en el caso de Uruguay retiró sus ofertas. Posteriormente, en mayo de 2020 calificó Challenger Energy Group (CEG) y se recibió una oferta por parte de dicha empresa (ANCAP, 2023f). Por lo tanto, antes de los descubrimientos en Namibia, en el marco de la Ronda Uruguay Abierta se habían recibido tres ofertas. Ahora bien, en mayo de 2022 se presentaron a calificar APA Corporation y Shell (ANCAP, 2023c), presentando 4 ofertas por tres bloques. Por lo tanto, más de 10 años después de la Ronda Uruguay II, hubo nuevamente competencia en una licitación por un área. Luego de esa instancia de la Ronda Uruguay Abierta, Shell resultó adjudicataria de dos áreas y APA de la restante (ANCAP, 2023d). En la instancia de noviembre de 2022 se presentaron a calificar CNOOC, Oxy, Qatar Energy, TotalEnergies e YPF, se recibieron tres ofertas por dos áreas y resultaron adjudicatarios un consorcio conformado por APA y Shell, de un área, y la petrolera argentina YPF, de otra área (ANCAP, 2023e). Por último, en mayo de 2023, CEG presentó una nueva oferta por la última área disponible, resultando adjudicataria (ANCAP, 2023g).

En resumen, en el marco de la Ronda Uruguay Abierta, se presentaron a calificar 9 empresas, se recibieron 11 ofertas y fueron adjudicadas las 7 áreas disponibles. El trabajo exploratorio comprometido suma un valor nominal de USD 127 millones. Ya se han firmado estos 7 contratos y, por primera vez en la historia, todas las áreas *offshore* disponibles cuentan con contratos vigentes de E&P y actividad exploratoria.

La gran mayoría del trabajo exploratorio comprometido, que aprovecha la vasta base de datos geológicos y geofísicos existente, consistirá en reprocesamientos o reinterpretaciones de esta información disponible. Sin embargo, también se han comprometido nuevos trabajos exploratorios, tales como la adquisición de sísmica 3D y la perforación de un nuevo pozo.

En conclusión, tal como se refleja en el número de contratos firmados a principios de 2024, es sensato afirmar que la Ronda Uruguay Abierta, de la mano de los descubrimientos en Namibia, cumplió su propósito de ser la herramienta idónea para lograr la reactivación de la exploración de hidrocarburos en el *offshore* de Uruguay.

Régimen fiscal petrolero de Uruguay

El sistema contractual e impositivo que un país aplica para sus contratos petroleros típicamente es referido como "el régimen fiscal". El término *fiscal* no se refiere exclusivamente a aspectos impositivos, sino que comprende todos los aspectos legales, impositivos, contractuales y regulatorios que rigen sobre la actividad petrolera de un Estado dado. El régimen fiscal ideal debe estar diseñado de forma tal que sea simple de aplicar y le provea al contratista una justa tasa de retorno sobre su inversión, concordante con los riesgos del proyecto, y, simultáneamente, le provea al Estado una renta adecuada por la explotación de sus recursos, resultando en una situación ganar-ganar para ambas partes. Un régimen fiscal pobremente diseñado le dará demasiado retorno al contratista a expensas del Estado, o viceversa (Mian, 2010).

De acuerdo con la Ley de Hidrocarburos (Decreto Ley n.º 14.181; Poder Ejecutivo, 1974b), todos los recursos hidrocarburíferos, ya sea en el subsuelo o una vez extraídos, son propiedad del Estado uruguayo. Adicionalmente, ANCAP es la entidad estatal encargada de ejecutar todas las actividades, negocios y operaciones de la industria petrolera, por sí misma o mediante la contratación de terceros. En consecuencia, únicamente el régimen fiscal contractual es aplicable en Uruguay. En este sentido, los contratos de E&P que ANCAP firma con las empresas petroleras, una vez autorizados por parte del Poder Ejecutivo, son contratos de producción compartida (PSC, por sus siglas en inglés).

Con el propósito de regular las bases y los modelos de contrato de cada una de las licitaciones de áreas *offshore* para la E&P de hidrocarburos, se aprobaron decretos específicos para cada ronda. El último decreto (Decreto n.º 111/019; Poder Ejecutivo, 2019), aprobado en abril de 2019, establece el régimen de la Ronda Uruguay Abierta.

La Ronda Uruguay Abierta cumple con algunos aspectos que se consideran valorados por las empresas petroleras a los efectos de participar de una ronda: transparencia en el sistema de comparación de ofertas y adjudicación de áreas, un cronograma conocido y predecible, y abundante disponibilidad de datos. En este proceso abierto de forma continua, las empresas pueden calificar y presentar ofertas en cualquier momento. Sin embargo, esto no implica que haya una negociación directa con las empresas; el sistema funciona como dos rondas por año, con apertura de ofertas en mayo y en noviembre.

La calificación de empresas se basa en sus antecedentes y capacidad técnica, económica y legal. El período de calificación finaliza un mes antes de la fecha límite para la presentación de ofertas de cada instancia y sólo las empresas petroleras calificadas pueden ofertar. Con el propósito de promover la participación de petroleras independientes, con foco en la exploración, las bases de la Ronda Uruguay Abierta incluyen la posibilidad de calificación exclusivamente para el período de exploración, con o sin pozo exploratorio, así como para los períodos de exploración y de explotación, con requerimientos técnicos y económicos sensiblemente distintos en cada caso.

Al igual que en las tres rondas anteriores, las ofertas se comparan con base en tres criterios: el programa exploratorio comprometido para el primer subperíodo exploratorio, el incremento del porcentaje de *profit oil* para el Estado Uruguayo y el máximo porcentaje de asociación de ANCAP. En caso de recibir más de una oferta por la misma área en la misma instancia, las ofertas son comparadas numéricamente, de forma objetiva y transparente, y el área es simplemente adjudicada a la oferta de mayor puntaje.

Los modelos de contrato aprobados por ANCAP y el MIEM en la Ronda Uruguay Abierta son similares a los típicos PSC ampliamente utilizados en la industria, en los que los riesgos, costos y responsabilidades, tanto de la etapa de exploración como de la producción, son asumidos por el contratista, que no recibe compensación alguna si no hay producción de hidrocarburos. Las principales características de los PSC de Uruguay son, siguiendo a Ferro *et al*. (2017):

- Los yacimientos y las sustancias extraídas son propiedad del Estado uruguayo.
- El contratista debe proveer los recursos técnicos y financieros para ejecutar las operaciones.
- El período de exploración, que tiene un plazo de hasta 11 años, se divide en tres subperíodos.
- El plazo total del contrato, incluyendo el período de explotación, es 30 años, que pueden ser extendidos por 10 años adicionales si es solicitado por el contratista por razones justificadas y es aprobado por el Poder Ejecutivo.
- ANCAP tiene el derecho (no la obligación) de asociarse después de que haya una declaración de comercialidad de un descubrimiento.
- Al contratista se le permite recuperar el *cost oil* (los costos de capital y los costos operativos). Los costos de capital incluyen la perforación de pozos y la construcción de infraestructura (por ejemplo, plataformas, oleoductos, gasoductos y equipos, etc.), y son recuperados en 20 cuotas trimestrales. Los costos operativos, tanto los fijos como los variables, se recuperan trimestralmente. Para cualquier trimestre dado, si el *cost oil* es mayor al límite permitido, el monto de *cost oil* no recuperado se traslada y se recupera en el siguiente trimestre, hasta que se recupera totalmente.
- El *profit oil* es la porción de los ingresos remanente luego de que se deduce el *cost oil*. Se reparte entre el Estado y el contratista con base en una escala ascendente, por la cual el porcentaje de *profit oil* del Estado uruguayo se incrementa a medida que crece el factor R, que se define como la relación entre los ingresos brutos y los costos totales.
- El contrato estipula una obligación de mercado doméstico, pero el precio al cual el petróleo es valuado es el mismo que el precio internacional de una canasta de crudos de la misma calidad.
- El contratista paga el Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE) del 25% sobre su cuota parte del *profit oil.*

- Todos los impuestos, excepto el IRAE y la seguridad social de los trabajadores, están exonerados por la Ley de Hidrocarburos.
- El contrato se rige por las leyes de la República Oriental del Uruguay.

La tajada del gobierno en el marco de la Ronda Uruguay Abierta

La llamada tajada del gobierno es el parámetro más popular para el diseño del régimen fiscal y representa el porcentaje del beneficio económico que captura el gobierno por todas las vías por las que el Estado obtiene renta (incluyendo regalías, impuestos, bonos, *profit oil* y participación de la petrolera estatal). El complemento de la tajada del gobierno es la tajada del contratista (Johnston, 2014).

La tajada del gobierno y la tajada del contratista dan una medida rápida para comparar distintos regímenes fiscales y se correlacionan con otros parámetros, tales como el título sobre los hidrocarburos que le corresponde a cada parte por contrato. Diseñar un régimen fiscal que maximice la tajada del gobierno no es una tarea simple, ya que los Estados deben desarrollar un sistema que sea suficientemente atractivo como para obtener la inversión a riesgo por parte de las petroleras, pero que no entregue el recurso soberano del Estado en caso de un descubrimiento sin un retorno justo (Bock y Rodríguez, 2011).

Tal como se ilustra en la figura 3 (cuadros de texto en azul), el Estado uruguayo captura renta de la actividad petrolera mediante tres mecanismos:

- El porcentaje de *profit oil* del Estado uruguayo.
- El margen neto de ANCAP (si se asocia al proyecto).
- El IRAE (que se aplica sobre el *profit oil* de la IOC y sobre el *profit oil* de ANCAP).

El régimen fiscal de la Ronda Uruguay Abierta fue diseñado de forma tal que la mínima tajada del gobierno que le corresponde al Estado Uruguayo es levemente superior al 50% (Blánquez y Ferro, 2019). Esta tajada del gobierno es comparable con la de otros destinos de frontera exploratoria y razonable para incentivar la exploración en cuencas de alto riesgo geológico.

Ahora bien, actualmente se cuenta con contrato por el área OFF-1 y ofertas en proceso de aprobación y firma para todas las áreas restantes, por lo que se puede calcular la tajada del Estado uruguayo en todos los contratos. En la figura 3 se presenta también la tajada de un contrato promedio, calculada a partir de las ofertas reales recibidas, aplicando el modelo técnico-económico del desarrollo hipotético de un prospecto de aguas profundas. La tajada de la IOC es de 40%, la de ANCAP es de 11% y la del gobierno uruguayo es de 49%. Por lo tanto, considerando las tres vías por las que Uruguay captura renta, la tajada del Estado uruguayo es de 60%, que es comparable con la de muchos otros países, incluso en los que se produce o en los que ha habido descubrimientos de hidrocarburos, tal como se ilustra en la figura 4.

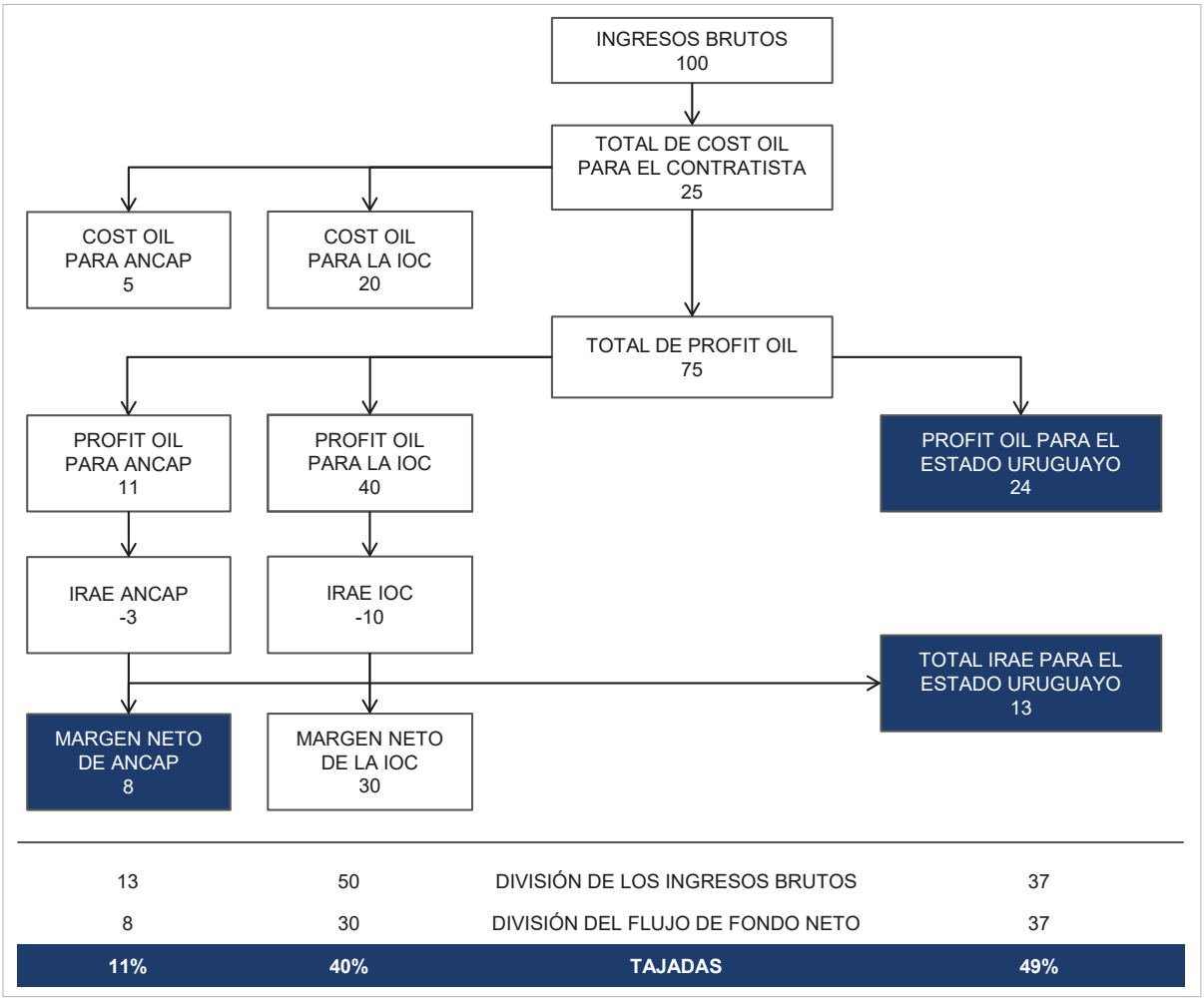


Figura 3: Diagrama de flujo de fondo del PSC Uruguayo; cálculo de la tajada del gobierno de un contrato promedio.

Cabe señalar que la tajada del gobierno tiene ciertas limitaciones, por lo que se utilizan algunos otros parámetros o estadísticas complementarias que agregan perspectiva para describir un régimen fiscal dado (Johnston, 2007). En tal sentido, se analizó la progresividad, la tasa efectiva de regalía, el índice de ahorro y el título sobre los hidrocarburos de los contratos PSC de E&P de hidrocarburos en Uruguay. En primer lugar, el régimen fiscal diseñado para los contratos del *offshore* de Uruguay es progresivo. Adicionalmente, para el contrato promedio considerado, la tasa efectiva de regalía es de 5%, el índice de ahorro es de 53% y el título sobre los hidrocarburos es de 65%, todos parámetros comparables con valores globales y que reflejan un régimen fiscal saludable y adecuadamente diseñado.

Por último, vale la pena estimar de cuánto podría ser el impacto de un descubrimiento

en la economía uruguaya. Un descubrimiento de un yacimiento de unos 1000 millones de BOE (barriles equivalentes de petróleo), considerando el precio del barril de petróleo actual y el reparto ejemplificado en la figura 3, podría implicar ganancias netas para ANCAP de USD 8.000 millones y para el gobierno uruguayo (por concepto de su parte del *profit oil* y el IRAE) de USD 36.000 millones, a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, considerando 30 años de producción. Obviamente, estos ingresos no se dan homogéneamente durante los 30 años, ya que el perfil de ingresos acompaña el perfil de producción del yacimiento, con un pico al cuarto año de producción y una declinación natural hasta la depleción total del reservorio. Pero si consideráramos que se obtienen de forma homogénea, representarían USD 270 millones por año de ganancia para ANCAP y USD 1200 millones por año para Rentas Generales del Estado uruguayo. A modo de comparación, ANCAP en 2022 tuvo un resultado neto de USD 163 millones (ANCAP, 2023a) y el Estado uruguayo un gasto del presupuesto nacional en 2022 de unos USD 17.000 millones (Oficina de Planeamiento y Presupuesto, 2023). Pero difícilmente, después de que se da un descubrimiento de hidrocarburos, se encuentre un único yacimiento, por lo que estos montos podrían multiplicarse.

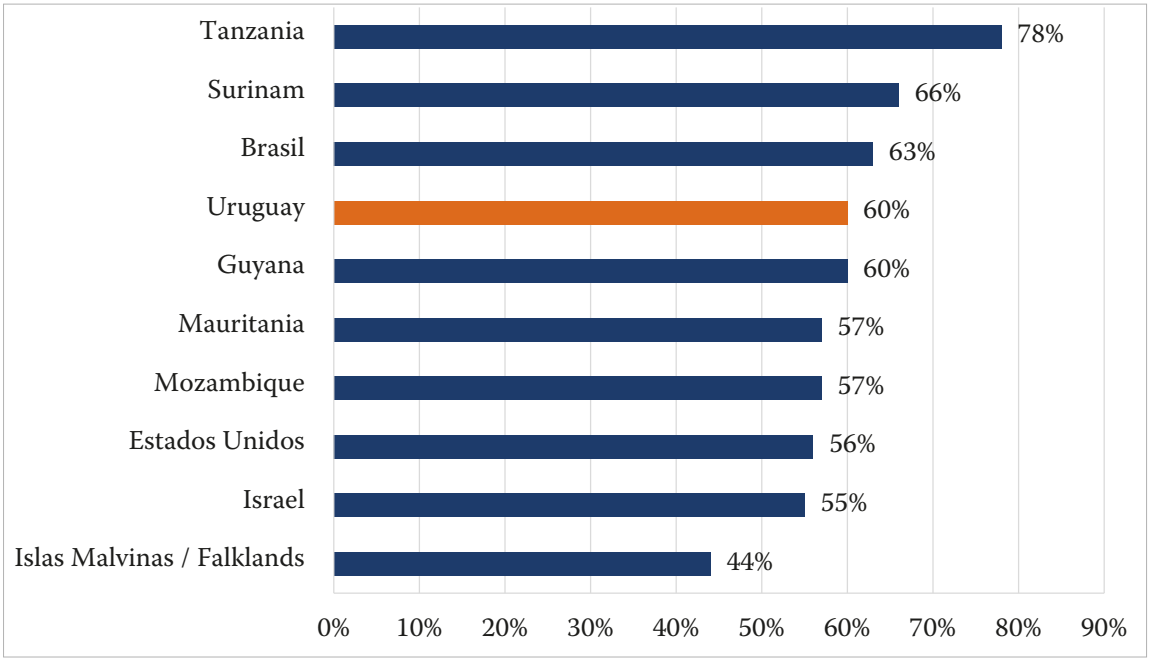


Figura 4: Tajada del gobierno de proyectos del upstream *en países de frontera exploratorio seleccionados. Adaptado de Rystad Energy UCube (OilNOW, 2020).*

Contratos multicliente

Los contratos multicliente son aquellos en los que las empresas de servicios petroleros (mayormente empresas de adquisición sísmica o de otras tecnologías geofísicas) invierten a su propio costo y riesgo en la generación de datos o productos que potencialmente podrían ser licenciados por varias empresas petroleras.

El hecho de que la estrategia de ANCAP y del gobierno uruguayo (a través del MIEM) haya sido realizar rondas de licitaciones de áreas *offshore* de forma frecuente, con una gestión transparente y predecible, ha generado una dinámica en la que las empresas de servicios apostaron fuertemente a invertir a su propio costo y riesgo en programas multicliente en el *offshore* de Uruguay, ya sea para la adquisición de datos o para agregar valor sobre los datos existentes. Tal como se puede apreciar en la figura 2, el número de contratos multicliente entre ANCAP y empresas de servicio ha crecido de forma constante desde que comenzaron las rondas de áreas *offshore*, con condiciones cada vez más favorables para ANCAP. De los 29 acuerdos multicliente que ANCAP ha suscrito con empresas de servicios desde el año 2002, 20 se encuentran vigentes actualmente.

Resulta importante enfatizar que estos acuerdos son no exclusivos, todo el costo y el riesgo de los contratos lo asume la empresa de servicios, ANCAP es propietario de los datos y obtiene una cuota parte de los ingresos por venta de los productos generados. A cambio, la empresa de servicios tiene el derecho exclusivo de comercializar los productos por un período de tiempo dado (típicamente, entre 5 y 10 años).

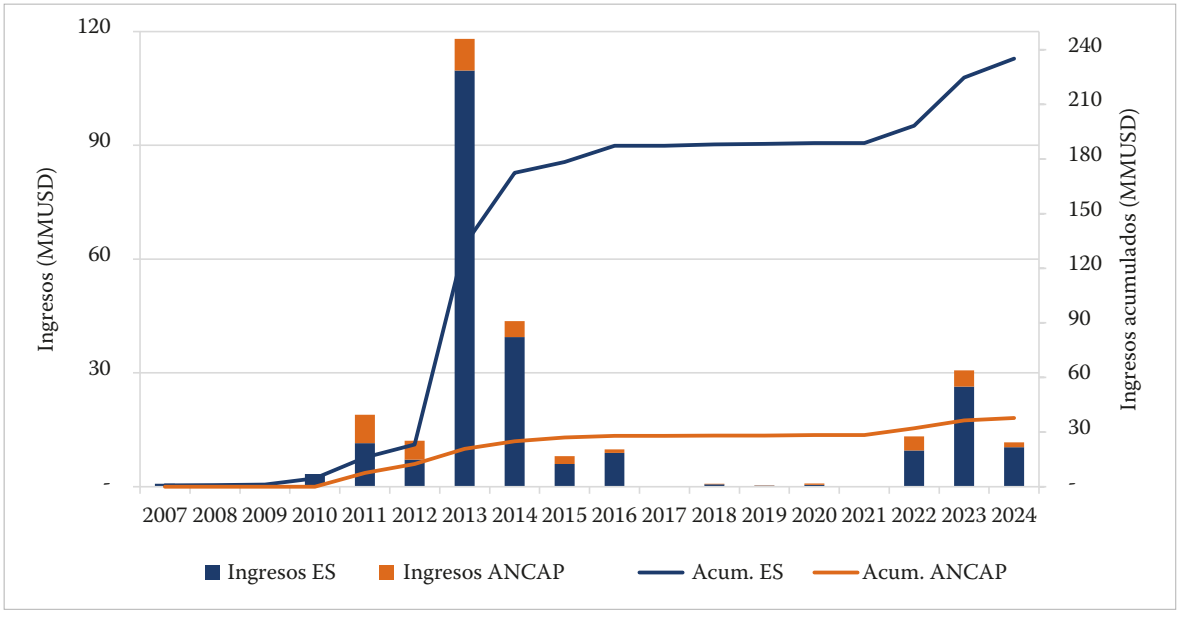


Figura 5: Ingresos por venta de productos multicliente.

ANCAP ha desarrollado esta herramienta y realizado este tipo de contratación con las empresas de servicio más importantes de la industria petrolera (AGI, CGG, EMGS, ION, PGS, Schlumberger, Spectrum, TGS, entre otras), lo que le ha posibilitado importantes ingresos (más de USD 29 millones, tal como se ilustra en la figura 5). Adicionalmente, estas empresas de servicios tienen estrategias de *marketing* sumamente activas y eficaces, que promocionan constantemente sus datos, lo que para ANCAP implica el valor agregado de que, al mismo tiempo que las empresas de servicios ofrecen sus productos, están transmitiéndoles a las empresas petroleras sobre las oportunidades de exploración en Uruguay.

En conclusión, los contratos multicliente han constituido, junto con las rondas de E&P, una herramienta poderosa a efectos revitalizar la exploración de las cuencas de frontera costa afuera de Uruguay, permitiendo asimismo incrementar significativamente la información geológica y geofísica disponible de las cuencas uruguayas y reduciendo de esta manera el riesgo exploratorio.

Rol clave del gas natural

El gas natural está llamado a jugar un papel clave como energético de transición, ya que puede responder a la creciente demanda de energía y contribuir, al mismo tiempo, a reducir drásticamente las emisiones de carbono. A modo de ejemplo, la sustitución de combustión de carbón por gas natural para la generación de energía eléctrica en centrales térmicas o en industrias pesadas como las metalúrgicas o cementeras favorecería significativamente la descarbonización global. Adicionalmente, el gas natural tiene la ventaja de que la energía eléctrica que se produce con este combustible es despachable, por lo que constituye el complemento ideal de las energías renovables intermitentes, tales como la solar, la eólica y la hidroeléctrica.

Por otra parte, los recientes descubrimientos del *offshore* de Namibia revelaron la prospectividad y el potencial hidrocarburífero del segmento meridional del Atlántico Sur, posicionando nuevamente esta zona de frontera exploratoria en el radar de la industria petrolera. La correlación a través de atributos sísmicos entre la Cuenca de Orange y las cuencas *offshore* de Uruguay muestra fuertes analogías, vinculadas con la presencia de roca madre aptiana, que generó los hidrocarburos descubiertos en los pozos Venus y Graff. Sin embargo, las características geológicas inferidas para la secuencia aptiana muestran que en el margen uruguayo esta es más espesa y se encuentra algo más profunda que en Namibia. Estas características, junto con la presencia de otros indicios, tales como chimeneas de gas (identificados a partir de la interpretación de datos sísmicos), sugieren que habría diferentes regiones con potencial de acumulación de gas natural en el margen uruguayo.

Por lo tanto, el descubrimiento y la potencial producción de gas natural de nuestras cuencas *offshore* serían importantes para sustentar una transición energética responsable en Uruguay y continuar descarbonizando su matriz energética.

Hidrógeno verde

El hidrógeno verde y sus derivados tienen un rol futuro fundamental en procesos y actividades difíciles de descarbonizar (por ejemplo, la industria y el transporte pesados), y, en consecuencia, ANCAP tiene un rol esencial para jugar en la segunda etapa de la transición energética en Uruguay, ya que esta va más allá de la producción de electrones renovables y se basa en la producción de moléculas sustentables de bajo contenido de carbono.

El Hydrogen Council estima que Europa y la región de Asia Pacífico consumirán en 2050 más del hidrógeno verde que producen (Hydrogen Council, 2022). En este escenario, Uruguay puede posicionarse estratégicamente como un exportador importante de este vector energético. Nuestro país publicó en 2022 la *Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay* (MIEM, 2022), que comprende varios elementos necesarios para apuntalar su desarrollo, tales como innovación, regulación, promoción de inversiones, construcción de capacidades, cooperación internacional, infraestructura y logística, incluyendo la producción de hidrógeno verde a partir de energía eólica *offshore*, que liderará ANCAP a través de rondas.

ANCAP lanzará la Ronda H_2U Offshore, por la cual ofrecerá áreas *offshore* a empresas de energía para llevar adelante estudios de factibilidad para la instalación de infraestructura para producir hidrógeno o sus derivados a partir de energía renovable. A pesar de que puede considerarse un proyecto a largo plazo para alcanzar la escala de los gigavatios, ya hay empresas de energía y proyectos a escala global desarrollando la producción de hidrógeno a partir de energía eólica producida *offshore* (Tomasini *et al*., 2022).

A escala global hay varias empresas desarrollando proyectos en esta línea. El proyecto piloto PosHYdon, localizado en el sector holandés del Mar del Norte, propiedad de la empresa petrolera Neptune Energy, es la primera planta de hidrógeno verde *offshore* del mundo y tiene como objetivo integrar tres sistemas de energía: eólica marina, producción de gas natural e hidrógeno verde (Neptune Energy, 2023). Asimismo, el proyecto AmpHytrite, localizado en el puerto de Rotterdam, apunta a hacer funcionar una unidad de producción de hidrógeno centralizada, *offshore* y fuera de la red, operando esta unidad de producción de hidrógeno verde mediante energía eólica marina (Windpowernl, 2023). Por último, Lhyfe es una empresa pionera en hidrógeno verde, dedicada a la transición energética, que inauguró en 2022 la primera plataforma piloto del mundo para la producción de hidrógeno verde en la costa de Le Croisic, Nantes (Lhyfe, 2023).

Adicionalmente, hay países organizando licitaciones por áreas *offshore* para la producción de hidrógeno verde a partir de energía eólica, de características similares a la propuesta de ANCAP. Países Bajos planifica un proyecto de demostración de hidrógeno en escala menor a los 100 MW, a partir de un parque eólico marino, para lo cual realizará una licitación que se espera que entre en operación en 2026-2028, y un segundo proyecto, de 500 MW, para su ingreso en operación a 2031 (Buljan, 2023a). Asimismo, la Agencia Danesa de Energía ha invitado a

presentar propuestas para construir y operar proyectos para producción de derivados de hidrógeno verde, para lo cual el país ha puesto a disposición un subsidio de aproximadamente € 168 millones. Según la estrategia de Dinamarca, los recursos eólicos marinos del país proporcionan buenas condiciones para la producción de hidrógeno verde, que requiere grandes cantidades de electricidad renovable (Buljan, 2023b). Finalmente, Alemania ha dado los primeros pasos para establecer una licitación eólica marina para la producción de hidrógeno verde, publicando una ordenanza clave que cubre la zona económica exclusiva y los criterios para las subastas (Renews.biz, 2021).

Modelo de negocio y de contrato

Las bases de la ronda y el modelo de contrato que ANCAP ha diseñado para la Ronda H_2U Offshore presenta varias analogías con la E&P de hidrocarburos.

Las empresas de energía deberán calificar con base en sus antecedentes técnicos, económicos y legales, y sólo las empresas calificadas podrán presentar ofertas. Al igual que en las rondas de E&P, las ofertas se comparan según tres criterios: el programa de trabajo comprometido para los subperíodos 1 y 2, el incremento del *profit* para el Estado uruguayo y el porcentaje de asociación de ANCAP en el proyecto.

Los contratos que se han propuesto para la Ronda H_2U Offshore son como los típicos contratos de producción compartida usados en la industria petrolera. Las principales características de estos contratos son:

- El contratista tiene el derecho exclusivo de llevar adelante los trabajos de evaluación de factibilidad y potencial producción de hidrógeno verde o sus derivados, a partir de energías renovables generadas en el área *offshore*.
- El contratista asume todos los riesgos, costos y responsabilidades inherentes a las operaciones, aportando todos los recursos técnicos y financieros para ello.
- El período de evaluación, que tiene un plazo de diez años, está dividido en tres subperíodos. En el subperíodo 1 el contratista debe completar el trabajo de evaluación que presentó en la oferta (estudios sobre información existente). El subperíodo 2 es opcional para el contratista y si este decide pasar a esta segunda etapa tiene que cumplir también con el trabajo comprometido en la oferta (adquisición de nuevos datos). El subperíodo 3 también es opcional y debe incluir un piloto de producción de hidrógeno o adquisición de más datos.
- El plazo del contrato incluyendo los períodos de evaluación, desarrollo y producción es de cuarenta años y puede ser extendido por el Poder Ejecutivo.
- El contrato da flexibilidad en términos de concepto de desarrollo y ANCAP tiene el derecho de asociarse, asumiendo su cuota parte de los costos y recibiendo su parte de los ingresos.
- Los ingresos se dividen en tres partes: *cost* (limitado al 80% de los ingresos brutos), *profit* del contratista y *profit* para el Estado uruguayo. Los ingresos brutos

incluyen todos los ingresos que el contratista pueda obtener por vía del contrato (hidrógeno, derivados y subproductos, incluyendo venta de energía eléctrica si la hubiera). El contratista recupera los costos operativos y de capital a través del *cost*. El contratista paga IRAE sobre su *profit* y si ANCAP se asocia también lo hace.

- ANCAP y el Estado uruguayo tienen el derecho de recibir su cuota parte del *profit* en dinero o en especie.

- El contratista tiene el título sobre el hidrógeno o los derivados que puedan producirse y puede disponer libremente de esta producción. Aplica, al igual que en el caso de la producción de hidrocarburos, una obligación de mercado doméstico, que estipula que ANCAP tiene el derecho preferencial de comprar la producción para abastecer la demanda doméstica al mismo precio que el internacional.

Hay varios desafíos para estos tipos de proyectos de producción de hidrógeno verde y derivados a gran escala, tales como el alto costo de las tecnologías involucradas y el mercado destinatario de los productos, sobre los que hay una gran incertidumbre. El objetivo de ANCAP es mitigar estos dos grandes desafíos proporcionando tiempo y flexibilidad en el marco del contrato. En tal sentido, en la Ronda H_2U Offshore ANCAP brinda suficiente flexibilidad para que la empresa decida el concepto de desarrollo del proyecto en función de sus fortalezas, la estrategia preferida y la evaluación técnico-económica de los proyectos correspondientes. A modo de ejemplo, existe la opción de producir hidrógeno directamente desde una plataforma mar adentro o, por otro lado, proporcionar electricidad desde los aerogeneradores marinos mediante cables, para producir hidrógeno de manera más convencional con los electrolizadores en tierra firme; tampoco está definida la escala del proyecto ni sus fases de desarrollo, quedando a decisión del desarrollador. Por otra parte, el contrato le otorga a la empresa tiempo suficiente para que evalúe adecuadamente el proyecto, mientras que el mercado comprador se desarrolla y los costos de las tecnologías disminuyen.

Al igual que en el caso de la eventual producción de hidrocarburos, tal como se presentó en la figura 3, el Ingreso Bruto se divide en el *cost*, el margen neto de ANCAP, el margen neto del contratista, el IRAE y el *profit* del gobierno uruguayo. Por lo tanto, el Estado uruguayo captura renta, o una compensación a cambio de darle a la empresa privada el derecho del uso del viento y del espacio marítimo, por las mismas tres vías coloreadas en azul en la figura 3.

Finalmente, las analogías y diferencias entre los modelos de negocio de E&P y el propuesto por ANCAP para la Ronda H_2U Offshore se resumen en la tabla 1.

ANCAP ha definido varias áreas, en aguas someras adecuadas para aerogeneradores fijos en el lecho marino, de una superficie aproximada de 760 km^2. Estas áreas fueron delimitadas de forma tal que minimizan la superposición con zonas de relevancia ecológica, la interferencia con otras actividades (tránsito y operaciones marítimas, pesca, cables submarinos y la actividad de E&P de hidrocarburos) y, obviamente, la presencia y la

calidad del recurso eólico. Cada área tiene el potencial de generación de 3 GW y de alcanzar una producción *plateau* de aproximadamente 160.000 t de hidrógeno por año (Ferro *et al*., 2023).

El modelo técnico-económico probabilístico publicado (Ferro *et al*., 2023) arrojó como resultado un costo del hidrógeno verde de entre 1,75 y 5,27 USD/kg, siendo 2,58 USD/kg el valor medio de la distribución resultante. Con este valor de costo, la producción de combustibles sustentables (*e-fuels*) o fertilizantes verdes puede lograrse a gran escala con resultados económicos competitivos.

Tabla 1: Comparación de los modelos de negocios de E&P y la Ronda H2U Offshore

E&P	**H_2U** ***Offshore***
Empresas petroleras (IOC).	Empresas energéticas (IEC).
Producto: petróleo o gas natural (moléculas).	Producto: hidrógeno o derivados (moléculas).
Riesgo principal: inexistencia de acumulación comercial de hidrocarburos.	Riesgo principal: costos de la tecnología y desarrollo del mercado para los productos.
Costo y riesgo soportados enteramente por el contratista.	Costo y riesgo soportados enteramente por el contratista.
ANCAP tiene el derecho de asociarse si hay un descubrimiento comercial de hidrocarburos.	ANCAP tiene el derecho de asociarse si se presenta el compromiso del desarrollo del proyecto.
Fases: exploración, desarrollo y producción.	Fases: evaluación, desarrollo y producción.
Exploración: cientos de millones de dólares invertidos en datos geofísicos y pozos exploratorios.	Evaluación: decenas de millones de dólares invertidos en datos metoceánicos, geotécnica y evaluación de recursos.
La empresa puede devolver el área en cualquier momento, una vez cumplidos los trabajos exploratorios comprometidos.	La empresa puede devolver el área en cualquier momento, una vez cumplidos los trabajos de evaluación comprometidos.
Desarrollo: miles de millones de dólares propuesto y comprometido por el contratista sólo si hay un descubrimiento comercialmente explotable.	Desarrollo: miles de millones de dólares, propuesto y comprometido por el contratista sólo si la evaluación de factibilidad del proyecto es viable y positiva.
Cost oil (para recuperar el CAPEX y el OPEX).	Cost (para recuperar el CAPEX y el OPEX).
Profit oil compartido entre el contratista y el Estado uruguayo.	Profit compartido entre el contratista y el Estado uruguayo.
El Estado uruguayo retiene el título de la producción y le paga al contratista con parte de la producción en especie (sólo si hay producción).	El contratista tiene el título sobre la producción y le paga al Estado uruguayo una pequeña parte de las ganancias en dinero o en especie (sólo si hay producción).

La tajada mínima del Estado uruguayo, que se obtiene a partir de la suma de la tajada de ANCAP (que asumimos en el modelo que se asocia con un 20%) y la tajada del gobierno, arroja un resultado de 43%. Si bien esta tajada del Estado uruguayo puede resultar demasiado excesiva para un proyecto en el cual todos los costos y riesgos son soportados por la empresa privada, la mayor fuente de ingresos para el Estado es el IRAE, por

lo que este podría viabilizar el proyecto, en caso de ser necesario, reduciendo su tajada a través de una reducción impositiva.

Por último, dado que la incertidumbre sobre los precios futuros del hidrógeno verde es muy grande, resulta temerario estimar ingresos en valores absolutos y el impacto de esta actividad en los resultados de ANCAP o en la economía uruguaya. Sin embargo, hay tendencias que se confirman: los proyectos petroleros tienen un alto riesgo exploratorio, son muy rentables si se encuentra y puede explotar la acumulación de hidrocarburos; por el contrario, el negocio de hidrógeno verde tiene menor rentabilidad dado su desarrollo, pero el riesgo de presencia y calidad del recurso eólico es prácticamente nulo, el mayor desafío es el mercado, junto al precio de los productos.

Consideraciones finales y conclusiones

Uruguay ha avanzado en la primera fase de la transición energética, generando su electricidad prácticamente a partir de energías renovables, y ha identificado al hidrógeno verde y sus derivados como pilares claves para la segunda fase de la transición, en la que pretende descarbonizar los otros sectores de su economía. Adicionalmente, el hidrógeno verde y sus derivados pueden representar el vector energético sustentable a través del cual nuestro país exporte su abundante recurso solar y eólico.

ANCAP continúa impulsando la E&P de hidrocarburos en su ZEE, lo que se combina con la avidez de la industria petrolera de explorar en los márgenes del Atlántico Sur, como consecuencia de los importantes descubrimientos en la Cuenca Orange en Namibia. La petrolera estatal uruguaya ha sido capaz de atraer más de mil millones de dólares de inversión de las principales empresas de energía del mundo e intenta extrapolar esta capacidad para captar la inversión en la Ronda H_2U Offshore.

La exploración y la eventual producción de hidrocarburos no implican un retroceso en la transición energética. De hecho, el gas natural podría constituir un excelente respaldo despachable, de bajas emisiones de carbono, de las energías renovables intermitentes. En el caso de que Uruguay no consumiera combustibles fósiles y tuviera producción, podría eventualmente exportarla toda, beneficiándose de los ingresos que la venta de estos recursos implicara. Más aún, Uruguay podría inspirarse en la gestión de recursos que hacen otros países, como Noruega, y crear un fondo soberano con parte de los ingresos de la industria petrolera, para invertir en proyectos de energías renovables e hidrógeno verde, impulsando aún más la segunda fase de la transición energética.

El hidrógeno verde y sus derivados son claves para alcanzar los objetivos de emisiones cero neto para 2050, en particular para descarbonizar los sectores cuyas emisiones son difíciles de abatir, como la industria y el transporte pesados. El modelo de negocio de la Ronda H_2U Offshore propuesto por ANCAP presenta varias analogías con el de la industria petrolera. Sin embargo, en la industria petrolera el mayor riesgo es la presencia o no del recurso, mientras que en el negocio del hidrógeno verde el riesgo principal es

conseguir el comprador a precios que viabilicen el desarrollo de los proyectos.

Por último, existe un sinnúmero de aspectos en común entre estos dos grandes proyectos energéticos del *offshore* de Uruguay, como el tipo de empresas de energía capaces de desarrollarlos, las operaciones que involucran, los montos de las inversiones requeridas y la experticia necesaria, tanto en las empresas desarrolladoras como en la contraparte estatal, lo que motiva que ANCAP esté gestionándolos y articulándolos de forma simultánea, maximizando las sinergias entre ellos, en el sentido de que el descubrimiento y la potencial producción de hidrocarburos en nuestras cuencas *offshore* serían importantes para sustentar una transición energética responsable en nuestro país.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Ferro, S., N. Blánquez, C. Romeu, J. Marmisolle y J. Tomasini, 2024, La transición energética y el offshore de Uruguay, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 487-510, doi: 10.70952/a8827tmuc4-5

Epílogo

Rambla de Montevideo, fotografía de Margarita González Rodríguez-Villamil (margamegpics@gmail.com).

Epílogo

Pablo Gristo Savornin,[1] Héctor de Santa Ana[2] y Gerardo Veroslavsky[3]

[1] *Gerencia de Transición Energética, ANCAP*

[2] *Subgerencia General de Asuntos Estratégicos, ANCAP*

[3] *Instituto de Ciencias Geológicas (ICG), Facultad de Ciencias, Universidad de la República*

Crear el navío no es tejer las telas, forjar los clavos, leer los astros, sino más bien transmitir el gusto del mar... Crear el navío, no es preverlo en detalle. Pues si por mí mismo intento construirlo, nada que valga la pena lograré de su diversidad. Todo se modificará al salir a la luz del día, y otros distintos a mí pueden emplearse en esas invenciones. No me corresponde conocer cada clavo del navío. Sino aportar a los hombres la inclinación hacia el mar.

Antoine de Saint-Exupéry (Citadelle)

Uruguay surge como una tierra de disputa entre potencias coloniales y se ha construido a partir de su privilegiada posición geográfica con salida al océano Atlántico y conexión con el continente a través del Río de la Plata. Su consolidación como nación ha estado marcada, en buena parte, por una expansión hacia ese mar: la puerta de ingreso para la libre navegación a los ríos interiores, la lucha de puertos, la disputa por los límites del Río de la Plata, la elaboración de cartografía, el balizamiento y la instalación de faros para asegurar la navegación, la defensa y la promoción de la pesca, la integración al Tratado Antártico y la reciente extensión de los límites de la plataforma continental. Los uruguayos, su cultura y su historia se identifican con su territorio marítimo, aunque no esté presente en muchas de sus tradiciones o su cotidianeidad. Parece ser una "cosa o región" muy distante, desconocida, peligrosa e inasible. El presente libro intenta evocar el anhelo por el mar, por descubrir sus secretos y sus tesoros, por aprovechar sus recursos y, a la vez, preservar y proteger su naturaleza. Procura reflejar gran parte de lo que sabemos de nuestro mar, pero, como todo estado de situación del conocimiento, es efímero.

Existe una comunidad marítima nacional constituida por obreros, técnicos, profesionales, académicos, diplomáticos, militares, relacionados con las instituciones públicas, empresas, sindicatos y otras organizaciones

nacionales involucradas directamente en cuestiones del mar. El transporte marítimo y los puertos, y todos los servicios y actividades que derivan de estos —la pesca, las cuestiones diplomáticas, la defensa de la soberanía, la ciencia y la investigación, el turismo, la exploración de hidrocarburos y el desarrollo de la infraestructura submarina—, han contribuido a la construcción de este colectivo. Precisamente, este libro tiene el objetivo de divulgar una síntesis del conocimiento actualizado que todas esas actividades requieren sobre el territorio marítimo de Uruguay. Para lograrlo, se procuró incorporar las diferentes visiones y perspectivas de la comunidad marítima, y con ese propósito reúne a destacados profesionales, científicos, ejecutivos y técnicos, referentes en el ámbito nacional e internacional.

El mar es una fuente enorme y difícilmente sustituible de recursos para la alimentación, la energía y el comercio, y ofrece oportunidades de sustento y desarrollo para la humanidad, incluso algunos poco explorados y hasta desconocidos. Pero también su cuidado es fundamental para la supervivencia de la humanidad; los ecosistemas marinos son esenciales para múltiples procesos naturales y están sometidos a una creciente presión por el cambio climático y por las actividades humanas, las que ocurren en el mar, pero también en el continente. Esta tensión entre la conservación de los ecosistemas y la explotación de los recursos marinos ha sido y será fuente de encuentros, desencuentros y conflictos, y está naturalmente presente en los capítulos que componen el presente libro. El punto de equilibrio entre ambas tensiones es el paradigma actual del desarrollo sostenible y, en tal sentido, esperamos que este libro contribuya a los tomadores de decisión en el ámbito político, académico y de negocios en procura de esa sostenibilidad.

En esta obra se identifica que la investigación en el territorio marítimo uruguayo está soportada, en gran medida, por los datos y la información que generan las actividades productivas: la navegación, la pesca y, más recientemente, la exploración de hidrocarburos; otras veces, pocas, por el apoyo que surge de la cooperación y el interés de la comunidad científica internacional. Son pocos los esfuerzos económicos destinados exclusivamente a la investigación científica de nuestro mar, situación que el país deberá revertir si entiende que el conocimiento y la investigación permiten identificar nuevos recursos y oportunidades de desarrollo.

La historia de la pesca industrial en el Uruguay es un ejemplo de esa complementariedad entre el mundo científico y el extractivo. Por otro lado, la soberanía de nuestra nación en el mar, en la práctica, es el ejercicio de sus derechos y viene de la mano del uso y provecho que hacemos de los recursos y espacios marinos. ¿Qué derechos podríamos ejercer sobre este mar sin la presencia de uruguayos que navegan, trabajan o investigan? La soberanía se sustenta también en la ciencia y el conocimiento. Un ejemplo de ello es la extensión del límite de la plataforma continental, que surge de un largo y sistemático trabajo diplomático y académico, de una política de Estado sustentada en conocimientos geológicos, geofísicos e hidrográficos. Uruguay es un país relativamente pequeño y con un presupuesto muy limitado para custodiar su inmenso territorio marítimo, por lo tanto, es imperioso procurar estas

sinergias entre la ciencia y las actividades productivas, y de ambas como soportes de la soberanía en el mar.

A lo largo de varios capítulos se indica que la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, el Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, y otros acuerdos internacionales y doctrinas jurídicas otorgan al Estado uruguayo derechos exclusivos sobre los recursos naturales del mar (la columna de agua, el lecho marino y el subsuelo, o todos estos componentes dependiendo de la jurisdicción). Pero, al mismo tiempo, también se incorporan obligaciones y limitaciones al ejercicio de estos derechos. A medida de las necesidades, por impulso de un problema o preocupación derivado de la actividad marítima, han surgido nuevos acuerdos internacionales que el Uruguay ha ratificado, se han adaptado convenios existentes y se han regulado a escala nacional algunas disposiciones marco establecidas por estos acuerdos.

La conquista de una nueva frontera marítima casi hasta las 350 millas marinas extiende estos derechos y obligaciones, y moviliza la necesidad histórica del Uruguay de construir una visión y una proyección colectiva sobre su territorio marítimo. En este sentido, aún es necesario legislar para ratificar ese límite exterior de la plataforma continental, aprobado por las Naciones Unidas, así como también es imperioso definir políticas de Estado sobre el territorio marítimo.

En los últimos quince años se ha incrementado de forma notable el conocimiento sobre la naturaleza física de nuestros fondos marinos, desde la ruptura de Gondwana hasta el nacimiento del océano Atlántico, acontecimientos íntimamente relacionados con el origen y la evolución de las cuencas *offshore* de Uruguay. Se han identificado eventos y procesos geológicos y geomorfológicos impulsados por la tectónica de placas, el clima y los cambios en el nivel del mar, que han dejado un registro de miles de metros de sedimentos en estas cuencas. Al mismo tiempo, se ha reconocido la importancia de las corrientes de contorno y turbidez en la dinámica de estos sedimentos, responsables de la arquitectura de nuestra plataforma y talud continental. Este conocimiento ha sido fundamental para definir el potencial de los recursos del subsuelo y el lecho marino en nuestro país, tales como el petróleo y el gas, los hidratos de gas y los minerales marinos, pero también tiene importancia para la exploración y el desarrollo de otros recursos, incluyendo la energía renovable, y para la construcción de infraestructura marina.

El margen continental uruguayo muestra una gran complejidad oceanográfica, por la confluencia y mezcla de múltiples masas de agua con características contrastantes, una alta variabilidad estacional e interanual, y una influencia marcada de las descargas del Río de la Plata en la plataforma y, en ocasiones, también en aguas más profundas por fenómenos de gran escala. Se requerirá mayor número y frecuencia de observaciones para caracterizar este complejo sistema y sus efectos en los ecosistemas (y, derivado de ello, en las pesquerías), y monitorear los efectos del cambio climático en la circulación. La actividad y la distribución de las comunidades pelágicas y bentónicas presentes en el margen uruguayo están fuertemente influidas por esta dinámica de masas de agua, y muestran marcadas heterogeneidades espaciales y temporales. A

partir de datos obtenidos en las últimas campañas oceanográficas, es posible identificar y caracterizar ambientes de plataforma, talud y aguas profundas con patrones distintivos en la presencia de fitoplancton y zooplancton, asociados a las características fisicoquímicas de la columna de agua. Estos datos también han permitido asociar la distribución y la riqueza de los bentos a la morfología del fondo marino, en particular los cañones submarinos como zonas de gran productividad.

La explotación de los recursos biológicos ha permitido avanzar sobre nuestro mar y sacar provecho de él, desde la caza de ballenas y lobos marinos en siglos pasados hasta las pesquerías artesanales e industriales contemporáneas. La incursión del Estado en las cuestiones de la pesca también ha permitido multiplicar el conocimiento del medio marino. Actualmente, la actividad se encuentra en un mínimo histórico con respecto a décadas pasadas y enfrenta desafíos vinculados al ambiente, la explotación sustentable y su competitividad y modernización, aunque también muestra el potencial para consolidar las pesquerías existentes y diversificar las especies explotadas. Por el contrario, el transporte marítimo se ha incrementado notablemente en las últimas décadas, con una actividad portuaria sin precedentes y apuntalando al Uruguay como puerta de entrada y de mercadería en tránsito hacia la cuenca del Plata y, en particular, a la hidrovía Paraguay-Paraná, el mayor sistema navegable del mundo. El desarrollo de estos sectores y otras actividades en el mar requerirá seguir fortaleciendo las capacidades nacionales en materia de ingeniería marítima, en especial en la observación y el pronóstico del clima, y en el diseño y la operación de infraestructuras que permitan un uso seguro y sustentable del territorio.

Resultado de un trabajo combinado institucional y académico, se ha logrado definir sitios marinos de especial relevancia para la conservación, que se espera permitan dirigir los esfuerzos y definir medidas específicas para preservar ecosistemas marinos de alto valor y sensibilidad, frente al ineludible avance y desarrollo de los usos y actividades marinas, actuales y potenciales en el futuro. En tal sentido, queda mucho por trabajar respecto a los aspectos ambientales del tránsito marítimo, la pesca y otras actividades y usos, en cuanto a conocer la situación actual y a establecer medidas de mitigación, si se requieren, sobre las descargas de efluentes y residuos al mar, el ruido en el ambiente marino y las emisiones hacia la atmósfera provenientes de estas actividades. Una mayor actividad también trae conflictos por el uso del espacio y es deseable que se establezcan instrumentos de planificación espacial marina, y una gobernanza acorde, que permitan gestionar estas tensiones. Vemos el futuro pleno de oportunidades para el desarrollo de los recursos que ofrece nuestro mar, algunos de los cuales constituyen una frontera del conocimiento para el país, como la eólica marina y el hidrógeno, y, a la vez, imponen nuevos desafíos en materia de sustentabilidad.

Por último, expresamos nuestro agradecimiento al esfuerzo realizado por cada uno de los colaboradores que hicieron posible esta obra. Han permitido que nuestra sociedad y la comunidad internacional tengan a disposición una puesta al día sobre nuestro mar. Su naturaleza histórica, jurídica, física, biológica, social y económica fue reseñada

con rigor. Al mismo tiempo, se ha puesto a disposición de nuestra sociedad, sobre una sólida base técnica y científica, un conjunto de valoraciones y consideraciones sobre los desafíos y perspectivas que enfrenta el presente y futuro de nuestro mar en los próximos años.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Gristo Savornin, P., H. de Santa Ana y G. Veroslavsky, 2024, Epílogo, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 511-517, doi: 10.70952/a8827tmuepil

Bibliografía

Abreu, V. S., 1998, Geologic evolution of conjugate volcanic passive margins: Pelotas Basin (Brazil) and offshore Namibia (Africa). Implication for global sea level changes: Houston, Rice University, 648 pp.

Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles (ACAP), 2024, El Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles, consultado el 25 de mayo de 2011, https://www.acap.aq/es/

Accioly, H., G. E. do Nascimento e Silva y P. Borba Casella, 2014, Manual de direito internacional público: San Pablo, Saraiva, 1000 pp.

Acha, E. M., H. W. Mianzan, O. Iribarne, D. A. Gagliardini, C. A. Lasta y P. Daleo, 2003, The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris: Marine Pollution Bulletin, v. 46, n.º 2, pp. 197-202, https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00356-9

Acha, E. M., H. W. Mianzan, R. A. Guerrero, J. Carreto, D. Giberto, N. Montoya y M. Carignan, 2008, An overview of physical and ecological processes in the Rio de la Plata Estuary: Continental Shelf Research, v. 28, n.º 13, pp. 1579-1588, https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.031

Acha, E. M., H. W. Mianzan, R. A. Guerrero, M. Favero y J. Bava, 2004, Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes: Journal of Marine Systems, v. 44, n.º 1, pp. 83-105, https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.09.005

Acuña, A., D. Caballero-Sadi, R. Canavese, R. Gurdek, C. Passadore y D. Szteren, 2014, Necton, en L. Burone y N. Venturini, eds., Uruguay margen continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, pp. 196-253.

Acuña, A., N. Muñoz, R. Gurdek, I. Machado y V. Severi, 2017, Inter-estuarine and temporal patterns of the fish assemblage of subtropical subestuaries along the Río de la Plata coast (Uruguay): Brazilian Journal of Oceanography, v. 65, pp. 173-186, https://doi.org/10.1590/s1679-87592017131106502

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2020, Offshore Uruguay: Geology and Prospectivity: Montevideo, ANCAP, 25 pp.

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2022a, News about open Uruguay round: Second instance 2022, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracion-yproduccion.ancap.com.uy/16963/3/news-about-open-uruguay-round:-second-instance-2022.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2022b, Uruguay offshore opportunities: Montevideo, AAPG-PESGB, consultado el 22 de julio de 2024, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/innovaportal/file/14874/1/2022-09-02_beos_josefinamarmisolle_uruguay-offshore-opportunites_ancap.pdf

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023a, Memoria 2022: Montevideo, ANCAP, 52 pp.

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023b, Operación Terminales, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.ancap.com.uy/2158/1/operacion-terminales.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023c, New companies qualify in the Open Uruguay Round, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/12754/3/new-companies-qualify-in-the-open-uruguay-round.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023d, Proceso de compra de crudo, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.ancap.com.uy/9043/1/proceso-de-compra-de-crudo.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023e, News about Open Uruguay Round: first instance 2022, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/14822/3/news-about-open-uruguay-round:-first-instance-2022.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023f, Ronda H2U Offshore, consultado el 26 de diciembre de 2023, https://www.ancap.com.uy/17065/5/ronda-h2u-offshore.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023g, News about Open Uruguay Round: second instance 2022, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/16963/3/news-about-open-uruguay-round:-second-instance-2022.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023h, Open Uruguay Round results for the first instance 2023, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/innovaportal/file/18158/1/2023-05-rua-first-instance-2023-v3.pdf

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023i, Promising results of the Uruguay Round Open, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/innovaportal/file/8397/1/prometedores-resultados-ronda-uruguay-abierta_eng.pdf

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023j,

Uruguay Round 2009, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracion-yproduccion.ancap.com.uy/2429/3/uruguay-round-2009.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023k, Uruguay Round 3, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/5960/3/uruguay-round-3.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP), 2023l, Uruguay Round II, consultado el 25 de julio de 2023, https://exploracionyproduccion.ancap.com.uy/2424/3/uruguay-round-ii.html

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (ANCAP) - Facultad de Ciencias, 2014, Uruguay Margen Continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, 381 pp.

Administración Nacional de Puertos (ANP), 2018, Resolución Directorio ANP n.º 443/3.934. Plan Maestro de la Administración Nacional de Puertos. Líneas Estratégicas 2018-2035. Aprobar: Montevideo, ANP, 7 pp.

Administración Nacional de Puertos (ANP), 2021, Cifras 2020: Montevideo, ANP, 43 pp.

Admiralty Charts, 2005, Admiralty digital charts and AVCS charts, PC Maritime, consultado el 26 de junio de 2024, https://www.pcmaritime.com/chart-data/admiralty-digital-charts/?gclid=CjwKCAjw__ihBhADEiwAXEaz-JtL7voY6VmnmH37TY8YxLTjR3E-Gd-YWNjYVJQ0lfui8qKPi8ZhcODxoC_ucQAvD_BwE

Advisian, 2016, Campaña oceanográfica para la elaboración de un estudio de base ambiental regional de la ZEE de Uruguay. Informe completo: Madrid, Advisian, 2128 pp.

Affatati, A. y A. Camerlenghi, 2023, Effects of marine seismic surveys on free-ranging fauna: a systematic literature review: Frontiers in Marine Science, v. 10, https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1222523

Africa Energy Corporation, 2021, Gazania 1 South Africa Block 2B, April 2021, consultado el 15 de diciembre de 2022, https://africaenergycorp.com/site/assets/files/3246/2021-04-block2b-presentation.pdf

Airamé, S., J. Dugan, K. Lafferty, H. Leslie, D. McArdle y R. Warner, 2003, Applying ecological criteria to marine reserve design: A case study from the California Channel Islands: Ecological Applications, v. 13, n.º sp1, pp. 170-184, https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0170:AECTMR]2.0.CO;2

Alemany, D., O. Iribarne y E. M. Acha, 2012, Effects of a large-scale and offshore marine protected area on the demersal fish assemblage in the Southwest Atlantic: ICES Journal of Marine

Science, v. 70, pp. 123-134, https://doi.org/10.1093/icesjms/fss166

Aljazeera, 2022, US offshore wind auction attracts record-setting bids, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.aljazeera.com/economy/2022/2/23/update-2-u-s-offshore-wind-auction-attracts-record-setting-bids

Allen, S. E. y X. Durrieu de Madron, 2009, A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf: Ocean Science, v. 5, n.º 4, pp. 607-620, https://doi.org/10.5194/os-5-607-2009

Aller, R., 2014, Sedimentary diagenesis, depositional environments, and benthic fluxes, in reference module in earth systems and environmental sciences: Treatise on Geochemistry, v. 8, pp. 293-334, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00611-2

Alloncle, N., F. Bliard, M. Campillos-Llanos, C. Cervera-Núñez, A. V. de Magalhães, G. Fauveau, A. Gimard, O. Giret, M. Gómez-Ballesteros, A. Lloret, F. Lopes Alves, M. Mahier, M. Marques, C. Murciano, M. Odion, S. Piel, A. Quintela y L. Sousa, 2019, SIMNORAT - Marine protected areas in the Bay of Biscay and Iberian Coasts - Database completion and analysis (D10): Zenodo, 19 de abril, https://doi.org/10.5281/zenodo.2597299

Almada, G. V. y A. F. Bernardino, 2017, Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic: Biological Conservation, v. 206, pp. 92-101, https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.026

Alonso, R. y S. Solari, 2020, Improvement of the high-resolution wave hindcast of the Uruguayan waters focusing on the Río de la Plata Estuary: Coastal Engineering, v. 161, 103724, https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103724

Alonso, R. y S. Solari, 2021, Comprehensive wave climate analysis of the Uruguayan coast: Ocean Dynamics, v. 71, pp. 823-850, https://doi.org/10.1007/s10236-021-01469-6

Alonso, R., G. López, R. Mosquera, S. Solari y L. Teixeira, 2014, Coastal erosion in Balneario Solís, Uruguay: Journal of Coastal Research, v. 71, pp. 48-54, https://doi.org/10.2112/SI71-006.1

Alonso, R., M. Jackson, P. Santoro, M. Fossati, S. Solari y L. Teixeira, 2017, Wave and tidal energy resource assessment in Uruguayan shelf seas: Renewable Energy, v. 114, parte A, pp. 18-31, https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.074

Alonso, R., S. Solari y L. Teixeira, 2015, Wave energy resource assessment in Uruguay: Energy, v. 93, parte 1, pp. 683-696, https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.114

Alonso, R., S. Solari y L. Teixeira, 2018, Erosion problem on a fluvial beach. The case study of "La Concordia" in the Uruguay river, Uruguay, South America: Journal of Coastal Research,

v. 85, n.º sp1, pp. 131-135, https://doi.org/10.2112/SI85-027.1

Alonso, R., S. Solari, S. Correa, A. de Lacalle, F. Pedocchi y L. Teixeira, 2015, Performance of a flap-type wave energy converter on the Uruguayan Atlantic coast, en 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), pp. 746-750, https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2015.7381249

Álvarez, A., F. Bastarrica, M. Bremermann, L. Di Chiara, I. Estrada y F. Ferrés, 2022, Monitor de Innovación y Nuevas Tecnologías: Montevideo, Observatorio de Energía y Desarrollo Sustentable, 26 p.

Álvarez Fanjul, E., S. Ciliberti y P. Bahurel, eds., Implementing operational ocean monitoring and forecasting systems: s. l., COI-UNESCO, 392 pp.

Álvarez-Romero, J., R. Pressey, N. Ban y J. Brodie, 2015, Advancing land-sea conservation planning: Integrating modelling of catchments, land-use change, and river plumes to prioritise catchment management and protection: PloS one, v. 10, e0145574, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145574

AMC Consultants, 2021, Technical report: NORI Area D Clarion Clipperton Zone mineral resource estimate, Deep Green Metals Inc., Pacific Ocean. NI43-101. Lipton I, Nimmo M, Stevenson I, qualified persons: Brisbane, Queensland, Australia, 210 pp.

Amon, D. J., S. Gollner, T. Morato, C. R. Smith, C. Chen, S. Christiansen, B. Currie, J. C. Drazen, T. Fukushim, M. Gianni, K. M. Gjerde, A. J. Gooday, G. Guillen Grillo, M. Haeckel, T. Joyini, S. J. Ju, L. A. Levin, A. Metaxas, K. Mianowicz, T. N. Molodtsova, …, C. Pickens, 2022, Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining: Marine Policy, v. 138, 105006, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105006

Andersen, T. y P. Frigaard, 2014, Wave generation in physical models: Technical documentation for AwaSys 6: Alborg, Department of Civil Engineering, Aalborg University, 212 pp.

Angiolillo, M., 2019, Debris in deep water, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 251-268, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00015-2

Arellano Rodríguez, V., 2021, Submarine cables and the marine environment: Bringing the first submarine cable to the Galapagos: Ocean Development & International Law, v. 52, n.º 3, pp. 274-296, https://doi.org/10.1080/00908320.2021.1959095

Arena, G., L. C. Barea, G. Beathyate, Y. H. Marín, C. Barreiro, D. Barreiro y J. F. Chocca, 1993, Experiencias de pesca de lenguado (*Paralichthys* spp.) con

redes gemelas de baja apertura vertical: Montevideo, INAPE, 88 pp.

Argo, 2020, Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC): s. l., Argo, https://doi.org/10.17882/42182

Armada Nacional, 2016, Memoria del Centenario del SOHMA. 15 de mayo de 1916 - 15 de mayo de 2016: Montevideo, Servicio de Oceanografía Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), 68 pp.

Armada Nacional, 2023, Disposiciones marítimas, 19 de abril de 2023, https://dirme.armada.mil.uy/index.php/marco-juridico/disposiciones-maritimas

Arroyo Martínez, I., 2005, Curso de derecho marítimo: Pamplona, Thomson-Civitas, 986 pp.

Artana, C., C. Provost, J. M. Lellouche, M. H. Río, R. Ferrari y N. Sennéchael, 2019, The Malvinas Current at the confluence with the Brazil Current: Inferences from 25 years of mercator ocean reanalysis: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 124, n.º 10, pp. 7178-7200, https://doi.org/10.1029/2019JC015289

Asaad, I., C. J. Lundquist, M. V. Erdmann y M. Costello, 2017, Ecological criteria to identify areas for biodiversity conservation: Biological Conservation, v. 213, pp. 309-316, https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.007

Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI). Acuerdo de Santa Cruz de la Sierra sobre transporte fluvial por la hidrovía Paraguay-Paraná (Puerto de Cáceres - Puerto de Nueva Palmira) y sus protocolos adicionales. Tomo I: Montevideo, Secretaría General de ALADI, 61 pp.

Aubriot, L., B. Zabaleta, F. Bordet, D. Sienra, J. Risso, M. Achkar y A. Somma, 2020, Assessing the origin of a massive cyanobacterial bloom in the Río de la Plata (2019): Towards an early warning system: Water Research, v. 181, 115944, https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115944

Austin, J. A. y E. Uchupi, 1982, Continental-oceanic crustal transition off southwest Africa: AAPG Bulletin, v. 66, pp. 1328-1347.

Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), s. f., International Seabed Authority (ISA), About ISA, consultado el 4 de abril de 2023, https://www.isa.org.jm/about-isa/

Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), 2008, Polymetallic nodule mining technology - current trends and challenges ahead: Chennai, ISA, 284 pp.

Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), 2010, A geological model of polymetallic nodule deposits in the Clarion-Clipperton Fracture Zone. ISA Technical Study n.º 6: Kingston, ISA, 211 pp.

Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), Study of the potential impact of polymetallic nodules production in the Area on the economies of developing land-based producers of those metals which are likely to be most seriously affected. ISA technical study n.º 32: Kingston, ISA, 278 pp.

Balbi, G., A. Perdomo y G. Jorge, 2014, Estudio de impacto ambiental. Proyecto: Perforación de exploración en el Área 14 Offshore: Montevideo, Estudio de Ingeniería Ambiental (EIA), 351 pp.

Ballesteros, M., 2021, Sistema de pronóstico de los niveles de marea en tiempo real en el Río de la Plata: Montevideo, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 211 pp.

Balparda, D., L. Sellanes, D. Silva, M. Jackson, P. Ezzatti y M. Fossati, 2022, Desarrollo del sistema de pronóstico del Río de la Plata y su Frente Marítimo: PronUy_RPFM: RIBAGUA, v. 9, n.º 2, pp. 25-40, https://doi.org/10.1080/23863781.2023.2210262

Barboza, L. G. A., A. Cózar, B. C. G. Gimenez, T. L. Barros, P. J. Kershaw y L. Guilhermino, 2019, Macroplastics pollution in the marine environment, in CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III: Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 305-328, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00019-X

Barboza, L. G. A., J. P. G. L. Frías, A. M. Booth, L. R. Vieira, J. Masura, J. Baker, G. Foster y L. Guilhermino, 2019, Microplastics Pollution in the Marine Environment, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 329-351, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00020-6

Barceló, C., A. Domingo, P. Miller, L. Ortega, B. Giffoni, G. Sales, L. McNaughton, M. Marcovaldi, S. Heppell y Y. Swimmer, 2013, High-use areas, seasonal movements and dive patterns of juvenile loggerhead sea turtles in the Southwestern Atlantic Ocean: Marine Ecology Progress Series, v. 479, pp. 235-250, https://doi.org/10.3354/meps10222

Barclay, S. A., R. H. Worden, J. Parnell, D. L. Hall y S. M. Sterner, 2000, Assessment of fluid contacts and compartmentalization in sandstone reservoirs using fluid inclusions: An example from the Magnus oil field, North Sea: AAPG Bulletin, v. 84, n.º 4, pp. 489-504.

Barreiro, M., 2010, Influence of ENSO and the South Atlantic Ocean on climate predictability over Southeastern South America: Climate Dynamics, v. 35, pp. 1493-1508, https://doi.org/10.1007/s00382-009-0666-9

Barreiro, M., A. Martínez, L. Ortega y J. Rabellino, 2014, Hidrodinámica, en L. Burone y N. Venturini, eds., Uruguay margen continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen

continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, pp. 25-61.

Barreiro, M., F. Arizmendi y R. Trinchín, 2019, Variabilidad y cambio climático en Uruguay. Material de capacitación dirigido a técnicos de instituciones nacionales. Plan Nacional de Adaptación Costera de Uruguay: Montevideo, Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

Barreiro, M., N. Díaz y M. Renom, 2014, Role of the global oceans and land-atmosphere interaction on summertime interdecadal variability over northern Argentina: Climate Dynamics, v. 42, https://doi.org/10.1007/s00382-014-2088-6

Barry, M., I. Elema, P. van der Molen y N. Cadastre, 2003, Ocean governance and the marine cadastre: The Netherlands North Sea: Geomatica, v. 57, n.º 3, pp. 313-324.

Barzkar, N., 2020, Marine microbial alkaline protease: An efficient and essential tool for various industrial applications: International Journal of Biological Macromolecules, v. 161, pp. 1216-1229, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.072

Basei, M., H. Frimmel, M. Campos Neto, C. Ganade, N. Castro y C. Passarelli, 2018, The tectonic history of the Southern Adamastor Ocean based on a correlation of the Kaoko and Dom Feliciano Belts, en S. Siegesmund, M. Basei, P. Oyhantçabal y S. Oriolo, eds., Geology of Southwest Gondwana. Regional Geology Reviews, Cham, Springer, pp. 63-85, https://doi.org/10.1007/978-3-319-68920-3_3

Bassetto, M., F. Alkmim, P. Szatmari y W. Mohriak, 2000, The oceanic segment of the Southern Brazilian margin: Morpho-structural domains and their tectonic significance: Washington DC, American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, pp. 235-259, https://doi.org/10.1029/GM115p0235

Batenburg, S., S. Voigt, O. Friedrich, A. Osborne, A. Bornemann, T. Klein, L. Pérez-Díaz y M. Frank, 2018, Major intensification of Atlantic overturning circulation at the onset of Paleogene greenhouse warmth: Nature Communications, v. 9, https://doi.org/10.1038/s41467-018-07457-7

Bauer, K., S. Neben, B. Schreckenberger, R. Emmermann, K. Hinz, N. Fechner, K. Gohl, A. Schulze, R. B. Trumbull y K. Weber, 2000, Deep structure of the Namibia continental margin as derived from integrated geophysical studies: Journal of Geophysical Research: Solid Earth, v. 105, n.º B11, pp. 25829-25853, https://doi.org/10.1029/2000JB900227

Baumann, N., 2017, Historia de la minería en el Uruguay a comienzos del siglo XX (1903-1930): una historia poco conocida: Montevideo, Roger Jolly, 447 pp.

Beathyate, G., J. Chocca, B. González y Y. Marín, 2006, Resumen del área de operación de la flota uruguaya a través del sistema de información pesquera satelital (SIPESAT). Categoría "A". Informe técnico: Montevideo, Laboratorio de Tecnología Pesquera (LTP), DINARA.

Beaubouef, B., 2020, Total wildcat off Angola to establish new water depth record: Offshore Magazine, 21 de febrero, consultado el 15 de diciembre de 2022, https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/14168421/total-wildcat-off-angola-to-establish-new-water-depth-record

Beckman, J. 2022, Venus, Graff wells open frontier oil play offshore Namibia: Offshore Magazine, 28 de abril, consultado el 15 de diciembre de 2022, https://www.offshore-mag.com/home/article/14235448/venus-graff-wells-open-frontier-oil-play-offshore-namibia

Beglinger, S., H. Doust y S. Cloetingh, 2012, Relating petroleum system and play development to basin evolution: West African South Atlantic Basins: Marine and Petroleum Geology - Mar. Petrol. Geol., v. 18, pp. 1-25, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.08.008

Benedetti, M., 1967, Evaluación de yacimientos de arenas negras de Aguas Dulces (Rocha). Informe interno. Montevideo: ANCAP, 14 pp.

Berden, G., M. Charo, O. O. Möller Jr. y A. R. Piola, 2020, Circulation and hydrography in the Western South Atlantic Shelf and export to the deep adjacent ocean: 30°S to 40°S: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 125, n.º 10, e2020JC016500, https://doi.org/10.1029/2020JC016500

Beretta Curi, A., 2001, Inmigración y aprendizajes empresariales durante la temprana industrialización del Uruguay, 1875/1914: Theomai, n.º 4, consultado el 26 de mayo de 2023, http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12400403

Bertocchi Morán, A. N., 2013, Banco Inglés: memorias de naufragios: Montevideo, Cruz del Sur, 182 pp.

Bértola, L., 2000, Ensayos de historia económica. Uruguay y la región en la economía mundial, 1870-1990: Montevideo, Trilce, 200 pp.

Besozzi, A. L., 2013, Imposex en el Caracol invasor Rapana Venosa, tesis de grado presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Doctor en Ciencias Veterinarias, Universidad de la República, Montevideo, 33 pp.

Bianchinotti, V., 2017, El mejillón azul (*Mytilus edulis*) en la Isla de Lobos, Isla Gorriti y Punta Ballena (Maldonado, Uruguay): abundancia, estructura poblacional y estado de la pesquería: Montevideo, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 49 pp.

Bigatti, G., A. Averbuj, Í. Braga Castro, M. A. Primost, Á. Carranza, M. G. Commendatore, G. Fillmann, E. Delgado, F. Scarabino, F. E. del Brío, M. A. Franco, M. Letamendía,

G. Martínez, S. Sauco y P. E. Penchaszadeh, 2014, Situación de contaminación en las costas del sur de Brasil, Uruguay y Argentina, luego de la prohibición mundial del TBT, en C. Goso Aguilar, ed., Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros: Montevideo, DIRAC, Facultad de Ciencias, pp. 277-301.

Blake, J., 2006, New species and records of deep-water Cirratulidae (*Polychaeta*) from off Northern California: Scientia Marina, v. 70, pp. 45-57.

Blánquez, N. y S. Ferro, 2019, Open Uruguay Round: Strategy to overcome the challenges of frontier exploration: Journal of World Energy Law and Business, v. 12, n.º 5, pp. 430-439, https://doi.org/10.1093/jwelb/jwz028

Bock, N. y L. R. Rodríguez, 2011, A comparison of windfall tax methodologies in different fiscal regimes, en International Petroleum Technology Conference: IPTC International Petroleum Technology Conference, https://doi.org/10.2523/IPTC-14897-MS

Boltovskoy, D., 1999, South Atlantic zooplankton: Buenos Aires, Backhuys, 1705 pp.

Boltovskoy, D., N. Correa y A. Boltovskoy, 2002, Marine zooplanktonic diversity: a view from the South Atlantic: Oceanologica Acta, v. 25, n.º 5, pp. 271-278, https://doi.org/10.1016/S0399-1784(02)01199-4

Bonilla, S., S. Haakonsson, A. Somma, A. Gravier, A. Britos, L. Vidal, L. De León, B. Brena, M. Pírez, C. Piccini, G. Martínez de la Escalera, G. Chalar, M. González-Piana, F. Martigani y L. Aubriot, 2015, Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay [Cyanobacteria and cyanotoxins in freshwaters of Uruguay]: INNOTEC, n.º 10, pp. 9-22, https://doi.org/10.26461/10.01

Bonnevie, I., H. Hansen y L. Schrøder, 2019, Assessing use-use interactions at sea: A theoretical framework for spatial decision support tools facilitating co-location in maritime spatial planning: Marine Policy, v. 106, 103533, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103533

Bossi, J., 1978, Recursos minerales del Uruguay: Montevideo, Daniel Aljanati, 348 pp.

Bossi, J. y R. Navarro, 2000, Recursos minerales del Uruguay: Montevideo, Rojobona, 418 pp.

Boswell, R., D. Schoderbek, T. S. Collett, S. Ohtsuki, M. D. White y B. J. Anderson, 2016, The Iġnik Sikumi field experiment, Alaska North Slope: Design, operations, and implications for CO_2-CH_4 exchange in gas hydrate reservoirs: Energy & Fuels, v. 31, n.º 1, pp. 140-153, https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01909

Boswell, R., T. S. Collett, E. M. Myshakin, T. Ajayi y Y. Seol, 2017, The increasingly complex challenge of gas

hydrate reservoir simulation, En 9th International Conference on Gas Hydrates (ICGH9).

Bouali, M., O. T. Sato y P. S. Polito, 2017, Temporal trends in sea surface temperature gradients in the South Atlantic Ocean: Remote Sensing of Environment, v. 194, pp. 100-114, https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.008

Bouchet, P., 2006, The magnitude of marine biodiversity, en C. M. Duarte, ed., The exploration of marine biodiversity: Scientific and technological challenges: Bilbao, Fundación BBVA, pp. 31-64.

Boudreau, B. P. y B. Jørgensen, 2001, The benthic boundary layer: Transport processes and biogeochemistry: Nueva York, Oxford University Press, 404 pp.

Bouyat, A., 1911, Contributions à l'étude de la pêche maritime en Uruguay. Communication présentée au Congrès de La Haye, 1909, 92 pp.

BP, 2021, Statistical review of world energy: Londres, BP, 72 pp.

BP, 2023, Energy outlook: Londres, BP, 66 pp.

Bratkič, A., M. Vahčič, J. Kotnik, K. Obu Vazner, E. Begu, E. M. S. Woodward y M. Horvat, 2016, Mercury presence and speciation in the South Atlantic Ocean along the 40°S transect: Global Biogeochemical Cycles, v. 30, n.º 2, pp. 105-119, https://doi.org/10.1002/2015GB005275

Braun, C., P. Gaube, T. Sinclair-Taylor, G. Skomal y S. Thorrold, 2019, Mesoscale eddies release pelagic sharks from thermal constraints to foraging in the ocean twilight zone: Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 116, 201903067, https://doi.org/10.1073/pnas.1903067116

Bray, R., S. Lawrence y R. Swart, 1998, Source rock, maturity data indicate potential off Namibia: Oil & Gas Journal, v. 96, n.º 32, consultado el 15 de julio de 2022, https://www.ogj.com/home/article/17226175/source-rock-maturity-data-indicate-potential-off-namibia

Brazeiro, A. y O. Defeo, 2006, Bases ecológicas y metodológicas para el diseño de un Sistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas en Uruguay, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 379-390.

Brazeiro, A., D. Bresciano y E. Brugnoli, 2023, Panorama general de las invasiones biológicas en Uruguay, en A. Brazeiro, D. Bresciano, E. Brugnoli y M. Iturburu, eds., Especies exótcas invasoras de Uruguay: distribución, impactos socioambientales y estrategias de gestión: Montevideo, RETEMA, Udelar - CEEI, Ministerio de Ambiente, pp. 13-39.

Brazeiro, A., E. M. Acha, H. W. Mianzan, M. Gómez Erache y V. Fernández, 2003, Aquatic priority areas for the conservation and management of the ecological integrity of the Rio de la Plata and its Maritime Front. Technical Report

PNUD Project/ GEF RLA/99/G31: Montevideo, Uruguay, 82 p.

Brent, Z. W., M. Barbesgaard y C. Pedersen, 2018, The blue fix: Unmasking the politics behind the promise of blue growth: Ámsterdan, Transnational Institute, pp. 24.

Brett, A., J. Leape, M. Abbott, H. Sakaguchi, L. Cao, K. Chand, Y. Golbuu, T. Martin, J. Mayorga y M. Myksvoll, 2020, Ocean data need a sea change to help navigate the warming world: Nature, v. 582, pp. 181-183, https://doi.org/10.1038/d41586-020-01668-z

Brito, M., L. Teixeira, R. Canelas, R. Ferreira y M. Neves, 2017, Experimental and numerical studies of dynamic behaviors of a hydraulic power take-off cylinder using spectral representation method: Journal of Tribology, v. 140, https://doi.org/10.1115/1.4037464

Brito, M., R. Canelas, O. García Feal, J. Domínguez, A. Crespo, R. Ferreira, M. Neves y L. Teixeira, 2019, A numerical tool for modelling oscillating wave surge converter with nonlinear mechanical constraints: Renewable Energy, v. 146, pp. 2024-2043, https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.034

Brito, M., R. Ferreira, L. Teixeira, M. Neves y L. Gil, 2020, Experimental Investigation of the flow field in the vicinity of an oscillating wave surge converter: Journal of Marine Science and Engineering, v. 8, n.º 976, pp. 1-18, https://doi.org/10.3390/jmse8120976

Brito, M., R. Ferreira, L. Teixeira, M. Neves y R. Canelas, 2019, Experimental investigation on the power capture of an oscillating wave surge converter in unidirectional waves: Renewable Energy, v. 151, pp. 975-992, https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.094

Bröker, K. C., 2019, An overview of potential impacts of hydrocarbon exploration and production on marine mammals and associated monitoring and mitigation measures: Aquatic Mammals, v. 45, n.º 6, pp. 576-611, https://doi.org/10.1578/AM.45.6.2019.576

Brooks, J. M., H. B. Cox, W. R. Bryant, M. C. Kennicutt, R. G. Mann y T. J. McDonald, 1986, Association of gas hydrates and oil seepage in the Gulf of Mexico: Organic Geochemistry, v. 10, n.º 1, pp. 221-234, https://doi.org/10.1016/0146-6380(86)90025-2

Brugnoli, E., J. Pereira, J. Clemente y P. Muniz, 2021, *Limnoperna fortunei* (Mejillón dorado): características bióticas, distribución, impactos y manejo poblacional en Uruguay, en A. Brazeiro, D. Bresciano, E. Brugnoli y M. Iturburu, eds., Especies exóticas invasoras de Uruguay: distribución, impactos socioambientales y estrategias de gestión: Montevideo, RETEMA, Udelar - CEEI, Ministerio de Ambiente, pp. 127-147.

Brugnoli, E., P. Muniz, N. Venturini y F. García-Rodríguez, 2021, Benthic community responses to organic enrichment during an ENSO event (2009-2010), in the north coast of Rio de la Plata estuary: Journal of Marine

Systems, v. 222, 103597, https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103597

Brugnoli, E., P. Muniz, N. Venturini, B. Brena, A. Rodríguez y F. García-Rodríguez, 2019, Assessing multimetric trophic state variability during an ENSO event in a large estuary (Río de la Plata, South America): Regional Studies in Marine Science, v. 28, 100565, https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100565

Brugnoli, E., R. Arocena, L. Cabrera-Lamanna y P. Muniz, 2020, Management and monitoring of eutrophication: Trophic state indexes on the Río de la Plata northern coast, en W. Leal Filho, A. M. Azul, L. Brandli, A. Lange Salvia y T. Wall, eds., Life below water. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals: Cham, Springer, pp. 1-13, https://doi.org/10.1007/978-3-319-71064-8_114-1

Brugnoli, E., S. Masciadri y P. Muniz, 2009, Base de datos de especies exóticas e invasoras en Uruguay, un instrumento para la gestión ambiental y costera: Montevideo, Ecoplata, 23 pp.

Brum Bulanti, L., D. de Álava, J. Chocca y Y. Marín, 2020, De espaldas al mar. Desafíos para un manejo integrado del patrimonio arqueológico costero y marítimo del Uruguay: Revista Costas, v. 2, n.º 1, pp. 81-104.

Buc, N., 2017, Tecnología ósea en la unidad arqueológica guaraní: Pesquisas, Antropología, v. 73, pp. 79-92.

Buljan, A., 2023a, Netherlands chooses site for world's largest offshore wind-to-hydrogen project: OffshoreWIND.biz, 20 de marzo, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.offshorewind.biz/2023/03/20/netherlands-chooses-site-for-worlds-largest-offshore-wind-to-hydrogen-project/

Buljan, A., 2023b, Denmark launches world's first power-to-x tender: OffshoreWIND.biz, 19 de abril, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.offshorewind.biz/2023/04/19/denmark-launches-worlds-first-power-to-x-tender/

Burnett, D. R., T. M. Davenport y R. Beckman, 2014, Introduction. Why Submarine Cables?, en D. R. Burnett, R. Beckman y T. M. Davenport, eds., Submarine cables: The handbook of law and policy: Leiden, Martinus Nijhoff Publishers, pp. 1-15.

Burnett, D., D. Freestone y T. Davenport, 2015, Submarine cables in the Sargasso Sea: Legal and environmental issues in areas beyond national jurisdiction. Workshop report: Washington, DC, International Cable Protection Committee, Sargasso Sea Commission, George Washington University Law School y Centre for International Law, 49 pp.

Burone, L., L. Ortega, P. Franco-Fraguas, M. M. de Mahiques, F. García-Rodríguez, N. Venturini, Y. H. Marín, E. Brugnoli, R. Nagai, P. Muniz, M. Bícego, R. Figueira y A. Salaroli, 2013, A multiproxy study between the Río de la

Plata and the adjacent South-western Atlantic inner shelf to assess the sediment footprint of river vs. marine influence: Continental Shelf Research, n.º 55, pp. 141-154, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.01.003

Burone, L., P. Franco-Fraguas, A. Carranza, D. Calliari, M. Michaelovitch de Mahiques, M. Gómez Erache, Y. H. Marín, O. Gutiérrez y L. Ortega, 2021, Physical drivers and dominant oceanographic processes on the Uruguayan margin (Southwestern Atlantic). A review and a conceptual model: Journal of Marine Science and Engineering, v. 9, n.º 3, https://doi.org/10.3390/jmse9030304

Burone, L., P. Franco-Fraguas, M. M. de Mahiques y L. Ortega, 2018, Geomorphological and sedimentological characterization of the Uruguayan Continental Margin: A review and state of art: Journal of Sedimentary Environments, v. 3, pp. 253-264, https://doi.org/10.12957/jse.2018.39150

Burrage, D., J. Wesson, C. Martínez, T. Pérez, O. Möller y A. Piola, 2008, Patos Lagoon outflow within the Río de la Plata plume using an airborne salinity mapper: Observing an embedded plume: Continental Shelf Research, v. 28, n.º 13, pp. 1625-1638, https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.02.014

Cachés, M. A., 1980, Nota sobre la biología de los depósitos fangosos circalitorales frente a Punta del Este, Uruguay: Boletim do Instituto Oceanográfico, v. 29, n.º 2, pp. 73-74, https://doi.org/10.1590/S0373-55241980000200015

Caetano, G., 2007, El "Tratado de la Cuenca del Plata" 38 años después (1969-2007). Apuntes para un balance como sustento de propuestas de reforma a nivel político-institucional: Montevideo, Uruguay.

Caetano, G., 2012, A cien años de la muerte del barón de Río Branco: la contemporaneidad del tratado de rectificación de límites en el río Yaguarón y la Laguna Merim (1909-1910), en Cuadernos del CLAEH, v. 33, n.º 100, pp. 105-123.

Callahan, J. E., 1972, The structure and circulation of deep water in the Antarctic: Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, v. 19, n.º 8, pp. 563-575, https://doi.org/10.1016/0011-7471(72)90040-X

Calliari, D., A. A. Berasategui y M. C. Menéndez, 2022, Zooplankton: The ocean drifters, en D. G. Pan y P. D. Pratolongo, eds., Marine biology: A functional approach to the oceans and their organisms: Boca Ratón, CRC Press, pp. 113-149, https://doi.org/10.1201/9780429399244

Calliari, D., E. Brugnoli, G. Ferrari y D. Vizziano, 2009, Phytoplankton distribution and production along a wide environmental gradient in the South-West Atlantic off Uruguay: Hydrobiologia, v. 620, n.º 1, pp. 47-61, https://doi.org/10.1007/s10750-008-9614-7

Calliari, D., M. Gómez Erache y N. Gómez, 2005, Biomass and composition of the phytoplankton in the Río de la Plata: large-scale distribution and relationship with environmental variables during a spring cruise: Continental Shelf Research, v. 25, n.º 2, pp. 197-210, https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.09.009

Calliari, D., M. Gómez Erache, L. Rodríguez-Graña, C. Alonso, M. Martínez, L. Nogueira y N. Espinosa, 2014, Plancton, en L. Burone y N. Venturini, eds., Uruguay margen continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, pp. 167-195.

Calliari, D., M. Gómez Erache, D. V. Cantonnet y C. Alonso, 2018, Near-surface biogeochemistry and phytoplankton carbon assimilation in the Rio de la Plata estuary, en M. S. Hoffmeyer, M. E. Sabatini, F. P. Brandini, D. L. Calliari y N. H. Santinelli, eds., Plankton ecology of the Southwestern Atlantic: From the subtropical to the subantarctic realm: Cham, Springer, pp. 289-306, https://doi.org/10.1007/978-3-319-77869-3_14

CAMP Italy Project, 2017, Significance of the CAMP Italy Project regarding maritime spatial planning (MSP) - integrated coastal zone management (ICM) - land-sea interactions (LSI): s. l., Coastal Areas Management Programme (CAMP), Convention for Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean, 174 pp.

Cançado Trindade, A. A., 2017, Princípios do direito internacional contemporâneo: Brasilia, Fundação Alexandre de Gusmão, 464 pp.

Capandeguy, S., S. Montalbán y M. J. Vitali, 2017, Uruguay y el derecho del mar: historia de una relación en beneficio del interés nacional: Montevideo: Universidad ORT, 123 pp.

Capet, A., E. Mason, V. Rossi, C. Troupin, Y. Faugère, I. Pujol y A. Pascual, 2014, Implications of refined altimetry on estimates of mesoscale activity and eddy-driven offshore transport in the Eastern Boundary Upwelling Systems: Geophysical Research Letters, v. 41, n.º 21, pp. 7602-7610, https://doi.org/10.1002/2014GL061770

Caporale, M. y Vallvé, E., 2023, Patrimonio cultural costero-marino del oeste de Montevideo. Un enfoque basado en las interacciones tierra-mar: Revistas Costas, Costas, v. 5, n.º 2, pp. 29-50, https://doi.org/10.25267/Costas.2023.v5.i2.0203

Carney, R., 2005, Zonation of deep biota on continental margins: Oceanography and Marine Biology, v. 43, pp. 211-278, https://doi.org/10.1201/9781420037449.ch6

Carr, M., J. W. White, E. Saarman, J. Lubchenco y K. Milligan, 2019, Marine protected areas exemplify the evolution of science and policy: Oceanography, v.

32, pp. 94-103, https://doi.org/10.5670/oceanog.2019.315

Carranza, A. y M. Rodríguez, 2007, On the benthic molluscs of Banco Inglés (Río de la Plata, Uruguay): Animal Biodiversity and Conservation, v. 30, n.º 2, pp. 161-168.

Carranza, A., A. Muñoz Recio, M. Kitahara, F. Scarabino, L. Ortega, G. López, P. Franco-Fraguas, C. De Mello, J. Acosta, A. Fontan y Grupo Miguel Oliver Uruguay 0110, 2012, Deep-water coral reefs from the Uruguayan outer shelf and slope: Marine Biodiversity, v. 42, n.º 3, pp. 411-414, https://doi.org/10.1007/s12526-012-0115-6

Carranza, A., S. Horta, Y. H. Marín, A. Masello y F. Scarabino, 2021, Updating the distribution of Deep Sea Reef Building and other Branching Corals in Uruguayan waters, en D. M. Couto, N. F. Carvalho, F. P. Marques, M. V. Kitahara y P. Y. Gomes Sumida, eds., Caderno de Resumos do II Simpósio Brasileiro de Corais de Águas Profundas: San Pablo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 29.

Carreira, S., A. Estrades y F. Achaval, 2007, Estado de conservación de la fauna de tortugas (Reptilia, Testudines) de Uruguay: Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay, v. 16, pp. 20-25.

Carstens, H., 2011, The first commercial North Sea oil discovery: GEO ExPro, 1 de mayo, consultado el 8 de agosto de 2023, https://geoexpro.com/the-first-commercial-north-sea-oil-discovery/

Carter, L., D. Burnett, S. Drew, G. Marle, L. Hagadorn, D. Bartlett-McNeil y N. Irvine, 2009, Submarine cables and the oceans - Connecting the world: Cambridge, UNEP-WCMC Biodiversity Series n.º 31, 64 pp.

Center for Climate and Energy Solutions, 2023, Global emissions, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.c2es.org/content/international-emissions/

Centro de Fotografía de Montevideo (CDF), 2012, Archivo histórico, consultado el 23 de agosto de 2023, https://cdf.montevideo.gub.uy/buscar/fotos/aérea

Cernuschi, F., F. González, M. Morales Demarco, J. Marmisolle, B. Conti y J. Bossi, 2018, Breve historia de la exploración y explotación de recursos minerales y energéticos en Uruguay y perspectivas a futuro: Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, v. 21, pp. 1-23.

Chaturvedi, S. y T. Doyle, 2010, Geopolitics of fear and the emergence of "climate refugees": Imaginative geographies of climate change and displacements in Bangladesh: Journal of the Indian Ocean Region, v. 6, pp. 206-222, https://doi.org/10.1080/19480881.2010.536665

Chauvet, F., F. Sapin, L. Geoffroy, J.-C. Ringenbach y J.N. Ferry, 2021, Conjugate volcanic passive margins in the austral segment of the South

Atlantic - Architecture and development: Earth-Science Reviews, v. 212, 103461, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103461

Chelton, D., M. Schlax, D. L. Witter y J. G. Richman, 1990, Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 95, n.º C10, pp. 17877-17903, https://doi.org/10.1029/JC095iC10p17877

Chidichimo, M. P., P. Martos, L. Allega, C. Berghoff, A. A. Bianchi, E. Cozzolino, A. Dogliotti, W. C. Dragani, H. Fenco, M. Fiore, R. Guerrero, F. I. Isla, C. L. Kahl, M. Luz Clara Tejedor, R. A. Maenza, A. P. Osiroff, B. E. Prario, D. B. Risaro, R. I. Saurral y A. S. Scardilli, 2022, Cambios físicos y geoquímicos en el Océano Atlántico Sudoccidental, en M. P. Chidichimo, F. Cortés, S. Gaviola, P. Martos, L. Prosdocimi, D. Seitune y E. Verón, eds., Estado del conocimiento de los efectos del cambio climático en el océano Atlántico Sudoccidental sobre los recursos pesqueros y sus implicancias para el manejo sostenible: Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 27-81.

Chocca, J. F., S. González, Y. H. Marín, B. González, L. E. Rubio Albertoni y L. Ortega, 2013, Residuos antropogénicos en el Río de la Plata y zona común de pesca, en XV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR), 27-31 de octubre, Punta del Este, Uruguay.

Chocca, J., B. González, Y. Marín y G. Beathyate, 2007, Resumen del área de operación de la flota pesquera uruguaya a través del sistema de información pesquera satelital (SIPESAT). Categoría B. Enero 2005-marzo 2007: Montevideo, Laboratorio de Tecnología Pesqueras (LTP), DINARA, 35 pp.

Ciotti, Á. M., C. Odebrecht, G. Fillmann y O. O. Moller, 1995, Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf: Continental Shelf Research, v. 15, n.º 14, pp. 1737-1756, https://doi.org/10.1016/0278-4343(94)00091-Z

Cisneros, A. y C. Escudé, 1999, La controversia argentino-uruguaya sobre la jurisdicción del Río de la Plata, En A. Cisneros y C. Escudé, dirs., Historia general de las relaciones exteriores argentinas, parte II, Las relaciones exteriores de la Argentina consolidada (1881-1942), tomo VII, La Argentina frente a la América del Sur, 1881-1930: Buenos Aires, Centro de Estudios de Política Exterior, Consejo Argentino para las Relaciones Internacionales, Nuevohacer, pp. 183-187.

Clerc, C., L. Jolivet y J. C. Ringenbach, 2015, Ductile extensional shear zones in the lower crust of a passive margin: Earth and Planetary Science Letters, v. 431, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.08.038

Cobbold, P., E. Rossello, P. Roperch, C. Arriagada, L. Gómez y C. Lima, 2007,

Distribution, timing, and causes of Andean deformation across South America: Geological Society, London, Special Publications, v. 272, pp. 321-343, https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2007.272.01.17

Coccossis, H., 2004, Integrated coastal management and river basin management. Water, Air and Soil Pollution, n.º 4, pp. 411-419.

Cochrane, S., J. Andersen, T. Berg, H. Blanchet, Á. Borja, J. Carstensen, M. Elliott, H. Hummel, N. Niquil y P. Renaud, 2016, What is marine biodiversity? Towards common concepts and their implications for assessing biodiversity status: Frontiers in Marine Science, v. 3, pp. 1-14, https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00248

Coelho, R., J. Mejuto, A. Domingo, K. Yokawa, K. M. Liu, E. Cortés, E. V. Romanov, C. da Silva, F. Hazin, F. Arocha, A. M. Mwilima, P. Bach, V. Ortiz de Zárate, W. Roche, P. G. Lino, B. García-Cortés, A. M. Ramos-Cartelle, R. Forselledo, F. Mas, S. Ohshimo, D. Courtney, P. S. Sabarros, B. Pérez, C. Wogerbauer, W. P. Tsai, F. Carvalho y M. N. Santos, 2018, Distribution patterns and population structure of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Atlantic and Indian oceans: Fish and Fisheries, v. 19, n.º 1, pp. 90-106, https://doi.org/10.1111/faf.12238

Comisión Asesora para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental de la República (COALEP), 2009, Resumen ejecutivo de la presentación de la República Oriental del Uruguay a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, acorde a lo establecido en el Artículo 76, párrafo 8 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar: Montevideo, COALEP, 11 pp.

Comisión Asesora para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental de la República (COALEP), 2014, Update of the submission of República Oriental del Uruguay to the Subcommission on the Limits of the Continental Shelf: Nueva York, COALEP, 91 pp.

Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLCS), 1999, Scientific and technical guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf. CLCS/11: Nueva York, CLCS.

Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLCS), 2016, Summary of recommendations of the Commission on the Limits of the Continental Shelf in regard to the submission made by the Oriental Republic of Uruguay on 7 April 2009: Nueva York, CLCS, 25 pp.

Comisión Europea, 2022, Plan REPowerEU. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité Europeo de las Regiones: Bruselas, Comisión Europea, 24 pp.

Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA),

2017, El margen continental argentino: entre los 35° y 55° de latitud sur en el contexto del artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar: Buenos Aires, COPLA.

Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), 2018, Plan de Acción Regional para la Conservación y Pesca Sustentable de los Condrictios del Área del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Montevideo, CTMFM, 150 pp.

Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), 2020, Ficha técnica: Merluza (*Merluccius hubbsi*): Montevideo, CTMFM, 23 pp.

Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), 2021, Estado de los recursos pesqueros administrados por la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo en la zona común de pesca argentino-uruguaya. Noviembre de 2021: Montevideo, CTMFM, 141 pp.

Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), 2023, Buques pesqueros argentinos autorizados a operar en la zona común de pesca, consultado el 25 de agosto de 2023, https://ctmfm.org/buques-autorizados-en-zcp/buques-argentinos/

Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC), 2016, Análisis Diagnóstico Transfronterizo de la Cuenca del Plata. Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático: Buenos Aires, Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) - Organización de los Estados Americanos (OEA), 308 pp.

Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC), 2017, Calidad del agua en la Cuenca del Plata: Buenos Aires, CIC, 176 pp.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), 2023, Review of maritime transport: Towards a green and just transition: Nueva York, UNCTAD, 157 pp.

Conrad, T., J. R. Hein, A. Paytan y D. A. Clague, 2017, Formation of Fe-Mn crusts within a continental margin environment: Ore Geology Reviews, v. 87, pp. 25-40, https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.010

Conti, B., J. A. de J. Perinotto, G. Veroslavsky, M. G. Castillo, H. de Santa Ana, M. Soto y E. Morales, 2017, Speculative petroleum systems of the southern Pelotas Basin, offshore Uruguay: Marine and Petroleum Geology, v. 83, pp. 1-25, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.02.022

Conti, B., P. Rodríguez, J. Marmisolle, R. Novo y P. Gristo, 2023, Probability of geological success (PoS) for offshore Uruguay plays and prospects, en AAPG International Conference & Exhibition, 6-8 de noviembre, Madrid, American

Association of Petroleum Geologists (AAPG).

Conti, B., S. Ferro, J. Tomasini, P. Gristo y H. de Santa Ana, 2016, Geology and volumetric evaluation of prospects offshore Uruguay, en AAPG-SEG International Conference & Exhibition, Cancun, 6-9 de setiembre.

Contreras, J., R. Zühlke, S. Bowman y T. Bechstädt, 2010, Seismic stratigraphy and subsidence analysis of the southern Brazilian margin (Campos, Santos and Pelotas basins): Marine and Petroleum Geology, v. 27, n.º 9, pp. 1952-1980, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.06.007

Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (OSPAR), 2012, Guidelines on best environmental practice (BEP) in cable laying and operation. OSPAR 12/22/1, Annex 14: Hamburgo, OSPAR, 18 pp.

Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD), 2018, Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica 14/8. Áreas protegidas y otras medidas eficaces de conservación basadas en áreas (CBD/COP/DEC/14/8): Sharm el-Sheikh, CBD, 21 pp.

Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD), 2023, Report of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity on the Second part of its Fifteenth Meeting: Montreal, CBD, 292 pp.

Cordes, E. E., D O. B. Jones, T. A. Schlacher, D. J. Amon, A. F. Bernardino, S. Brooke, R. Carney, D. M. DeLeo, K. M. Dunlop, E. G. Escobar-Briones, A. R. Gates, L. Génio, J. Gobin, L. A. Henry, S. Herrera, S. Hoyt, M. Joye, S. Kark, N. C. Mestre, A. Metaxas, S. Pfeifer, K. Sink, A. K. Sweetman y U. Witte, 2016, Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: A review to guide management strategies: Frontiers in Environmental Science, v. 4, https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00058

Costa, P. L., L. Bugoni, P. Kinas y L. Madureira, 2020, Seabirds, environmental features and the Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) in the southwestern Atlantic ocean: Marine Ecology Progress Series, v. 651, https://doi.org/10.3354/meps13460

Costa, P., M. Piedra, P. Franco-Fraguas y E. Páez, 2007, Distribution and habitat use patterns of southern right whales, *Eubalaena australis*, off Uruguay: The Journal of Cetacean Research and Management, v. 9, n.º 1, pp. 45-51, https://doi.org/10.47536/jcrm.v9i1.691

Costa, P., R. Praderi, M. Piedra y P. Franco-Fraguas, 2005, Sightings of southern right whales, Eubalaena australis, off Uruguay: Latin American Journal of Aquatic Mammals, v. 4, n.º 2 SE-Short Communications, pp. 157-161, https://doi.org/10.5597/lajam00083

Costello, M., M. McCrea, A. Freiwald, T. Lundälv, L. Jonsson, B. Bett, T. van Weering, H. Haas, J. Roberts y D. Allen,

2005, Role of cold-water Lophelia pertusa coral reefs as fish habitat in the NE Atlantic, En A. Freiwald y J. M. Roberts, eds., Cold-water corals and ecosystems: Cham, Springer, pp. 771-805, https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4_41

Cotovicz Jr., L. C., R. V. Marins y G. Abril, 2022, Coastal ocean acidification in Brazil: A brief overview and perspectives: Arquivos de Ciências do Mar, v. 55, pp. 345-368, https://doi.org/10.32360/acmar.v55iEspecial.78514

Cousseau, M. B. y R. G. Perrotta, 2013, Peces marinos de Argentina : biología, distribución, pesca: Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), 193 pp.

Crawford, J., 2013, Chance, order, change: The course of international law general course on public international law (volume 365): Leiden, Brill, 537 pp.

Creaser, A., J. F. Hernández-Molina, G. Badalini, P. Thompson, R. Walker, M. Soto y B. Conti, 2017, A late cretaceous mixed (turbidite-contourite) system along the Uruguayan margin: Sedimentary and palaeoceanographic implications: Marine Geology, v. 390, pp. 234-253, https://doi.org/10.1016/J.MARGEO.2017.07.004

Crespo, E. A. y L. R. de Oliveira, 2021, South American fur seal (*Arctocephalus australis*, Zimmerman 1783), en G. Heckel y Y. Schramm, eds., Ecology and conservation of pinnipeds in Latin America: Cham, Springer, pp. 13-29, https://doi.org/10.1007/978-3-030-63177-2_2

Crespo, E. A., L. R. de Oliveira y M. Sepúlveda, 2021, South American sea lion (*Otaria flavescens*, Shaw 1800), en G. Heckel y Y. Schramm, eds., Ecology and conservation of pinnipeds in Latin America: Cham, Springer, pp. 93-118, https://doi.org/10.1007/978-3-030-63177-2_6

Cronquist, C., 2001, Estimation and classification of reserves of crude oil, natural gas, and condensate: Texas, Society of Petroleum Engineers, 432 pp.

Cuberos, L., 2023, Uruguay busca nuevas protecciones marinas y petróleo en alta mar, consultado el 23 de agosto de 2023, https://dialogochino.net/es/actividades-extractivas-es/364683-uruguay-busca-nuevas-protecciones-marinas-y-petroleo-en-alta-mar/

Cusson, M. y E. Bourget, 2005, Global patterns of macroinvertebrate production in marine benthic habitats: Marine Ecology Progress Series, v. 297, pp. 1-14, https://doi.org/10.3354/meps297001

Dalen, J., E. Ona, A. V. Soldal y R. Sætre, 1996, Seismiske undersøkelser til havs: En vurdering av konsekvenser for fisk og fiskerier [Seismic surveys at sea: An assessment of consequences for fish and fisheries]: Bergen, Havforskningsinstituttet, 28 pp.

Dallimore, S. R., J. F. Wright, K. Yamamoto y G. Bellefleur, 2012, Proof of concept for gas hydrate production using the depressurization technique, as established by the JOGMEC/NRCan/Aurora Mallik 2007-2008 Gas Hydrate

Production Research Well Program: Geological Survey of Canada, n.º 601, pp. 1-15.

Dalmas, E., 2021, Caracterización de los principales rasgos sedimentarios y estructurales en aguas ultraprofundas del offshore del Uruguay, tesis de grado, Universidad de la República, 94 pp.

Daners, G. y G. R. Guerstein, 2004, Dinoflagelados del Maastrichtiense-Paleogeno en la Formación Gaviotín, cuenca Punta del Este, en G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez, eds., Cuencas sedimentarias de Uruguay: Geología, paleontología y recursos naturales, Cenozoico: Montevideo, División Relaciones y Actividades Culturales, Facultad de Ciencias, pp. 37-62.

Daners, G., C. R. Amenábar, G. R. Guerstein y G. Veroslavsky, 2022, Palynostratigraphical analysis of the late Maastrichtian - early Danian in the Gaviotín Formation, Punta del Este Basin, Uruguay: Marine and Petroleum Geology, v. 143, 105728, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105728

Daners, G., H. de Santa Ana y G. Veroslavsky, 2003, Paleozoico superior en la plataforma continental uruguaya: evidencias geológicas y palinológicas, en XII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. Resúmenes, p. 31.

Danilewicz, D., I. B. Moreno, M. Tavares y F. Sucunza, 2017, Southern right whales (Eubalaena australis) off Torres, Brazil: group characteristics, movements, and insights into the role of the Brazilian-Uruguayan wintering ground: Mammalia, v. 81, n.º 3, pp. 225-234, https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0096

Danovaro, R., J. B. Company, C. Corinaldesi, G. D'Onghia, B. Galil, C. Gambi, A. Gooday, N. Lampadariou, G. Luna, C. Morigi, K. Olu, P. Polymenakou, E. Ramírez-Llodra, A. Sabbatini, F. Sardà, M. Sibuet, A. Tselepides, 2010, Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: The known, the unknown, and the unknowable: PloS one, v. 5, n.º 8, e11832, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011832

Davies, B., L. Holmes, A. Rees, M. Attrill, A. Cartwright y E. Sheehan, 2021, Ecosystem approach to fisheries management works: How switching from mobile to static fishing gear improves populations of fished and non-fished species inside a marine-protected area: Journal of Applied Ecology, v. 58, pp. 1-16, https://doi.org/10.1111/1365-2664.13986

Davison, S. M. C., M. P. White, S. Pahl, T. Taylor, Á. Borja, O. McMeel, P. Kellett, B. R. Roberts y L. E. Fleming, 2023, Concern about the human health implications of marine biodiversity loss is higher among less educated and poorer citizens: Results from a 14-country study in Europe: Frontiers in Marine Science, v. 10, https://doi.org/10.3389/fmars.2023.949263

Day, V., R. Paxinos, J. Emmett, A. Wright y M. Goecker, 2008, The marine planning

framework for south Australia: A new ecosystem-based zoning policy for marine management: Marine Policy, v. 32, pp. 535-543, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.10.009

De Campos, L., E. J. Milani, M. Toledo, R. Queiroz, A. Catto y S. Selke, 1998, Barra Bonita: a primeira acumulação comercial de hidrocarboneto da Bacia do Paraná, en Rio Oil & Gas Conference, Instituto Brasilerio de Petróleo, Río de Janeiro, 5-8 de octubre, 7 pp.

De la Vega, L., 1917, La industria pesquera. El bou, sus efectos, sus beneficios. La palabra de la ciencia y la experiencia. La verdad de esta cuestión. Recopilación de artículos: Montevideo, PEREA, 48 pp.

De Mello, C., M. Barreiro, L. Ortega, R. Trinchín y G. Manta, 2022a, Coastal upwelling along the Uruguayan coast: Structure, variability and drivers: Journal of Marine Systems, v. 230, 103735, https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103735

De Mello, C., M. Barreiro, Y. H. Marín, L. Ortega, R. Trinchín y G. Manta, 2022b, Relación entre frentes de convergencia y localización de la flota pesquera durante la ocurrencia de surgencia costera en Uruguay: INNOTEC, v. 24, n.º e624, pp. 1-18, https://doi.org/10.26461/24.03

De Oliveira Carvalho, A. C., R. Kerr, V. M. Tavano y C. R. B. Mendes, 2022, The southwestern South Atlantic continental shelf biogeochemical divide: Biogeochemistry, v. 159, n.º 2, pp. 139-158, https://doi.org/10.1007/s10533-022-00918-8

De Santa Ana, H. y G. Veroslavsky, 2003, La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico y Cretácico temprano., en G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez, eds., Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales e Mesozoico: Montevideo, DIRAC, pp. 51-74.

De Santa Ana, H. y L. Gutiérrez, 2000, Formación Mangrullo (Cuenca Norte, Uruguay): Estratigrafía y recursos minerales asociados: Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, v. 3, n.º 7, pp. 2-14.

De Santa Ana, H. y N. Ucha, 1994, Exploration perspectives and hydrocarbon potential of the Uruguayan sedimentary basin: Montevideo, ANCAP, 98 pp.

De Santa Ana, H., G. Veroslavsky y E. Morales, 2008a, Estado exploratorio de la región costa afuera de Uruguay, en VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG), pp. 649-657.

De Santa Ana, H., L. Latrónica, J. Tomasini, E. Morales, S. Ferro, P. Gristo, L. Machado, G. Veroslavsky y N. Ucha, 2008b, Economic and exploratory review of gas hydrates and other gas manifestations of the Uruguayan continental shelf, en 6th International

Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, 6-10 de julio, University of British Columbia, https://doi.org/10.14288/1.0041021

De Santa Ana, H., G. Veroslavsky y E. Morales, 2009, Potencial exploratorio del offshore de Uruguay: Revista de la Industria Petrolera, cuarta época, v. 12, pp. 48-59.

De Santa Ana, H., G. Veroslavsky, V. Fulfaro y E. Rossello, 2006, Cuenca Norte: evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero - Pérmico, en G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez, eds., Cuencas sedimentarias de Uruguay: Geología, paleontología y recursos naturales. Paleozoico: Montevideo, DIRAC, Facultad de Ciencias - SUG, pp. 209-244.

De Santa Ana, H., N. Ucha, L. Gutiérrez y G. Veroslavsky, 2004, Gas hydrates: Estimation of the gas potential from reflection seismic data in the continental shelf of Uruguay: Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, v. 11, pp. 46-52.

De Vries, P., R. G. Jak y T. K. Frost, 2022, Comparison of substance-based and whole-effluent toxicity of produced water discharges from Norwegian offshore oil and gas Installations: Environmental Toxicology and Chemistry, v. 41, n.º 9, pp. 2285-2304, https://doi.org/10.1002/etc.5414

Defeo, O. y A. Brazeiro, 1994, Distribución, estructura poblacional y relaciones biométricas de la vieira Zygochlamys patagonica en aguas uruguayas: Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, v. VII, n.º 66-67, pp. 362-367.

Defeo, O. y A. Masello, 2000a, Análisis espacio-temporal de la pesquería de cangrejo rojo chaceon notialis en el Uruguay: año 1996, en M. Rey, ed., Recursos pesqueros no tradicionales: moluscos, crustáceos y peces bentónicos marinos: Montevideo, INAPE-PNUD, pp. 23-37.

Defeo, O. y A. Masello, 2000b, La pesquería de cangrejo rojo Chaceon notialis en el Uruguay: un enfoque de manejo precautorio (1995 y 1996), en M. Rey, ed., Recursos pesqueros no tradicionales: moluscos, crustáceos y peces bentónicos marinos: Montevideo, INAPE-PNUD, pp. 7-22.

Defeo, O. y G. Riestra, 2000, El mejillón *Mytilus edulis platensis* en costas del departamento de Maldonado: Propuesta para la ordenación de la pesquería, en M. Rey, ed., Recursos pesqueros no tradicionales: moluscos, crustáceos y peces bentónicos marinos: Montevideo, INAPE-PNUD, pp. 58-72.

Defeo, O. y M. Vasconcellos, 2020, Transición hacia un enfoque ecosistémico de la pesca. Lecciones aprendidas de pesquerías de América del Sur: Roma, FAO, 167 pp. https://doi.org/10.4060/cb2229es

Defeo, O., P. Puig, S. Horta y A. Alva, 2011, Coastal fisheries of Uruguay, en S. Salas, R. Chuenpagdee, A. Charles y J. C. Seijo, eds., Costal fisheries of Latin

America and the Caribbean: Rome, FAO, pp. 354-381.

Defeo, O., S. Horta, A. Carranza, D. Lercari, A. de Álava, J. Gómez, G. Martínez, J. P. Lozoya y E. Celentano, 2009, Hacia un manejo ecosistémico de pesquerías. Áreas marinas protegidas en Uruguay: Montevideo, Facultad de Ciencias - UNDECIMAR - DINARA, 122 pp.

Del Bene, D., V. Little, R. Rossi y A. Le Bas, 2006, Revisión preliminar de registros de varamientos de cetáceos en la costa uruguaya de 1934 a 2005, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 297-303.

Del Peso Blanco, J., 1911, Focas de la República O. del Uruguay (con 20 fotograbados obtenidos de las fotografías sacadas por el autor): Granada, Tip. Lit. P. V. Traveset, 27 pp.

Delft, 2020, Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments, Delft3D Suite 2020.02, 751 pp.

Delgado, E., A. Carranza, S. Sauco y M. Letamendía, 2011, Imposex en rapana venosa provenientes de la bahía de Maldonado, Uruguay, en VIII Congreso Latinoamericano de Malacología, 12-17 de junio, Puerto Madryn, Asociación Latinoamericana de Malacología (ALM), p. 135.

DeVito, S. y H. Kearns, 2022, Overview of the exploration potential of offshore Argentina - insight from new seismic interpretations: Petroleum Geoscience, v. 28, n.º 2, petgeo2020-132, https://doi.org/10.1144/petgeo2020-132

Dias, C. A. P., B. S. M. Kim, R. C. L. Figueira, P. A. L. Ferreira, S. C. da Silva, M. M. de Mahiques y M. C. Bícego, 2023, Geochemical characterization and assessment of contamination in mud depocenters from the southern Brazilian shelf: Continental Shelf Research, v. 257, 104971, https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.104971

Díaz de Guerra, M. A., 2003, La Real Compañía Marítima: explotación de ballenas en la Isla Gorriti y faena de lobos en la Isla de Lobos. Años 1789-1805: Montevideo, El Galeón, 190 pp.

Dick, A. B., 1887, On zircons and other minerals contained in sand: Nature, v. 36, n.º 917, pp. 91-92, https://doi.org/10.1038/036091b0

Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (DINABISE), 2022, Resolución n.º 1.152/022 Aprobación de la estrategia para la conservación de la diversidad biológica en el espacio marino: Montevideo: Ministerio de Ambiente.

Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), 2002, Estudio geológico minero del depósito de arenas negras de Aguas Dulces, departamento de Rocha: Montevideo, Ministerio de Industria, Energía y Minería, 169 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), 2017, Relevamiento ambiental "bloques 14 y 15" - Otoño 2017, B/I Aldebarán, Crucero 2017-01: Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 98 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), 2019, Boletín estadístico pesquero 2018 / Uruguay: Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 52 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), 2020, Boletín estadístico pesquero 2016-18: Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 52 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), 2022, Estimación de abundancia en cachorros 2021-2022. Campaña de evaluación de lobos y leones marinos, Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 52 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA), 2023, Vigencia de permisos de pesca comerciales (listados), consultado el 24 de agosto de 2023, https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/vigencia-permisos-pesca-comerciales-listados

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2008a, Uruguay. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura. Estrategia general para el desarrollo de la acuicultura sostenible en la República Oriental del Uruguay: Montevideo, DINARA, MGAP - FAO, 40 pp.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2008b, Uruguay. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura. Política nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en la República Oriental del Uruguay: Montevideo, DINARA, MGAP - FAO, 28 pp.

Dirección Registral y de Marina Mercante (DIRME), 2016, Circular n.º 003/16: Exigencias a las plataformas de perforación mar adentro: Montevideo, DIRME, Armada Nacional, 5 pp.

División de Asuntos Oceánicos y del Derecho del Mar (DOALOS), 2006, Manual de capacitación sobre el trazado de los límites exteriores de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas y para la preparación de presentaciones de información a la Comisión de Límites de la Plataforma Continental: Nueva York, Naciones Unidas, 627 pp.

Dogliotti, A. I., V. Lutz y V. Segura, 2014, Estimation of primary production in the southern Argentine continental shelf and shelf-break regions using field and remote sensing data: Remote Sensing of Environment, v. 140, pp. 497-508, https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.021

Domingo, A., 2000, Los elasmobranquios pelágicos capturados por la flota de longline Uruguaya, en M. Rey, ed., Consideraciones sobre la pesca incidental producida por la actividad de la flota atunera dirigida a grandes pelágicos: Montevideo, Instituto Nacional de Pesca (INAPE) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), pp. 14-23.

Domingo, A., L. Bugoni, L. Prosdocimi, P. Miller, M. Laporta, D. Monteiro, A. Estrades y D. Albareda (eds.), 2006, The impact generated by fisheries on sea turtles in the Southwestern Atlantic: San José de Costa Rica, WWF Progama Marino para Latinoamérica y el Caribe, 71 pp.

Domingo, A., M. Favero, G. Navarro, R. P. Sánchez y M. L. Tombesi, 2022, Plan de Acción Regional para reducir la interacción de aves marinas con las pesquerías que se desarrollan en el área del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Serie Publicaciones Especiales n.º 2: Montevideo, Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, 105 pp.

Domingo, A., R. Forselledo y S. Jiménez, eds., 2015, Revisión de planes de acción nacional para la conservación de aves marinas y condrictios en las pesquerías uruguayas: Montevideo, DINARA, 196 pp.

Domingo, A., R. Forselledo, P. Miller y C. Passadore, 2008, Plan de Acción Nacional para la Conservación de Condrictios en las Pesquerías Uruguayas (PAN - Condrictios Uruguay): Montevideo, DINARA, 87 pp.

Domingo, A., S. Jiménez y C. Passadore, 2006, Plan de Acción Nacional para Reducir la Captura Incidental de Aves Marinas en las Pesquerías Uruguayas: Montevideo, DINARA, 73 pp.

Doño, F., 2015, Análisis del desembarque de condrictios por la flota de arrastre costero uruguaya en el Río de la Plata y zona común de pesca. Año 2012: Montevideo, DINARA, 24 pp.

Douvere, F. y C. N. Ehler, 2009, New perspectives on sea use management: Initial findings from European experience with marine spatial planning: Journal of Environmental Management, v. 90, n.º 1, pp. 77-88, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.004

Draffin, N., 2008, Guía de abastecimiento del combustible marino: Oxfordshire, Petrospot Limited, 114 pp.

Duacs/AVISO+, 2015, SSALTO/DUACS user handbook:(M) SLA and (M) ADT near-real time and delayed time products: p. 35, CLS-DOS-NT-06-034, 6, 74.

Durán Gómez, G. S., T. Nagai y K. Yokawa, 2020, Mesoscale warm-core eddies drive interannual modulations of swordfish catch in the Kuroshio Extension System: Frontiers in Marine Science, v. 7, https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00680

Echevarría, L., 2015, Planificación espacial marina. Identificación de conflictos de uso, tesis de Maestría en Manejo Costero Integrado del Cono Sur, Centro Universitario Regional del Este, Universidad de la República, 127 pp.

Echevarría, L., A. Gómez, M. Gómez Erache y R. Tejera, 2016, La planificación espacial marina como herramienta de gestión: Montevideo, Espacio Interdisciplinario, Universidad de la República, 107 pp.

Echevarría, L., A. Gómez, R. Tejera, M. Caporale, E. Vallvé, J. Sciandro y T. Machain, 2021, Bases para una estrategia de planificación espacial marina en Uruguay: Revista Costas, v. 2, n.º 3, pp. 91-126, https://doi.org/10.26359/costas.e0521

Echeverría, L., E. Verón, M. Medina, J. Sócrate, M. V. Sánchez Baeza, M. García, M. Fernández, W. Pérez Brum, M. Camiolo, E. Vallvé, A. Jaureguizar, M. Caporale y T. Machain, 2022, Análisis interacción mar-tierra como base de la gestión de zonas costeras: estudio comparativo entre Argentina y Uruguay: Revista Geográfica de Chile Terra Australis, v. 58, pp. 22-44, https://doi.org/10.23854/07199562.2022581.Echeverria22

Ehler, C. N. y F. Douvere, 2009, Marine spatial planning: A step-by-step approach toward ecosystem-based management: París, Comisión Oceanográfica Intergubernamental - Man and the Biosphere Programme, 99 pp.

El País, 2022, Iberdrola vende el 49% del parque eólico marino Wikinger a EIP por 700 millones de euros, El País, 14 de setiembre, consultado el 1 de diciembbre de 2023, https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/09/14/companias/1663133624_900132.html

Elias, R., N. Méndez, P. Muniz, R. Cabanillas, C. Gutiérrez-Rojas, N. Rozbaczylo, M. H. Londoño-Mesa, P. J. Gárate Contreras, M. Cárdenas-Calle, F. Villamar, J. J. A. Laverde-Castillo, K. M. Brauko, M. Araki Braga, P. da Cunha Lana y O. Díaz-Díaz, 2021, Polychaetes as biological indicators in Latin America and the Caribbean, Marine and Fishery Sciences, v. 34, n.º 1, pp. 37-107, https://doi.org/10.47193/mafis.3412021010301

Energy Institute, 2023, Statistical review of world energy: Londres, Energy Institute, 60 pp.

Energy Numbers, 2022, UK offshore wind capacity factors, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://energynumbers.info/uk-offshore-wind-capacity-factors

Engås, A., S. Løkkeborg, E. Ona y A. V. Soldal, 1996, Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod ((*Gadus morhua*) and haddock) (*Melanogrammus aeglefinus*): Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 53, n.º 10, pp. 2238-2249, https://doi.org/10.1139/f96-177

ENTSOE Transparency Platform, 2023, Central collection and publication of electricity generation, transportation and consumption data and information for the pan-European market, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show

ESPON, 2013, ESaTDOR - European Seas and Territorial Development, Opportunities and Risks Governance Case Studies: Liverpool, Mediterranean Sea, 64 pp.

European Commission Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (EASME), E. Ooms, J. Onwona Ansong, I. Lukic, A. Schultz-Zehden, K. Gee y C. Passerello, 2019, Addressing conflicting spatial demands in MSP - Considerations for MSP planners - Final technical study: Bruselas, Publications Office, 35 pp.

Ewing, M. y A. G. Lonardi, 1971, Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 5. Sedimentary structure of the Argentine margin, basin, and related provinces: Physics and Chemistry of the Earth, v. 8, pp. 125-251, https://doi.org/10.1016/0079-1946(71)90017-6

Ewing, M., D. Horn, L. Sullivan, T. Aitken y E. Thorndike, 1971a, Photographing manganese nodules on the ocean floor: Oceanology International Offshore Technology, 6 de diciembre, pp. 26-32.

Ewing, M., S. L. Eittreim, J. I. Ewing y X. Le Pichon, 1971b, Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 3. Nepheloid layer and processes of sedimentation: Physics and Chemistry of the Earth, v. 8, pp. 51-77, https://doi.org/10.1016/0079-1946(71)90015-2

Fabiano, G. y O. Santana, 2010, Cultivo de algas agaríferas (*Gracilaria verrucosa*) y abalón rojo (*Haliotis rufescens*) en Uruguay: Agrociencia Uruguay, v. 14, n.º 3, pp. 222-222, https://doi.org/10.31285/AGRO.14.893

Fabiano, G., O. Santana, E. Delfino y A. Riet Correa, 2000, Análisis de la pesquería de lenguado Paralichthys patagonicus en La Paloma, Uruguay, M. Rey, ed., Recursos pesqueros no tradicionales: moluscos, crustáceos y peces bentónicos marinos: Montevideo, INAPE-PNUD, pp. 51-71.

Fang, M. y J. Zhang, 2015, Basin-scale features of global sea level trends revealed by altimeter data from 1993 to 2013: Journal of Oceanography, v. 71, https://doi.org/10.1007/s10872-015-0289-1

Farella, G., M. Borg, N. Bassan, P. Campostrini, M. Coletta, L. Contarini, D. Di Carlo, A. Fadini, F. Fabbri, S. Formosa, G. Garofalo, E. Gissi, M. Gristina, O. Hili, A. Innocenti, V. Maccarrone, E. Manea, D. Maragno, S. Menegon, …, A. Barbanti, 2018, SIMWESTMED - Case Study #4 "Strait of Sicily - Malta": Zenodo, 138 pp., https://doi.org/10.5281/zenodo.2599815

Fernández, J. M. y E. García de Zúñiga, 2010, Historia del puerto de Montevideo:

Montevideo, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 391 pp.

Ferragut, P., F. Goldenberg, C. Correa y C. Gischler, 2022, Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay: Montevideo, Banco Interamericano de Desarrollo, 87 pp., https://doi.org/10.18235/0004615

Ferro, S., P. Gristo, B. Conti, C. Romeu y H. de Santa Ana, 2015, Uruguay. Small country, big opportunities: GEO ExPro, v. 12, n.º 5, pp. 42-44.

Ferro, S., J. Tomasini, P. Gristo y R. Novo, 2023, Analogies from the E&P business model applied for green hydrogen developments offshore Uruguay, en Offshore Technology Conference: Houston, Texas, OTC, 1-4 de mayo, https://doi.org/10.4043/32560-MS

Ferro, S., J. Tomasini, P. Gristo, C. Romeu, N. Blánquez, H. de Santa Ana y P. McLeroy, 2017, Uruguayan Petroleum Fiscal Regime, en SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Buenos Aires, 17-19 de mayo.

Ferro, S., P. Rodríguez, J. Tomasini, P. Gristo, N. Blánquez, B. Conti, C. Romeu y J. Marmisolle, 2020, Minimum economic field size and probability of success of conventional hydrocarbon discoveries, in the light of the new Open Uruguay Round framework, en SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, julio, Society of Petroleum Engineers, https://doi.org/10.2118/199069-MS

Fígoli Pacheco, A. J., 2018, Regimen jurídico de los cables submarinos de comunicaciones: Revista de Derecho Marítimo y Portuario, n.º 2, pp. 45-59.

Flood, R. D. y A. N. Shor, 1988, Mud waves in the Argentine Basin and their relationship to regional bottom circulation patterns: Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 35, n.º 6, pp. 943-971, https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90070-2

Fontana, R. L., 1996, Geotectônica e sismoestratigrafia da bacia de Pelotas e plataforma de Florianópolis, tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 347 pp.

Forselledo, R. y A. Domingo, 2015, Plan de Acción Nacional para la Conservación de Condrictios en las Pesquerías Uruguayas, 2015, en A. Domingo, R. Forselledo y S. Jiménez, eds., Revisión de planes de acción nacional para la conservación de aves marinas y condrictios en las pesquerías uruguayas.: Montevideo, DINARA, pp. 81-152.

Fossati, M., 2013, Dinámica global de sedimentos finos en el Río de la Plata: Montevideo, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 420 pp.

Fossati, M. e I. Piedra-Cueva, 2013, A 3D hydrodynamic numerical model of the Río de la Plata and Montevideo's coastal zone: Applied Mathematical

Modelling, v. 37, pp. 1310-1332, https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.04.010

Fossati, M., M. Fernández e I. Piedra-Cueva, 2013, Determination of a submarine outfall discharge location based on a 3D hydrodynamic-lagrangian high resolution model implemented for the Río de la Plata in South America, en M. Mateus y R. Neves, eds., Ocean modelling for coastal management a case studies with MOHID: Lisboa, IST Press, pp. 69-82.

Fossati, M., P. Santoro, R. Mosquera, C. Martínez, F. Ghiardo, P. Ezzatti, F. Pedocchi e I. piedra cueva, 2014, Dinámica de flujo, del campo salino y de los sedimentos finos en el Río de la Plata: RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agua, v. 1, pp. 48-63, https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30007-4

Fossette, S., M. J. Witt, P. Miller, M. A. Nalovic, D. Albareda, A. P. Almeida, A. C. Broderick, D. Chacón-Chaverri, M. S. Coyn, A. Domingo, S. Eckert, D. Evans, A. Fallabrino, S. Ferraroli, A. Formia, B. Giffoni, G. C. Hays, G. Hughes, L. Kelle, A. Leslie, M. López-Mendilaharsu, P. Luschi, L. Prosdocimi, S. Rodriguez-Heredia, A. Turny, S. Verhage y B. J. Godley, 2014, Pan-atlantic analysis of the overlap of a highly migratory species, the leatherback turtle, with pelagic longline fisheries: Proceedings. Biological Sciences, v. 281, n.º 1780, 20133065, https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3065

Foster, E., M. Haward y S. Coffen-Smout, 2005, Implementing integrated oceans management: Australia's south east regional marine plan (SERMP) and Canada's eastern Scotian shelf integrated management (ESSIM) initiative: Marine Policy, v. 29, n.º 5, pp. 391-405, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2004.06.007

Framiñán, M. B., M. P. Etala, E. M. Acha, R. A. Guerrero, C. A. Lasta y O. B. Brown, 1999, Physical Characteristics and Processes of the Río de la Plata Estuary, en G. M. E. Perillo, M. C. Piccolo y M. Pino-Quivira, eds., Estuaries of South America: Their geomorphology and dynamics: Buenos Aires, Springer, pp. 161-194.

Franckx, E., 2007, The 200-mile limit: Between creeping jurisdiction and creeping common heritage - Some law of the sea considerations from professor Louis Sohn's former LL.M. student: The George Washington International Law Review, v. 39, n.º 3, pp. 467-498.

Franco, B. C., O. Defeo, A. R. Piola, M. Barreiro, H. Yang, L. Ortega, I. Gianelli, J. P. Castello, C. Vera, C. Buratti, M. Pájaro, L. P. Pezzi y O. O. Möller, 2020, Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic ocean: a review: Climatic Change, v. 162, n.º 4, pp. 2359-2377, https://doi.org/10.1007/s10584-020-02783-6

Franco-Fraguas, P., L. Burone, M. Mahiques, L. Ortega, C. Urien, A. Muñoz, G. López, Y. Marin, A. Carranza,

N. Lahuerta y C. de Mello, 2014, Hydrodynamic and geomorphological controls on surface sedimentation at the Subtropical Shelf Front / Brazil-Malvinas Confluence transition off Uruguay (Southwestern Atlantic Continental Margin): Marine Geology, v. 349, pp. 24-36, https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.12.010

Franco-Trecu, V., 2015, Tácticas comportamentales de forrajeo y apareamiento y dinámica poblacional de dos especies de otáridos simpátricas con tendencias poblacionales contrastantes, tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

Franco-Trecu, V., P. Costa, C. Abud, C. Dimitriadis, P. Laporta, C. Passadore y M. Szephegyi, 2009, By-catch of franciscana Pontoporia blainvillei in Uruguayan artisanal gillnet fisheries: an evaluation after a twelve-year gap in data collection: Latin American Journal of Aquatic Mammals, v. 7, n.º 1- 2 SE- Articles, pp. 11-22, https://doi.org/10.5597/lajam00129

Franco-Trecu, V., M. Szephegyi, F. Doño, R. Forselledo, F. Reyes, C. Passadore, E. Crespo y P. Inchausti, 2019, Marine mammal bycatch by the industrial bottom trawl fishery at the Río de la Plata Estuary and the adjacent Atlantic Ocean: Latin American Journal of Aquatic Research, v. 47, n.º 1, pp. 89-101, http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue1-fulltext-10

Franke, D., 2013, Rifting, lithosphere breakup and volcanism: Comparison of magma-poor and volcanic rifted margins: Marine and Petroleum Geology, v. 43, pp. 63-87, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.11.003

Franke, D., S. Ladage, M. Schnabel, B. Schreckenberger, C. Reichert, K. Hinz, M. Paterlini, J. de Abelleyra y M. Siciliano, 2010, Birth of a volcanic margin off Argentina, South Atlantic: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 11, n.º 2, https://doi.org/10.1029/2009GC002715

Franke, D., S. Neben, S. Ladage, B. Schreckenberger y K. Hinz, 2007, Margin segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic: Marine Geology, v. 244, n.º 1, pp. 46-67, https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.009

Franke, D., S. Neben, B. Schreckenberger, A. Schulze, M. Stiller y C. M. Krawczyk, 2006, Crustal structure across the Colorado Basin, offshore Argentina: Geophysical Journal International, v. 165, n.º 3, pp. 850-864, https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02907.x

Franklin, J. M., H. L. Gibson, I. R. Jonasson y A. G. Galley, 2005, Volcanogenic massive sulfide deposits, en J. W. Hedenquist, J. F. H. Thompson, R. J. Goldfarb y J. P. Richards, eds., Economic Geology 100th Anniversary Volume (1905-2005): Littleton, CO, Society of Economic Geologists, pp. 523-560.

Freiwald, A., J. H. Fosså, A. Grehan, T. Koslow y J. M. Roberts, 2004, Cold-water coral reefs: out of sight no longer out of mind: Cambridge, UNEP-WCM, 86 pp.

FREPLATA, 2005, Análisis diagnóstico transfronterizo del Río de la Plata y su frente Marítimo. Documento técnico: Montevideo, FREPLATA, 313 pp.

FREPLATA, 2007, Programa de Acción Estratégico Proyecto PNUD-GEF (RLA/99/G31): Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats (FREPLATA): Montevideo, FREPLATa, 22 pp.

FREPLATA, 2011, Estudio de la dinámica hidro-sedimentológica del río de la plata: observación y modelación numérica de los sedimentos finos: Montevideo: FREPLATA, 112 pp.

Freudenthal, T. y G. Wefer, 2013, Drilling cores on the sea floor with the remote-controlled sea floor drilling rig MeBo: Geoscientific Instrumentation, v. 2, n.º 2, pp. 329-337, https://doi.org/10.5194/gi-2-329-2013

Fryklund, R. y J. Stevens, 1996, Cuenca del Colorado, en Geología y recursos naturales de la plataforma continental Argentina, XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos: Buenos Aires, Asociación Geológica, Instituto Argentino del Petróleo, pp. 135-158.

Fujii, T., K. Suzuki, T. Takayama, M. Tamaki, Y. Komatsu, Y. Konno, J. Yoneda, K. Yamamoto y J. Nagao, 2015, Geological setting and characterization of a methane hydrate reservoir distributed at the first offshore production test site on the Daini-Atsumi Knoll in the eastern Nankai Trough, Japan: Marine and Petroleum Geology, v. 66, pp. 310-322, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.02.037

Fulton, E. A., C. M. Bulman, H. Pethybridge y S. D. Goldsworthy, 2018, Modelling the Great Australian Bight ecosystem: Deep sea research part II: Topical Studies in Oceanography, v. 157-158, pp. 211-235, https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.11.002

Gabaldón García, J. L., 2012, Curso de Derecho Marítimo Internacional. Derecho marítimo internacional público y privado y contratos marítimos internacionales: Madrid, Marcial Pons, 960 pp.

Gadino, I. y G. Taveira, 2020, Ordenamiento y gestión del territorio en zonas costeras con turismo residencial. El caso de Región Este, Uruguay: Revista de Geografía Norte Grande, v. 77, pp. 233-251, https://doi.org/10.4067/s0718-34022020000300233

Gahlen, S. F., 2015, Civil liability for accidents at sea: Kiel, Springer, 434 pp., https://doi.org/10.1007/978-3-662-45555-5

Gaitán, E. y V. Souto, 2020, Comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el área del efectivo norte de merluza

común: Frente Marítimo, v. 25, pp. 53-77.

García, C. A. E. y V. M. T. García, 2008, Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata continental shelf region: Continental Shelf Research, v. 28, n.º 13, pp. 1568-1578, https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.08.010

García, M., A. Jaureguizar y L. Protogino, 2010, From fresh water to the slope: fish community ecology in the Río de la Plata and the sea beyond: Latin American Journal of Aquatic Resources, v. 38, n,º 1, pp. 81-94, https://doi.org/10.3856/vol38-issue1-fulltext-8

García-Alonso, J., D. Lercari y O. Defeo, 2019, Chapter 3 - Río de la Plata: A neotropical estuarine system, en E. Wolanski, J. W. Day, M. Elliott y R. Ramachandran, eds., Coasts and estuaries: Ámsterdam, Elsevier, pp. 45-56, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00003-4

Garnesson, P., A. Mangin, O. Fanton Dandon, J. Demaria y M. Bretagnon, 2019, The CMEMS GlobColour chlorophyll a product based on satellite observation: multi-sensor merging and flagging strategies: Ocean Science, v. 15, pp. 819-830, https://doi.org/10.5194/os-15-819-2019

Gayoso, A. M. y G. P. Podestá, 1996, Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil-Malvinas currents confluence: Journal of Plankton Research, v. 18, n.º 6, pp. 941-951, https://doi.org/10.1093/plankt/18.6.941

Genta, J. L. e I. Piedra-Cueva, 2018, El territorio marítimo uruguayo y su costa: documento estratégico: Montevideo, Ministerio de Educación y Cultura, 157 pp.

GEO, 2008, Geo Uruguay 2008: Informe del estado del ambiente: Montevideo, Ambiente en América Latina - CLAES, 350 pp.

Geoffroy, L., 2005, Volcanic passive margins: Comptes Rendus Geosciences, v. 337, pp. 1395-1408, https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.10.006

Geoffroy, L., E. B. Burov y P. Werner, 2015, Volcanic passive margins: another way to break up continents: Scientific Reports, v. 5, n.º 1, 14828, https://doi.org/10.1038/srep14828

Georgi, D. T., 1981, On the relationship between the large-scale property variations and fine structure in the Circumpolar Deep Water: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 86, n.º C7, pp. 6556-6566, https://doi.org/10.1029/JC086iC07p06556

Gerster, R., H. Welsink, A. Ansa y F. Raggio, 2011, Cuenca de Colorado: Cuencas argentinas. Visión actual, en VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, pp. 65-80.

Gianelli, I. y O. Defeo, 2017, Uruguayan fisheries under an increasingly globalized scenario: Long-term landings

and bioeconomic trends: Fisheries Research, v. 190, pp. 53-60, https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.02.002

Gianelli, I., L. Orlando, L. G. Cardoso, A. Carranza, E. Celentano, P. Correa, A. de la Rosa, F. Doño, M. Haimovici, S. Horta, A. J. Jaureguizar, G. Jorge-Romero, D. Lercari, G. Martínez, I. Pereyra, S. Silveira, R. Vögler y O. Defeo, 2023, Sensitivity of fishery resources to climate change in the warm-temperate Southwest Atlantic Ocean: Regional Environmental Change, v. 23, n.º 49. https://doi.org/10.1007/s10113-023-02049-8

Gianelli, I., L. Ortega, Y. H. Marín, A. R. Piola y O. Defeo, 2019, Evidence of ocean warming in Uruguay's fisheries landings: the mean temperature of the catch approach: Marine Ecology Progress Series, v. 625, pp. 115-125, https://doi.org/10.3354/meps13035

Gianuca, D., L. Bugoni, S. Sebastián Jiménez, N. W. Daudt, P. Miller, G. Canani, A. Silva-Costa, F. A. Faria, J. Bastida, J. P. Seco Pon, O. Yates, P. P. Serafini y A .L. Bond, 2020, Intentional killing and extensive aggressive handling of albatrosses and petrels at sea in the southwestern Atlantic Ocean: Biological Conservation, v. 252, 108817, https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108817

Giberto, D. A., C. S. Bremec, E. M. Acha y H. W. Mianzan, 2004, Large-scale spatial patterns of benthic assemblages in the SW Atlantic: the Rí o de la Plata estuary and adjacent shelf waters: Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 61, n.º 1, pp. 1-13, https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.03.015

Giffoni, B., N. J. Leite, P. Miller, M. Pons, G. Sales y A. Domingo, 2014, Captura incidental de tortugas marinas por las flotas de palangre pelágico de Brasil y Uruguay (1998-2010): Collective Volume of Scientific Papers ICCAT, v. 70, n.º 5, pp. 2217-2225.

Gilliland, P. M. y D. Laffoley, 2008, Key elements and steps in the process of developing ecosystem-based marine spatial planning: Marine Policy, v. 32, n.º 5, pp. 787-796, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.022

Giovanardi, F. y R. A. Vollenweider, 2004, Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas: Journal of Limnology, v. 63, n.º 2 SE-Original Articles, pp. 199-218, https://doi.org/10.4081/jlimnol.2004.199

Giusto, A., N. F. Aprigliano, P. Caramellino y P. S. Almada, 2023, Estudio del posible impacto de los cruceros turísticos en la calidad del agua del Puerto de Buenos Aires, Argentina: Revista Internacional de Contaminación Ambiental, v. 39, pp. 361-371, https://doi.org/10.20937/RICA.54732

Gladczenko, T. P., K. Hinz, O. Eldholm, H. Meyer, S. Neben y J. Skogseid, 1997, South Atlantic volcanic margins: Journal of the Geological Society, v. 154, n.º 3, pp. 465-470, https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.3.0465

Global Fishing Watch, 2023, Global Fishing Watch Map, consultado el 1 de julio de 2023, https://globalfishingwatch.org/

Gollasch, S. y M. David, 2019, Ballast Water: Problems and Management, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 237-250, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00014-0

Gómez Pivel, M. A. 2006. Geomorfología y procesos erosivos en la costa atlántica uruguaya, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo: Vida Silvestre Uruguay, pp. 35-44.

Goni, G., F. Bringas y P. Dinezio, 2011, Observed low frequency variability of the Brazil Current front: Journal of Geophysical Research (Oceans), v. 116, https://doi.org/10.1029/2011JC007198

González Campos, J. D., L. I. Sánchez Rodríguez y P. A. Sáenz de Santa María, 2008, Curso de Derecho Internacional Público: Madrid, Thomson-Civitas, 1140 pp.

González Carman, V., A. Mandiola, D. Alemany, M. Dassis, J. P. Seco Pon, L. Prosdocimi, A. Ponce de León, H. Mianzan, E. M. Acha, D. Rodríguez, M. Favero y S. Copello, 2016, Distribution of megafaunal species in the Southwestern Atlantic: Key ecological areas and opportunities for marine conservation: ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, v. 73, n.º 6, pp. 1679-1588, https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw019

González Cuñarro, A. J., 1990, La hidrovía: Bases para su estatuto: Montevideo, Centro de Navegación Transatlántica, 22 pp.

Gordon, A. L., 1981, South Atlantic thermocline ventilation: Deep sea research part A. Oceanographic Research Papers, v. 28, n.º 11, pp. 1239-1264, https://doi.org/10.1016/0198-0149(81)90033-9

Gordon, A. L., 1988, The South Atlantic: An overview of results from 1983-88 research: Oceanography, v. 1, n.º 2, pp. 12-58.

Gordon, A. L., 1989, Brazil-Malvinas Confluence-1984: Deep sea research part A. Oceanographic Research Papers, v. 36, pp. 359-384, https://doi.org/10.1016/0198-0149(89)90042-3

Goso Aguilar, C. y R. Muzio, 2006, Geología de la costa uruguaya y sus recursos minerales asociados, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 9-19.

Granit, J., B. Liss Lymer, S. Olsen, A. Tengberg, S. Nõmmann y T. J. Clausen, 2017, A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum: Water

Policy, v. 19, n.º 4, pp. 673-691, https://doi.org/10.2166/wp.2017.126

Grasshoff, K., K. Kremling y M. Ehrhardt, 2009, Methods of seawater analysis: Weinheim, WILEY-VCH, 632 pp., https://doi.org/10.1002/9783527613984.ch19

Grassmann, S., D. Franke, S. Neben, M. Schnabel y V. Damm, 2011, Maturity modelling of the deepwater continental margin, offshore Argentina: Z. dt. Ges. Geowiss, v. 162, n.º 1, pp. 79-89, https://doi.org/10.1127/1860-1804/2011/0162-0079

Gray, A., 2014, Seabed geomorphology and gas hydrate distribution, offshore Uruguay, tesis de maestría, University of Aberdeen, 82 pp.

Grimm, A., V. Barros y M. Doyle, 2000, Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events: Journal of Climate, v. 13, pp. 35-58, https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)0130035:-CVISSA2.0.CO;2

Gristo, P., B. Conti, P. Rodríguez, R. Novo, J. Marmisolle y H. de Santa Ana, 2021, Evaluación de recursos prospectivos de petróleo y gas en Uruguay. Primera versión en español: Montevideo, ANCAP, 131 pp.

Gristo, P., B. Conti, P. Rodríguez, R. Novo, J. Marmisolle y H. de Santa Ana, 2022, Volumetric assessment of oil and gas prospective resources in the offshore of Uruguay, En 11.º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Conexplo): Instituto Argentino del Petróleo y Gas.

Grorud-Colvert, K., J. Sullivan-Stack, C. Roberts, V. Constant, B. Horta e Costa, E. P. Pike, N. Kingston, D. Laffoley, E. Sala, J. Claudet, A. M. Friedlander, D. A. Gill, S. E. Lester, J. C. Day, E. J. Gonçalves, G. N. Ahmadia, M. Rand, A. Villagomez, N. C. Ban, G. G. Gurney, A. K. Spalding, N. J. Bennett, J. Briggs, L. E. Morgan, R. Moffitt, M. Deguignet, E. K. Pikitch, E. S. Darling, S. Jessen, S. O. Hameed, G. Di Carlo, P. Guidetti, J. M. Harris, J. Torre, Z. Kizilkaya, T. Agardy, P. Cury, N. J. Shah, K. Sack, L. Cao, M. Fernandez y J. Lubchenco, 2021, The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean: Science, v. 373, n.º 6560, eabf0861, https://doi.org/10.1126/science.abf0861

Grote, M., N. Mazurek, C. Gräbsch, J. Zeilinger, S. Le Floch, D.-S. Wahrendorf y T. Höfer, 2016, Dry bulk cargo shipping – An overlooked threat to the marine environment? Marine Pollution Bulletin, v. 110, n.º 1, pp. 511-519, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.066

Guaitolini, F. L. y M. F. Q. Obregon, 2019, A extensão da plataforma continental além das duzentas milhas marítimas e a Amazônia azul: Derecho y Cambio Social, n.º 55, pp. 112-133.

Guerrero, R. A., A. R. Piola, G. Molinari, A. Osiroff y S. Jauregui, 2010, Climatología de temperatura y salinidad en el Río de la Plata y su Frente Marítimo.

Argentina-Uruguay: Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, 95 pp.

Guerrero, R. A., A. R. Piola, H. Fenco, R. P. Matano, V. Combes, Y. Chao, C. James, E. D. Palma, M. Saraceno y P. T. Strub, 2014, The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Satellite observations: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 119, n.º 11, pp. 7794-7810, https://doi.org/10.1002/2014JC010113

Guerrero, R. A., A. R. Piola, H. Fenco, R. P. Matano, V. Combes, Y. Chao, C. James, E. D. Palma, M. Saraceno y P. T. Strub, 2014, The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Satellite observations: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 119, n.º 11, pp. 7794-7810, https://doi.org/10.1002/2014JC010113

Guerrero, R. A. y A. R. Piola, 1997, Masas de agua en la plataforma continental Argentina, en E. E. Boschi, ed., El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales: Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, pp. 107-118.

Guerrero, R. A., E. M. Acha, M. B. Framiñán y C. A. Lasta, 1997, Physical oceanography of the Rio de la Plata Estuary, Argentina: Continental Shelf Research, v. 17, n.º 7, pp. 727-742, https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00061-1

Gupta, C. K. y N. Krishnamurthy, 2015, Extractive metallurgy of rare earths: Boca Raton, CRC Press, 869 pp., https://doi.org/10.1201/b19055

Gutiérrez, N. y O. Defeo, 2003, Development of a new scallop *Zygochlamys patagonica* fishery in Uruguay: latitudinal and bathymetric patterns in biomass and population structure: Fisheries Research, v. 62, n.º 1, pp. 21-36, https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00247-3

Gutiérrez, N., A. Martínez y O. Defeo, 2008, Identifying environmental constraints at the edge of a species' range: scallop Psychrochlamys patagonica in the SW Atlantic Ocean: Marine Ecology Progress Series, v. 353, pp. 147-156.

Gutiérrez, N., A. Masello, G. Uscudun y O. Defeo, 2011, Spatial distribution patterns in biomass and population structure of the deep sea red crab Chaceon notialis in the Southwestern Atlantic Ocean: Fisheries Research, v. 110, pp. 59-66.

Halpern, B. S., 2020, Building on a decade of the ocean health index: One Earth, v. 2, pp. 30-33, https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.011

Halpern, B. S., M. Frazier, J. Afflerbach, C. O'Hara, S. Katona, J. Stewart, N. Jiang, E. J. Pacheco, C. Scarborough y J. Polsenberg, 2017, Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years: PloS one, v. 12, e0178267, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178267

Halpern, B., M. Frazier, J. Afflerbach, J. Stewart, F. Micheli, C. O'Hara, C. Scarborough y K. Selkoe, 2019, Recent pace of change in human impact on the world's ocean: Scientific Reports, v. 9, https://doi.org/10.1038/s41598-019-47201-9

Hancock, A., 2022, EU must speed up approval of renewable projects, Denmark says, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.ft.com/content/8fc5d390-df66-4da3-96b0-b65408bb0536

Hansen, J. E., 2000, Anchoíta (*Engraulis anchoita*), en S. I. Bezzi, R. Akselman y E. E. Bosch, eds., Sínteis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la Cuenca del Plata. Años 1997-1998, con actualización 1999: Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, pp. 205-216.

Hansen, J. E., 2004, Anchoíta (*Engraulis achoita*), en R. P. Sánchez y S. I. Bezzi, eds., El Mar Argentino y sus recursos pesqueros, tomo 4, Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación: Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, pp. 101-115.

Hart, H. L. A., 2011, El concepto de derecho: Buenos Aires, Abeledo Perrot, 352 pp.

Hedley, R., A. Intawong, F. Winter y V. Sibeya, 2022, Hydrocarbon play concepts in the Orange Basin in light of the Venus and Graff oil discoveries: First Break, v. 40, n.º 5, p.p 91-95, https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2022043

Hein, J. R., A. Koschinsky, M. Bau, F. T. Manheim, J.-K. Kang y L. Roberts, 2000, Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific, en D. S. Cronan, ed., Handbook of marine mineral deposits: Nueva York, CRC Press, pp. 239-280, https://doi.org/10.1201/9780203752760

Hein, J. R., A. Koschinsky, M. Mikesell, K. Mizell, C. R. Glenn y R. Wood, 2016, Marine phosphorites as potential resources for heavy rare earth elements and yttrium: Minerals, v. 6, n.º 3, p. 22, https://doi.org/10.3390/min6030088

Hein, J. R., K. Mizell, A. Koschinsky y T. A. Conrad, 2013, Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: Comparison with land-based resources: Ore Geology Reviews, v. 51, pp. 1-14, https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.12.001

Heine, C., J. Zoethout y R. D. Müller, 2013, Kinematics of the South Atlantic rift: Solid Earth, v. 4, n.º 2, pp. 215-253, https://doi.org/10.5194/se-4-215-2013

Henkel, S., M. Strasser, T. Schwenk, T. J. J. Hanebuth, J. Hüsener, G. L. Arnold, D. Winkelmann, M. Formolo, J. Tomasini, S. Krastel y S. Kasten, 2011, An interdisciplinary investigation of a recent submarine mass transport deposit at the continental margin off Uruguay: Geochemistry, Geophysics,

Geosystems, v. 12, n.º 8, https://doi.org/10.1029/2011GC003669

Henry, L. A. y J. M. Roberts, 2007, Biodiversity and ecological composition of macrobenthos on cold-water coral mounds and adjacent off-mound habitat in the bathyal Porcupine Seabight, NE Atlantic: Deep-Sea Research Part I, Oceanographic Research Papers, v. 54, pp. 654-672, https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.01.005

Hensen, C., M. Zabel y H. D. Schulz, 2000, A comparison of benthic nutrient fluxes from deep-sea sediments off Namibia and Argentina: Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 47, n.º 9, pp. 2029-2050, https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00015-1

Hensen, C., M. Zabel, K. Pfeifer, T. Schwenk, S. Kasten, N. Riedinger, H. D. Schulz y A. Boetius, 2003, Control of sulfate pore-water profiles by sedimentary events and the significance of anaerobic oxidation of methane for the burial of sulfur in marine sediments: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 67, n.º 14, pp. 2631-2647, https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00199-6

Hernández-Molina, F., C. Paterlini, L. Somoza, R. Violante, M. Arecco, M. Isasi, M. Rebesco, G. Uenzelmann-Neben, S. Neben y P. Marshall, 2010, Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation: Marine and Petroleum Geology, v. 27, pp. 1508-1530, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.003

Hernández-Molina, F. J., M. Soto, A. R. Piola, J. Tomasini, B. Preu, P. Thompson, G. Badalini, A. Creaser, R. A. Violante, E. Morales, M. Paterlini y H. de Santa Ana, 2016, A contourite depositional system along the Uruguayan continental margin: Sedimentary, oceanographic and paleoceanographic implications: Marine Geology, v. 378, pp. 333-349, https://doi.org/10.1016/J.MARGEO.2015.10.008

Hernández-Molina, J. F., S. Campbell, G. Badalini, P. Thompson, R. Walker, M. Soto, B. Conti, B. Preu, A. Thieblemont, L. Hyslop, E. Miramontes y E. Morales, 2018, Large bedforms on contourite terraces: Sedimentary and conceptual implications: Geology, v. 46, n.º 1, pp. 27-30, https://doi.org/10.1130/G39655.1

Hervouet, J. M., 2007, Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method: Chichester, RU, John Wiley & Sons, 360 pp., https://doi.org 10.1002/9780470319628

Herzig, P. M., S. Petersen y M. D. Hannington, 2002, Polymetallic massive sulphide deposits at the modern seafloor and their resource potential, in Polymetallic massive sulphides and cobalt-rich ferromanganese crusts: Status and prospects. ISA Technical Study, 2: Kingston, International Seabed Authority, pp. 7-35.

Hiddink, J. G., A. F. Johnson, R. Kingham y H. Hinz, 2011, Could our fisheries be more productive? Indirect negative effects of bottom trawl fisheries on fish condition: Journal of Applied Ecology, v. 48, n.º 6, pp. 1441-1449, https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02036.x

Hilborn, R., 2012, The evolution of quantitative marine fisheries management 1985-2010: Natural Resource Modeling, v. 25, pp. 122-144, https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2011.00100.x

Hildebrand, J. A., 2009, Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean: Marine Ecology Progress Series, v. 395, pp. 5-20.

Hinz, K., 1981, A hypothesis on terrestrial catastrophes: Wedges of very oceanward dipping layers beneath passive continental margens, thin origin and paleoenvironmental significance, Geologisches Jahrbuch, n.º 22: pp. 3-28.

Hinz, K., S. Neben, B. Schreckenberger, H. A. Roeser, M. Block, K. G. de Souza y H. Meyer, 1999, The Argentine continental margin north of 48° S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup: Marine and Petroleum Geology, v. 16, n.º 1, pp. 1-25, https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00060-9

Hobday, A., L. V. Alexander, S. E. Perkins, D. A. Smale, S. C. Straub, E. C. J. Oliver, J. A. Benthuysen, M. T. Burrows, M. G. Donat, M. Feng, N. J. Holbrook, P. J. Moore, H. A. Scannell, A. Sen Gupta y T. Wernberg, 2016, A hierarchical approach to defining marine heatwaves: Progress in Oceanography, v. 141, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014

Hobday, A. y G. Pecl, 2014, Identification of global marine hotspots: Sentinels for change and vanguards for adaptation action: Reviews in Fish Biology and Fisheries, v. 24, https://doi.org/10.1007/s11160-013-9326-6

Horta, S., 2006, Análisis morfológico y de distribución de la langosta oceánica *Thymops biristeini* Zarencov & Semenov, 1972 (Crustacea, Decapoda, Nephropidae): Montevideo, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 25 pp.

Horta, S., 2012, Análisis macroecológico y ecosistémico de la biodiversidad costera en Uruguay, e implicancias para la conservación y el manejo de los recursos pesqueros: Montevideo: UNDECIMAR - Facultad de Ciencias, 166 pp.

Horta, S. y H. Nion, 2011, Desarrollo de métodos alternativos para la estimación del área de veda de merluza (*Merluccius hubbsi*) a partir de eventos ambientales históricos: Publicación de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, v. 22, pp. 341-354.

Horta, S. y O. Defeo, 2012, The spatial dynamics of the whitemouth croaker artisanal fishery in Uruguay and interdependencies with the industrial fleet: Fisheries Research, v. 125-126,

pp. 121-128, https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.02.007

Husebø, Å., L. Nøttestad, J. H. Fossa, D. M. Furevik y S. Jørgensen, 2002, Distribution and abundance of fish in deep-sea coral habitats: Hydrobiologia, v. 471, pp. 91-99, https://doi.org/10.1023/A:1016549203368

Hydrogen Council, 2022, Global hydrogen flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization: Bruselas, Hydrogen Council, 40 pp.

IHS, 2009, International petroleum exploration and production data base: Colorado, IHS.

Inda, H., L. Del Puerto, C. Castiñeira, I. Capdepont y F. García-Rodríguez, 2006, Aprovechamiento prehistórico de recursos costeros en el litoral atlántico uruguayo, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 661-667.

Infopesca, 2014, Uruguay: pescadores acusan a exploraciones petroleras de disminuir pesca, 9 de abril, consultado el 10 de julio de 2022, https://www.infopesca.org/content/uruguay-pescadores-acusan-exploraciones-petroleras-de-disminuir-pesca

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2007, Estudios técnicos marítimos para evaluar la alternativa de descarga en Punta del Este. Convenio: Montevideo, Tahal SA - IMFIA, Facultad de Ingeniería, 215 pp.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2008, Estudio de Alternativas de Descarga en Punta Yeguas. Convenio: Montevideo, Intendencia de Montevideo - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2009, Mediciones de corrientes y oleaje en la costa de Montevideo. Convenio: Montevideo, Intendencia de Montevideo - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2012, URU-WAVE Evaluación de la utilización de la energía de las olas en Uruguay. Proyecto de investigación ANII FSE: Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2015, Desarrollo de un sistema de simulación de largo alcance temporal de la dinámica del Río de la Plata. Proyecto de investigación fondo CSIC I+D: Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2016a, Efecto de la descarga de la Central Batlle sobre la temperatura del agua en la Bahía de Montevideo. Convenio: Montevideo, UTE - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2016b, URU-WAVE 2 - Avance en el uso de la energía unidmotriz en Uruguay. Proyecto de investigación ANII FSE: Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2016c, Viabilidad de la generación de energía hidrocinética en Uruguay a partir de las mareas. Proyecto de investigación ANII FSE. Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2017, Estudio hidrodinámico e hidro-sedimentológico de la bahía de Montevideo. Convenio: Montevideo, Administración Nacional de Puertos - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2018a, Actualización del procesamiento de las mediciones de parámetros meteoceánicos registrados por la boya de Gas Sayago SA (regasificadora). Convenio: Montevideo, Gas Sayago SA - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2018b, Dinámica de sedimentos cohesivos en la costa de Montevideo. Proyecto de investigación CSIC I+D: Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2020a, Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. Convenio: Montevideo, NAP-Costas (DINAMA) - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2020b, Estudio de base para la construcción de un puerto deportivo en la zona de Atlántida. Convenio: Montevideo, Dirección Nacional de Hidrografía, Ministerio de Transporte y Obras Públicas - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2020c, Evaluación de la pluma de descarga del efluente de la planta La Teja en la bahía de Montevideo. Convenio: Montevideo, ANCAP - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2021a, Mantenimiento de Boya oceanográfica y equipos a efectos de obtener mediciones confiables y asegurar su integridad. Convenio: Intendencia de Montevideo - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2021b, Monitoreos hidrodinámicos y biológicos en el Río de la Plata en la zona de Punta del Tigre. Convenio: UTE - IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), 2021c, Teledetección de clorofila y sedimentos

en suspensión en el Río de la Plata. Aplicación a Punta del Tigre, San José. Proyecto de investigación fondo CSIC-UTE I+D: Montevideo, IMFIA.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) y LHSV, 2017, Open source modelling on the fine sediment dynamic's in estuaries and bays (OSMOSE). Proyecto de cooperación internacional: Montevideo, IMFIA, Facultad de Ingeniería.

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), 2020, Estado del conocimiento biológico pesquero de los principales recursos vivos y su ambiente; con relación a la exploración hidrocarburífera en la zona económica exclusiva Argentina y adyacencias: Mar del Plata, INIDEP, 119 pp.

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT), 2015, Norma UNIT-ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso: Montevideo, UNIT, 40 pp.

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019, Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: Bonn, IPBES, 1148 pp., https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673

International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 2004, Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management and Advisory Committee on Ecosystems, Book 1 - Introduction, overviews, special requests, and regional advice: Copenague, ICES, https://doi.org/10.17895/ices.pub.19268660.v1

International Energy Agency (IEA), 2019, Offshore wind outlook 2019: París, IEA, 98 pp.

International Energy Agency (IEA), 2021, World energy outlook 2021: París, IEA, 386 pp.

International Energy Agency (IEA), 2022a, The role of critical minerals in clean energy transitions. World energy outlook special report: París, IEA, 287 pp.

International Energy Agency (IEA), 2022b, Wind electricity. Technology deep dive, consultado el 1 de diciembre de 2023, https:// iea.org/energy-system/renewables/wind

International Energy Agency (IEA), 2022c, World energy investment 2022: París, IEA, 227 pp.

International Energy Agency (IEA), 2022d, World energy outlook 2022: París, IEA, 524 pp.

International Energy Agency (IEA), 2023, World energy investment 2023: París, IEA, 181 pp.

International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019, Future of wind. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper): Abu Dhabi, IRENA, 88 pp.

Introcaso, A. y V. A. Ramos, 1984, La Cuenca de Salado: un modelo de evolución aulacogénica, en IX Congreso Geológico Argentino, pp. 27-46.

Iriarte, V., 2006, Killer whale (*Orcinus orca*) occurrence at Isla de Lobos, Uruguay: Latin American Journal of Aquatic Mammals, v. 5, n.º 1 SE-Short Communications, pp. 73-76, https://doi.org/10.5597/lajam00096

ITOPF, 2023, Oil tanker spill statistics 2022, consultado el 1 de julio de 2023, https://www.itopf.org/

Jackson, M., 2021, Cuantificación de los efectos del cambio climático sobre el régimen medio y extremal del nivel de mar en la costa uruguaya: Montevideo, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 140 pp.

Jackson, M., M. Fossati y S. Solari, 2022a, Sea levels dynamical downscaling and climate change projections at the Uruguayan coast: Frontiers in Marine Science, v. 9, 846396. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.846396

Jackson, M., M. Fossati y S. Solari, 2022b, Effects of climate change on the sea levels along the Uruguayan coast, en Proceedings of the 39th IAHR World Congress, Granada, pp. 6203-6212, https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022384

Jackson, M., P. Santoro, S. Solari y M. Fossati, 2018, Pronóstico retrospectivo (hindcast) de nivel de mar en la costa de Uruguay, en XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

Jackson, M., G. Sienra, P. Santoro y M. Fossati, 2021, Temporal and spatial variability scales of salinity at a large microtidal estuary: Journal of Marine Science and Engineering, v. 9, p. 860, https://doi.org/10.3390/jmse9080860

Jägerbrand, A. K., A. Brutemark, J. Barthel Svedén e I. M. Gren, 2019, A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems: Science of The Total Environment, v. 695, 133637, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133637

Jaureguizar, A., A. Solari, F. Cortés, A. Milessi, M. Militelli, M. Camiolo, M. L. C. Tejedor y M. García, 2016, Fish diversity in the Río de la Plata and adjacent waters: an overview of environmental influences on its spatial and temporal structure: Journal of fish biology, v. 89, https://doi.org/10.1111/jfb.12975

Jaureguizar, A., C. Ruarte y R. A. Guerrero, 2006, Distribution of age-classes of striped weakfish (*Cynoscion guatucupa*) along an estuarine-marine gradient: Correlations with the environmental parameters: Estuarine Coastal and Shelf Science, v. 67, pp. 82-92, https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.10.014

Jensen, A. K. y R. S. Frederiksen, 1992, The fauna associated with the bank-forming deepwater coral *Lophelia pertusa* (*Scleractinaria*) on the Faroe shelf: Sarsia, v. 77, pp. 53-69.

Jiménez, J. A., 2013, Marine spatial planning: A guide to concepts and methodological steps: Madrid, MarViva Foundation, 89 pp.

Jiménez, S., M. Abreu, M. Pons, M. Ortiz y A. Domingo, 2010, Assessing the impact of the pelagic longline fishery on albatrosses and petrels in the Southwest Atlantic: Aquatic Living Resources, v. 23, pp. 49-64, https://doi.org/10.1051/alr/2010002

Jiménez de Aréchaga, E., 1980, El derecho internacional contemporáneo: Madrid, Tecnos, 379 pp.

Jiménez de Aréchaga, E., H. Arbuet-Vignali y R. Puceiro Ripoll, 2005, Tratado de derecho internacional público. Tomo 1: Montevideo, FCU, 568 pp.

Jiménez García-Carriazo, Á., 2017, La ampliación de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas en el marco de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar - Especial referencia a España: Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas, Universidad de Jaén, 460 pp.

Johnson, A. y M. D. Max, 2017, Technology Options to Enable Low Environmental Risk Production of Natural Gas Hydrate: 9th International Conference on Gas Hydrates, Denver Colorado, USA.

Johnson, L. S., 2004, Coastal State Regulation of International Shipping: Oceana Publications, 214 p.

Johnston, D., 2007, How to evaluate fiscal terms of oil contracts?, en Escaping the resource curse: Nueva York, Columbia University, pp. 53-88.

Johnston, D., 2014, International petroleum fiscal systems and production sharing contracts, course workbook: Hancock, Daniel Johnston & Co. Inc.

Joint Nature Conservation Committee (JNCC), 2010, JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys: Aberdeen, JNCC, 16 pp.

Jones, C., J. Lawton y M. Schachak, 1994, Organisms as ecosystem engineers: Oikos, v. 69, pp. 373-386, https://doi.org/10.2307/3545850

Jungslager, E. H. A., 1999, Petroleum habitats of the Atlantic margin of South Africa: Geological Society, London, Special Publications, v. 153, n.º 1, pp. 153-168, https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.153.01.10

Kaiser, M. J., 2019, Recent advances in understanding the environmental footprint of trawling on the seabed: Canadian Journal of Zoology, v. 97, n.º 9, pp. 755-762, https://doi.org/10.1139/cjz-2018-0248

Kannen, A., 2014, Challenges for marine spatial planning in the context of multiple sea uses, policy arenas and actors based on experiences from the German North Sea: Regional Environmental Change,

v. 14, n.º 6, pp. 2139-2150, https://doi.org/10.1007/s10113-012-0349-7

Kasten, S., G. P. Glasby, H. D. Schulz, G. Friedrich y S. I. Andreev, 1998, Rare earth elements in manganese nodules from the South Atlantic Ocean as indicators of oceanic bottom water flow: Marine Geology, v. 146, n.º 1, pp. 33-52, https://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00128-X

Katz, M., B. Cramer, J. R. Toggweiler, G. Esmay, C. Liu, K. Miller, Y. Rosenthal, B. Wade y J. Wright, 2011, Impact of Antarctic Circumpolar current development on late Paleogene ocean structure: Science (Nueva York), v. 332, pp. 1076-1079, https://doi.org/10.1126/science.1202122

Keeley, M. L. y M. P. R. Light, 1993, Basin evolution and prospectivity of the Argentine continental margin: Journal of Petroleum Geology, v. 16, n.º 4, pp. 451-464, https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1993.tb00352.x

Kelleher, G., 1999, Guidelines for marine protected areas: Gland y Cambridge, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 107 pp.

Kelsen, H., 1952, Principles of international law: Nueva York, Hold, Rinehart Winston, Inc.

Kelsen, H., 1979, Teoría pura del derecho: Montevideo, Fundación de Cultura Universitaria, 183 pp.

Kelsen, H., 2007, Teoría general de las normas: México, Fundación de Cultura Universitaria, 520 pp.

Kerr, S., K. Johnson y J. C. Side, 2014, Planning at the edge: Integrating across the land sea divide: Marine Policy, v. 47, pp. 118-125, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.01.023

Khain, V. e I. Polyakova, 2004, Oil and gas potential of deep- and ultradeep-water zones of continental margins: Lithology and Mineral Resources, v. 39, pp. 530-540, https://doi.org/10.1023/B:LIMI.0000046956.08736.e4

Khrunyk, Y., S. Lach, I. Petrenko y H. Ehrlich, 2020, Progress in Modern Marine Biomaterials Research: Marine Drugs, v. 18, n.º 12, https://doi.org/10.3390/md18120589

Kidd, S., H. Jones y S. Jay, 2019, Taking account of land-sea interactions in marine spatial planning, en J. Zaucha y K. Gee, eds., Maritime spatial planning: Past, present, future: Cham, Springer, pp. 245-270, https://doi.org/10.1007/978-3-319-98696-8_11

Kiørboe, T., 1993, Turbulence, phytoplankton cell size y the structure of pelagic food webs: Advances in marine biology, v. 29, pp. 1-72, https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60129-7

Kirby, A., F. J. Hernández-Molina y S. Rodrigues, 2021, Lateral migration of large sedimentary bodies in a deep-marine system offshore of Argentina: Scientific Reports, v. 11,

n.º 1, 20291, https://doi.org/10.1038/s41598-021-99730-x

Kirby, A., J. F. Hernández-Molina, P. Rodríguez y B. Conti, 2021, Sedimentary stacking pattern of plastered drifts: An example from the Cenozoic on the Uruguayan continental slope: Marine Geology, v. 440, 106567, https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106567

Kissinger, H., 1995, La diplomacia: México, FCU.

Klein, A. H., A. Vargas, A. Raabe y J. Hsu, 2003, Visual assessment of bayed beach stability with computer software: Computers & Geosciences, v. 29, pp. 1249-1257, https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.08.002

Konno, Y., T. Fujii, A. Sato, K. Akamine, M. Naiki, Y. Masuda, K. Yamamoto y J. Nagao, 2017, Key findings of the world's first offshore methane hydrate production test off the coast of Japan: Toward future commercial production: Energy & Fuels, v. 31, n.º 3, pp. 2607-2616, https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03143

Koopmann, H., B. Schreckenberger, D. Franke, K. Becker y M. Schnabel, 2014, The late rifting phase and continental break-up of the southern South Atlantic: The mode and timing of volcanic rifting and formation of earliest oceanic crust: Geological Society, London, Special Publications, v. 420, https://doi.org/10.1144/SP420.2

Koschinsky, A. y J. R. Hein, 2017, Marine ferromanganese encrustations: Archives of Changing Oceans: Elements, v. 13, n.º 3, pp. 177-182, https://doi.org/10.2113/gselements.13.3.177

Koskenniemi, M., 2020, La política del derecho internacional: Madrid, Trotta, 416 pp.

Krastel, S., G. Wefer, T. J. J. Hanebuth, A. A. Antobreh, T. Freudenthal, B. Preu, t. Schwenk, M. Strasser, R. Violante, D. Winkelmann y M78/3 Shipboard Scientific Party, 2011, Sediment dynamics and geohazards off Uruguay and the de la Plata River region (northern Argentina and Uruguay): Geo-Marine Letters, v. 31, n.º 4, pp. 271-283, https://doi.org/10.1007/s00367-011-0232-4

Krastel, S., G. Wefer y tripulación, 2012, Report and preliminary results of RV METEOR Cruise M78/3. Sediment transport off Uruguay and Argentina: From the shelf to the deep sea. 19.05.2009 - 06.07.2009, Montevideo (Uruguay) - Montevideo (Uruguay): Bremen, Universität Bremen, 79 pp.

Kress, P., O. Catuneanu, R. Gerster y N. Bolatti, 2021, Tectonic and stratigraphic evolution of the Cretaceous Western South Atlantic: Marine and Petroleum Geology, v. 133, 105197, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105197

Kruk, C., A. Martínez Goicoechea, L. Nogueira, C. Alonso y D. Calliari, 2014, Morphological traits variability reflects light limitation of phytoplankton production in a highly productive

subtropical estuary (Río de la Plata, South America): Marine Biology, v. 162, https://doi.org/10.1007/s00227-014-2568-6

Kurihara, M., H. Ouchi, H. Narita y Y. Masuda, 2011, Gas production from methane hydrate reservoirs, Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011), Edinburgo.

Lago, L., M. Saraceno, A. R. Piola y L. Ruiz-Etcheverry, 2021, Volume transport variability on the northern Argentine continental shelf from in situ and satellite altimetry data: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 126, https://doi.org/10.1029/2020JC016813

Lantzsch, H., T. J. J. Hanebuth, C. M. Chiessi, T. Schwenk y R. A. Violante, 2014, The high-supply, current-dominated continental margin of southeastern South America during the late Quaternary: Quaternary Research, v. 81, n.º 2, pp. 339-354, https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.003

Laporta, M., F. Scarabino, G. Fabiano, S. Silveira, I. Pereyra y O. Santana, 2018, Peces e invertebrados capturados en las pesquerías artesanales oceánicas de enmalle y palangre de fondo de Uruguay: Frente Marítimo, v. 25, pp. 325-348.

Laporta, M., P. Miller y A. Domingo, 2013, Captura incidental de tortugas marinas en la pesquería de arrastre Uruguaya: Marine turtles of the North East Atlantic. Contributions for the First Regional Conference. Munibe Monographs. Nature Series, v. 1, pp. 43-50.

Laporta, M., P. Miller, M. Ríos, C. Lezama, A. Bauzá, A. Aisenberg, M. V. Pastorino y A. Fallabrino, 2006, Conservación y manejo de tortugas marinas en la zona costera uruguaya, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 259-269.

Lavis, O., M. Huuse y P. Thompson, 2017, Integrated overburden fluid and geothermal characterization offshore Uruguay, en AAPG/SEG International Conference and Exhibition, AAPG Datagages / Search and Discovery.

Laxenaire, R., S. Speich, B. Blanke, A. Chaigneau, C. Pegliasco y A. Stegner, 2018, Anticyclonic eddies connecting the western boundaries of Indian and Atlantic oceans: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 123, n.º 11, pp. 7651-7677, https://doi.org/10.1029/2018JC014270

Laxenaire, R., S. Speich y A. Stegner, 2019, Evolution of the thermohaline structure of one agulhas ring reconstructed from satellite altimetry and argo floats: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 124, https://doi.org/10.1029/2018JC014426

Laxenaire, R., S. Speich y A. Stegner, 2020, Agulhas ring heat content and transport in the South Atlantic estimated by combining satellite altimetry and

argo profiling floats data: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 125, https://doi.org/10.1029/2019JC015511

Leanza, U. y M. C. Caracciolo, 2014, The exclusive economic zone, en D. J. Attard, M. Fitzmaurice y N. A. Martínez Gutiérrez, eds., The IMLI manual on international maritime law. Volume I. The Law of the Sea: Oxford, Oxford University Press, pp. 177-216.

Lehmköster, J., T. Schröder, D. Ladischensky, E. Lange, S. Petersen, L. Rüpke, E. Söding y K. Wallmann, 2014, World ocean review 3: Marine resources - Opportunities and risks: Hamburgo, Maribus, 165 pp.

Lenton, T., J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen y H. Schellnhuber, 2019, Climate tipping points – too risky to bet against: Nature, v. 575, pp. 592-595, https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0

Levin, L. A., R. J. Etter, M. A. Rex, A. J. Gooday, C. R. Smith, J. Pineda, C. T. Stuart, R. R. Hessler y D. Pawson, 2001, Environmental Influences on regional deep-sea species diversity: Annual Review of Ecology and Systematics, v. 32, n.º 1, pp. 51-93, https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114002

Levine, E., A. J. Mearns y T. R. Loughlin, 1997, Emergency assistance for the assessment and mitigation of the environmental impacts caused by the oil spill produced by the tanker San Jorge on 8 February, 1997. Report # URU/97/001: Montevideo, PNUD-NOAA, 47 pp.

Levin, L. y M. Sibuet, 2012, Understanding continental margin biodiversity: A new imperative: Annual Review of Marine Science, v. 4, pp. 79-112, https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142714

Lezama, A., 1999, Historia debajo del mar (1.ª parte). Introducción a la arqueología subacuática en el Río de la Plata: Anales de Prehistoria y Arqueología, v. 15, pp. 141-165.

Lezama, A., 2000, Historia debajo del mar (2.ª y última parte). Introducción a la arqueología subacuática en el Río de la Plata: Anales de Prehistoria y Arqueología, v. 16, pp. 149-165, https://doi.org/10.6018/apa

Lezama, A., 2009, Escritos bajo el mar. Arqueología subacuática en el Río de la Plata: Montevideo, Linadri y Risso, Universidad de la República, 212 p.

Lezama, A., E. Keldjian, L. Brum Bulanti y A. Gascue, 2015, Avances en la arqueología marítima de la bahía de Maldonado: Prospección, inventario y relevamiento documental: Anuario de Arqueología, pp. 24-44.

Lezama, C., P. Miller, A. Fallabrino, V. Quirici, M. N. Caraccio, D. Pérez-Etcheverry, M. Ríos, P. T. M. U. Karumbé y D. Pérez, 2003, Captura incidental de tortugas marinas por la flota pesquera artesanal en Uruguay. Informe Técnico FREPLATA-Facultad

de Ciencias (PNUD/GEF/RLA 99/G31): Montevideo, FREPLATa-Facultad de Ciencias, 5 pp.

Lhyfe, 2023, Offshore renewable hydrogen, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.lhyfe.com/our-production-units/offshore-ecological-hydrogen/

Li, J., J. Ye, X. Qin, H. Qiu, N. Wu, H. Lu, W. Xie, J. Lu, F. Peng, Z. Xu, C. Lu, Z. Kuang, J. Wei, Q. Liang, H. Lu y B. Kou, 2018, The first offshore natural gas hydrate production test in South China Sea: China Geology, v. 1, n.º 1, pp. 5-16. https://doi.org/https://doi.org/10.31035/cg2018003

Light, M. P. R., M. P. Maslanyi, R. J. Greenwood y N. L. Banks, 1993, Seismic sequence stratigraphy and tectonics offshore Namibia, en G. D. Williams y A. Dobb, eds., Tectonics and seismic sequence stratigraphy: Londres, Geological Society of London, pp. 163-191.

Limongi, P., 2020, Diagnóstico de estado de situación a nivel nacional sobre la contaminación marina por microplásticos: Montevideo, DINAMA, 71 pp.

Limongi, P., L. Ortega, S. Horta, L. Burone y A. Carranza, 2023, Bioregionalization in a data-poor situation: Mapping of Uruguayan marine benthic regions: Frontiers in Marine Science, v. 10, 1130827, https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1130827

Lindgren, J. F. y M. Wilewska-Bien, 2016, Anthropogenic noise, en K. Andersson, S. Brynolf, J. F. Lindgren y M. Wilewska-Bien, eds., Shipping and the environment : Improving environmental performance in marine transportation: Berlín, Springer, pp. 229-235, https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_6

Lindgren, J. F., M. Wilewska-Bien, L. Granhag, K. Andersson y K. M. Eriksson, 2016, Discharges to the sea, en K. Andersson, S. Brynolf, J. F. Lindgren y M. Wilewska-Bien, eds., Shipping and the environment : Improving environmental performance in marine transportation: Berlín, Springer, pp. 125-168, https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_4

Lively, J. A. y T. P. Good, 2019, Ghost Fishing, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 183-196, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00010-3

Løkkeborg, S., E. Ona, A. Vold y A. Salthaug, 2012, Sounds from seismic air guns: gear- and species-specific effects on catch rates and fish distribution: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 69, n.º 8, pp. 1278-1291, https://doi.org/10.1139/f2012-059

Lonardi, A. G. y M. Ewing, 1971, Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. 4. Bathymetry of the continental margin, Argentine Basin and other related provinces. Canyons and sources of

sediments: Physics and Chemistry of the Earth, v. 8, pp. 81-121, https://doi.org/10.1016/0079-1946(71)90016-4

López Campaña, P. y R. Castells Carafi, 1925, El libro del centenario del Uruguay : 1825-1925: Montevideo, Consejo Nacional de Administración, 1100 pp.

López Laborde, J. y G. J. Nagy, 1999, Hydrography and sediment transport characteristics of the Rio de la Plata: A review, en G. M. E. Perillo, M. C. Piccolo y M. Pino-Quivira, eds., Estuaries of South America: Their geomorphology and dynamics: Buenos Aires, Springer, pp. 133-160.

López Laborde, J., A. Perdomo y M. Gómez Erache, 2000, Diagnóstico ambiental y socio-demográfico de la zona costera uruguaya del Río de la Plata. Compendio de los principales resultados: Montevideo, Ecoplata, 180 pp.

López-Mendilaharsu, M., A. Estrades, M. N. Caraccio, V. Calvo, M. Hernández y V. Quirici, 2006, Biología, ecología y etología de las tortugas marinas en la zona costera uruguaya, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 247-258.

Lorenzo, M. I., 2016, Actividad y características de la pesca industrial demersal uruguaya en la zona común de pesca: Frente Marítimo, v. 24, pp. 45-82.

Lorenzo, M., J. de Astarloa, W. Norbis y M. Cousseau, 2011, Long term fish assemblages as units of management in a temperate estuary (Rio de La Plata - SW Atlantic Ocean): Brazilian Journal of Oceanography, v. 59, pp. 43-59, https://doi.org/10.1590/S1679-87592011000100004

Lovecchio, J. P., S. Rohais, P. Joseph, N. D. Bolatti y V. A. Ramos, 2020, Mesozoic rifting evolution of SW Gondwana: A poly-phased, subduction-related, extensional history responsible for basin formation along the Argentinean Atlantic margin: Earth-Science Reviews, v. 203, 103138, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103138

Lozoya, J. P., A. Carranza, J.Lenzi, E. Machín, F. Teixeira de Mello, S. González, D. Hernández, G. Lacerot, G. Martínez, F. Scarabino, J. Sciandro, G. Vélez-Rubio, F. Burgues, D. Carrizo, F. Cedrés, J. Chocca, D. de Álava, S. Jiménez, V. Leoni, P. Limongi, G. López, Y. Olivera, M. Pereira, L. Rubio y F. Weisntein, 2015, Management and research on plastic debris in Uruguayan Aquatic Systems: update and perspectives: Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 15, n.º 3, pp. 377-393, https://doi.org/10.5894/rgci583

Lozoya, J. P., F. Teixeira de Mello, D. Carrizo, F. Weinstein, Y. Olivera, F. Cedrés, M. Pereira y M. Fossati, 2016, Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents? Environmental Pollution, v. 218, pp. 931-941, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.041

Lubchenco, J. y S. Gaines, 2019, A new narrative for the ocean: Science, v. 364, p. 911, https://doi.org/10.1126/science.aay2241

Lucas, A. J., R. A. Guerrero, H. W. Mianzán, E. M. Acha y C. A. Lasta, 2005, Coastal oceanographic regimes of the Northern Argentine Continental Shelf (34-43° S): Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 65, n.º 3, pp. 405-420, https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.06.015

Lumpkin, R. y S. L. Garzoli, 2011, Interannual to decadal variability in the Southwestern Atlantic's Surface Circulation: Journal of Geophysical Research (Oceans), v. 116, C01014, https://doi.org/10.1029/2010JC006285

Lupinacci, J., 1983, El régimen de la plataforma continental en la Convención sobre el Derecho del Mar, en P. Arana, ed., Trabajos presentados a la Conferencia Internacional sobre Recursos Marinos del Pacífico: Valparaíso, Universidad Católica de Valparaíso.

Lutz, V. et al., 2018, Overview on primary production in the Southwestern Atlantic, en M. S. Hoffmeyer, M. E. Sabatini, F. P. Brandini, D. Calliari y N. H. Santinelli, eds., Plankton ecology of the Southwestern Atlantic: From the subtropical to the subantarctic realm: Cham, Springer, pp. 101-126, https://doi.org/10.1007/978-3-319-77869-3_6

Mabragaña, E., L. O. Lucifora y A. M. Massa, 2002, The reproductive ecology and abundance of Symptevygia bonapavtii endemic to the south-west Atlantic: Journal of Fish Biology, v. 60, n.º 4, pp. 951-967, https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02420.x

Macdonald, D., I. Gómez-Pérez, J. Franzese, L. Spalletti, L. Lawver, L. Gahagan, I. Dalziel, C. Thomas, N. Trewin, M. Hole y D. Paton, 2003, Mesozoic break-up of SW Gondwana: Implications for regional hydrocarbon potential of the southern South Atlantic: Marine and Petroleum Geology, v. 20, pp. 287-308, https://doi.org/10.1016/S0264-8172(03)00045-X

Machado, I., M. Barreiro y D. Calliari, 2013, Variability of chlorophyll-a in the Southwestern Atlantic from satellite images: Seasonal cycle and ENSO influences: Continental Shelf Research, v. 53, pp. 102-109, https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.11.014

Maciel, F., S. Haakonsson, L. de León, S. Bonilla y F. Pedocchi, 2023, Challenges for chlorophyll-a remote sensing in a highly variable turbidity estuary, an implementation with Sentinel-2: Geocarto International, v. 38, pp. 1-26, https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2160017

Maciel, F. y F. Pedocchi, 2021, Evaluation of ACOLITE atmospheric correction methods for Landsat-8 and Sentinel-2 in the Río de la Plata turbid coastal waters: International Journal of Remote Sensing, v. 43, pp. 215-240, https://doi.org/10.1080/01431161.2021.2009149

Maciel, F., P. Santoro y F. Pedocchi, 2021, Spatio-temporal dynamics of the Río

de la Plata turbidity front; combining remote sensing with in-situ measurements and numerical modeling: Continental Shelf Research, v. 213, 104301, https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104301

Magnusson, K., J. P. Jalkanen, L. Johansson, V. Smailys, P. Telemo y H. Winnes, 2018, Risk assessment of bilge water discharges in two Baltic shipping lanes: Marine Pollution Bulletin, v. 126, pp. 575-584, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.035

Magoon, L. B. y E. A. Beaumont, 1999, Petroleum systems, en E. A. Beaumont y N. H. Foster, eds., Exploring for oil and gas traps: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, https://doi.org/10.1306/TrHbk624C3

Magoon, L. B. y W. G. Dow, 1994, The petroleum system, en L. B. Magoon y W. G. Dow, eds., The petroleum system - From source to trap: AAPG Memoir 60, pp. 3-24, https://doi.org/10.1306/M60585C1

Magris, R. A. y T. Giarrizzo, 2020, Mysterious oil spill in the Atlantic ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil: Marine Pollution Bulletin, v. 153, 110961, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110961

Mangano, M. C., M. J. Kaiser, E. M. D. Porporato y N. Spanò, 2013, Evidence of trawl disturbance on mega-epibenthic communities in the Southern Tyrrhenian Sea: Marine Ecology Progress Series, v. 475, pp. 101-117.

Manta, G., C. de Mello, R. Trinchín, J. Badagian y M. Barreiro, 2018, The 2017 record marine heatwave in the Southwestern Atlantic shelf: Geophysical Research Letters, v. 45, n.º 22, p. 12449-12456, https://doi.org/10.1029/2018GL081070

Manta, G., S. Speich, M. Barreiro, R. Trinchín, C. de Mello, R. Laxenaire y A. R. Piola, 2022, Shelf water export at the Brazil-Malvinas confluence evidenced from combined in situ and satellite observations: Frontiers in Marine Science, v. 9, https://doi.org/10.3389/fmars.2022.857594

Manta, G., S. Speich, J. Karstensen, R. Hummels, M. Kersalé, R. Laxenaire, A. Piola, M. P. Chidichimo, O. T. Sato, L. Cotrim da Cunha, I. Ansorge, T. Lamont, M.A. van den Berg, U. Schuster, T. Tanhua, R. Kerr, R. Guerrero, E. Campos y C. S. Meinen, 2021, The South Atlantic meridional overturning circulation and mesoscale eddies in the first GO-SHIP section at 34.5°S: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 126, n.º 2, e2020JC016962, https://doi.org/10.1029/2020JC016962

Mañe-Garzón, F. y R. Montero, 1985, Sobre una nueva forma de verme tubícola *Lamellibrachia victori* n. sp. (Vestimentifera) proposición de un nuevo *Phylum*: mesoneurophora: Revista de Biología del Uruguay, v. 8, pp. 1-28.

Marengo, J. A., B. Liebmann, A. M. Grimm, V. Misra, P. L. Silva Dias, I. F. A.

Cavalcanti, L. M. V. Carvalho, E. H. Berbery, T. Ambrizzi, C. S. Vera, A. C. Saulo, J. Nogues-Paegle, E. Zipser, A. Seth y L. M. Alves, 2012, Recent developments on the South American monsoon system: International Journal of Climatology, v. 32, n.º 1, pp. 1-21, https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.2254

Marín, Y. H., 2016, La pesca industrial uruguaya desde la perspectiva de los sistemas social-ecológicos, tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad de la República, 114 pp.

Marín, Y. H., F. L. Brum, L. C. Barea y J. F. Chocca, 2000, Captura incidental y su aprovechamiento en la pesquería de pez espada con palangre pelágico en el Atlántico Sudoccidental, en G. Arena y M. Rey, eds., Captura de grandes peces pelágicos (pez Espada y atunes) en el Atlántico Sudoccidental, y su interacción con otras poblaciones. Proyecto URU/92/003: Montevideo, INAPE, MGAP - PNUD, pp. 53-69.

Marín, Y. H., J. F. Chocca, M. Gómez Erache, L. Burone y L. Brum Bulanti, 2021, Banco Inglés: revisión de antecedentes, situación actual y perspectivas: Montevideo, Cincytema, Facultad de Ciencias, Espacio Interdisciplinario, Universidad de la República, 28 pp.

Marín, Y. H., J. F. Chocca, B. González y G. Beathyate, 2013, Interacciones entre la actividad pesquera y los proyectos de desarrollo en la zona económica exclusiva uruguaya: Frente Marítimo, v. 19, pp. 29-53.

Marín, Y. H., O. Defeo y S. Horta, 2021, So far and so close: Opportunities for marine spatial planning in the Southwest Atlantic Ocean: Ocean & Coastal Management, v. 211, 105737, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105737

Marín, Y. H., S. Horta, J. F. Chocca y O. Defeo, 2020, Historical expansion and diversification of Uruguayan fisheries in the Río de la Plata and the Atlantic Ocean: The concept of "métier" and the identification of high-intensity fishing areas: Ocean & Coastal Management, v. 184, 104919, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104919

Marín, Y. H., G. López, J. F. Chocca y M. Gómez Erache, 2018, Zonas de fondeo, interferencias con actividades pesqueras uruguayas, y elementos para la planificación espacial marina en el Río de la Plata: Revista Transporte y Territorio, v. 19, pp. 221-238.

MarineTraffic, 2023, Marine Traffic, consultado el 1 de julio de 2023, https://www.marinetraffic.com

Marmisolle, J. y E. Morales, 2022, Estratigrafía y tectónica del sector central del margen continental uruguayo durante el rifting atlántico, en Actas del X Congreso Uruguayo de Geología, 7 al 10 de noviembre: Sociedad Uruguaya de Geología (SUG).

Marrero, A., A. Tudurí, L. Pérez, C. Cuña, P. Muniz, R. C. Lopes Figueira, M. Michaelovitch de Mahiques, P. Alves de Lima Ferreira, D. Pittauerová, T.

Hanebuth y F. García-Rodríguez, 2014, Cambios históricos en el aporte terrígeno de la cuenca del Río de la Plata sobre la plataforma interna Uruguaya: Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, v. 21, n.º 2, pp. 165-179.

Marrero, A., 2016, Distribución espacial de metales pesados, evolución histórica reciente e impacto antrópico en el Río de la Plata: Montevideo, Universidad de la República, 162 pp.

Martínez Montero, H., 1940, Marinas mercantes y de pesca del Uruguay. Ensayo histórico: Montevideo, Uruguay, Montevideo: Talleres Gráficos Sur, 206 pp.

Martínez, A., S. Méndez, A. Fabre y L. Ortega, 2017, Intensificación de floraciones de dinoflagelados marinos en Uruguay: INNOTEC, n.º 13, pp. 19-25, https://doi.org/10.26461/13.02

Martínez, A. y L. Ortega, 2015, Delimitation of domains in the external Río de la Plata estuary, involving phytoplanktonic and hydrographic variables: Brazilian Journal of Oceanography, v. 63, n.º 3, pp. 217-227, https://doi.org/10.1590/S1679-87592015086106303

Martínez, C., J. Silva, E. Dufrechou, P. Santoro, M. Fossati, P. Ezzatti e I. Piedra-Cueva, 2015, Towards a 3D Hydrodynamic numerical modeling system for long term simulations of the Río de la Plata dynamic, en E-proceddings of the 36th IAHR World Congress, consultado el 12 de febrero de 2024, https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/32379

Martínez, G., E. Brugnoli, J. Hernández, R. J. Frouin y D. Vizziano, 2005, How valid is the SeaWiFS estimation of chlorophyll-a at the Río de la Plata estuary and its area of influence?, en R. Frouin, H. Kawamura y D. Pan, eds., Proceedings SPIE: Active and passive remote sensing of the oceans: Honolulu, Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE), pp. 54-65, https://doi.org/10.1117/12.582665

Martínez, G., J. P. Lozoya, S. Horta, Y. H. Marín, J. F. Chocca, B. González, G. Beathyate, E. Chiesa, P. Puig y P. Salcedo, 2010, Evaluación de la pesca experimental de besugo (Pagrus pagrus) y pez limón (Seriola lalandi) por medio de líneas verticales y curricas: Frente Marítimo, v. 27, pp. 97-128.

Martino, D., 2005, Unleashing the wild: response to Locke and Dearden's "rethinking protected areas categories": Environmental Conservation, v. 32, pp. 195-196, https://doi.org/10.1017/S0376892905002444

Martins, L. R., C. M. Urien y L. W. Butler, 1972, Províncias fisiográficas e sedimentos da mar-gem continental Atlântica da América do Sul., en Anais do 26o Congresso Brasilero de Geologia, pp. 105-114.

Martins, L. R., E. G. Barboza y F. Caruso Jr., 2003, Southern Brazilian marine mineral occurrences and deposits: GRAVEL, v. 1, pp. 25-39.

Martins, L., C. Urien e I. Martins, 2005, Gênese dos sedimentos da plataforma continental atlântica entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Tierra del Fuego (Argentina): GRAVEL, v. 3, pp. 85-102.

Mas, F., E. Cortés, R. Coelho, O. Defeo, R. Forselledo y A. Domingo, 2023, New insights into the reproductive biology of the blue shark (*Prionace glauca*) in the South Atlantic Ocean: Fisheries Research, v. 262, https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106643

Masello, A., 2010, Distribución espacio-temporal y estructura poblacional del cangrejo rojo *Chaceon notialis* en aguas uruguayas: un análisis de largo plazo: Montevideo, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 82 pp.

Masello, A. y O. Defeo, 2016, The deep-sea red crab *Chaceon notialis* (*Geryonidae*) in the southwestern Atlantic Ocean: Spatial patterns and long-term effects of fishing: Fisheries Research, v. 183, pp. 254-262, https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.016

Masello, A., J. F. Chocca, G. López, B. González, G. Beathyate y Y. H. Marín, 2021, Spatial analysis of the activity of the demersal fishing fleet on the Cold Waters Corals in the Continental Shelf and Slope of the Uruguayan Exclusive Economic, en D. de M. Couto, N. F. Carvalho, F. P. Marques, M. V. Kitahara y P. Y. Gomes Sumida, eds., Caderno de Resumos do II Simpósio Brasileiro de Corais de Águas Profundas: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 19.

Masson-Delmotte V., P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield, eds., 2019, Resumen para responsables de políticas. Calentamiento global de 1,5 °C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza: s. l., IPCC, 110 pp.

Mata Prates, C. A., 2000, La jerarquía de los tratados en nuestro derecho: una relectura, en Anuario de Derecho Administrativo, tomo VIII: Montevideo, Fundación de Cultura Universitaria, pp. 135-143.

Mata Prates, C. A., 2011, Delimitación exterior de la plataforma continental. ¿La última frontera?, en Estudios jurídicos en homenaje al profesor Juan Pablo Cajarville Peluffo: Montevideo, Fundación de Cultura Universitaria, pp. 1165 y 1170.

Mata Prates, C. A., 2013, Uruguay, in United Nations Convention on the Law of the

Sea at thirty reflections: Washington, DC, Naciones Unidas, pp. 132-133.

Mata Prates, C. A., 2014, Extensión de la plataforma continental, ciclo Derecho y Sociedad: Montevideo, Facultad de Derecho, Universidad de la República, 15 de octubre.

Mata Prates, C. A., 2015a, El derecho internacional entre dos siglos. Fragmentos metodológicos y testimonio, en Estudios conmemorativos de los 25 años de la Facultad de Derecho de la Universidad Católica del Uruguay, tomo I: Montevideo, UCUDAL, pp. 31-42.

Mata Prates, C. A., 2015b, Límite exterior de la plataforma continental uruguaya: Tribuna del Abogado, n.º 191, pp. 18-21.

Mata Prates, C. A., 2018, La fase actual del derecho internacional. Aspectos metodológicos y testimonio: Reflexiones sobre el límite exterior de la plataforma continental uruguaya, in América Latina y el derecho del mar: Valencia, Tirand lo Blanch, pp. 161-176.

Mata Prates, C. A., 2023a, El derecho del mar ante los nuevos desafíos globales, en Liber Amicorum en Homenaje a Eduardo Vío Grossi: Valparaíso, Universidad del Valparaíso.

Mata Prates, C. A., 2023b, Revisitando un tema siempre actual. La eficacia formal de los Tratados en el Derecho uruguay, en Estudios jurídicos en homeaje al profesor Augusto Durán Martínez: Montevideo, Fundación de Cultura Universitaria, pp. 213-226.

Matano, R. P., E. D. Palma y A. R. Piola, 2010, The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic shelf circulation: Ocean Science Discussions (OSD), v. 7, https://doi.org/10.5194/os-6-983-2010

Matano, R. P., V. Combes, A. R. Piola, R. A. Guerrero, E. D. Palma, P. Ted Strub, C. James, H. Fenco, Y. Chao y M. Saraceno, 2014, The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Numerical simulations: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 119, n.º 11, pp. 7949-7968, https://doi.org/10.1002/2014JC010116

Mateus, M. y R. Neves, eds., 2013, Ocean modelling for coastal management. Case studies with MOHID: Lisboa, IST Press, 276 pp.

Matano, R. P., M. Schlax y D. Chelton, 1993, Seasonal Variability in the Southwestern Atlantic: Journal of Geophysical Research Atmospheres, v. 98, https://doi.org/10.1029/93JC01602

Mathews, R., J. Sjödin, A. Tengberg y B. Liss Lymer, 2019, Implementing the source-to-sea approach - A guide for practitioners: Estocolmo, SIWI, 63 pp.

Max, M. D., A. H. Johnson y W. P. Dillon, 2006, Economic geology of natural gas hydrate: Dordrecht, Springer, 343 p.

Max, M. D. y A. H. Johnson, 2016, Exploration and production of oceanic natural gas hydrate critical factors for commercialization: Cham, Springer, 432 pp.

McCarroll, R. J., G. Masselink, N. G. Valiente, T. Scott, M. Wiggins, J. A. Kirby y M. Davidson, 2021, A rules-based shoreface translation and sediment budgeting tool for estimating coastal change: ShoreTrans: Marine Geology, v. 435, 106466, https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106466

McCauley, R. D., R. D. Day, K. M. Swadling, Q. P. Fitzgibbon, R. A. Watson y J. M. Semmens, 2017, Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton: Nature Ecology & Evolution, v. 1, n.º 7, p. 195, https://doi.org/10.1038/s41559-017-0195

McConnell, D., C. Devine, I. Stevenson, I. Lipton, K. Rovang, B. Mizell y J. Spurlock, 2018, The Nauru Ocean Resources NORI D Campaign 3 Survey: meeting client needs in a new market- Fugro's first commercial AUV, geotechnical, and resource survey for polymetallic nodules in the CCZ, en Proceedings of the 47th Underwater Mining Conference (UMC2018), Bergen, 10-14 de setiembre, IMMS.

McCormick, M., 2022, Wind power companies bid more than $4bn for ocean waters near New York, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.ft.com/content/eb23b93d-929e-4a67-82f3-352fb9fc5030

McDermott, C., L. Lonergan, J. S. Collier, K. G. McDermott y P. Bellingham, 2018, Characterization of seaward-dipping reflectors along the South American Atlantic margin and implications for continental breakup: Tectonics, v. 37, n.º 9, pp. 3303-3327, https://doi.org/10.1029/2017TC004923

McKelvey, V. E., 1986, Subsea mineral resources: U.S. Geological Survey Bulletin 1689-A, p. A1-A106.

McQuaid, K. A., A. E. H. Bridges, K. L. Howell, T. B. R. Gandra, V. de Souza, J. C. Currie, O. T. Hogg, T. R. R. Pearman, J. B. Bell, L. J. Atkinson, D. Baum, J. Bonetti, A. Carranza, O. Defeo, T. Furey, M. A. Gasalla, N. Golding, S. L. Hampton, S. Horta, D. O. B. Jones, A. T. Lombard, E. Manca, Y Marín, S. Martin, P. Mortensen, C. Passadore, N. Piechaud, K. J. Sink y A. Yool, 2023, Broad-scale benthic habitat classification of the South Atlantic: Progress in Oceanography, v. 214, 103016, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.103016

Mearns, A. J., E. Levine, R. Yender, D. Helton y T. R. Loughlin, 1999, Protecting fur seals during spill response: Lessons from the San Jorge (Uruguay) oil spill, en International Oil Spill Conference Proceedings: International Oil Spill Conference, pp. 467-470, https://doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-467

Meerhoff, M., J. Clemente, F. de Mello, C. Iglesias, A. Pedersen y E. Jeppesen, 2007, Can warm climate-related structure of littoral predator assemblies weaken clear water state in

shallow lakes? Global Change Biology, v. 13, pp. 1888-1897, https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01408.x

Meldahl, P., R. Heggland, B. Bril y P. de Groot, 2001, Identifying fault and gas chimneys using multi-attributes and neural networks: The Leading Edge, v. 20, pp. 474-482, https://doi.org/10.1190/1.1438976

Menafra, R., D. Conde, I. Roche, D. Gorfinkiel, C. Píriz, W. Baliero, E. Biasco, M. Fossati, E. Lorenzo, R. Cortazzo y R. Fournier, 2009, Challenges and opportunities for integrated coastal management in Uruguay: Ocean Yearbook Online, v. 23, n.º 1, pp. 403-432, https://doi.org/10.1163/22116001-90000202

Menafra, R., L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde (eds.), 2006, Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, 668 pp.

Méndez, S., 2006, Impacto de las floraciones algales nocivas en Uruguay: origen, dispersión, monitoreo, control y mitigación, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 57-69.

Mensah, T. A., 2000, Foreword, en D. R. Rothwell y S. Bateman, eds., Navigational rights and freedoms and the new law of the sea: La Haya, Brill Nijhoff, pp. vii-x, https://doi.org/10.1163/9789004482661_002

Menzies, M., S. Klemperer, C. Ebinger y J. Baker, 2002, Characteristics of volcanic rifted margins: Special Paper of the Geological Society of America, v. 362, https://doi.org/10.1130/0-8137-2362-0.1

Merchant, C. J., P. J. Minnett, H. Beggs, G. K. Corlett, C. Gentemann, A. R. Harris y E. Maturi, 2019, Global sea surface temperature, en G. C. Hulley y D. Ghent, eds., Taking the temperature of the earth: Amsterdam, Elsevier, pp. 5-55, https://doi.org/10.1016/C2017-0-01600-2

Merck, T. y R. Wasserthal, 2009, Assessment of the environmental impacts of cables: Hamburgo, OSPAR, 19 pp.

Mero, J. L., 1965, The mineral resources of the sea: Ámsterdam, Elsevier, 312 pp., https://doi.org/10.1017/S0016756800000339

Meyer, L. y A. Alexandroff, 1963, Trabajos de relevamiento general de distintas zonas del Dpto. de Rocha con la finalidad de ubicar yacimientos de arenas negras. Informe interno: Montevideo, ANCAP, 20 pp.

Meyers, P. A., 1997, Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes: Organic Geochemistry, v. 27, n.º 5, pp. 213-250, https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00049-1

Mian, M. A., 2010, Designing efficient fiscal systems, en SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium:

SPE, SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, https://doi.org/10.2118/130127-MS

Mianzan, H. W., C. A. Lasta, E. M. Acha, R. A. Guerrero, G. Macchi y C. Bremec, 2001, The Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay, en U. Seeliger, and B. Kjerfve, eds., Coastal marine ecosystems of Latin America: Berlín, Springer, pp. 185-204, https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_14

Middelburg, J., 2018, Reviews and syntheses: To the bottom of carbon processing at the seafloor: Biogeosciences, v. 15, pp. 413-427, https://doi.org/10.5194/bg-15-413-2018

Milani, E. J., J. A. S. L. Brandão, P. V. Zalán y L. A. P. Gamboa, 2000, Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas: Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n.º 3, pp. 352-396, https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300012

Milani, E. y A. Filho, 2000, Sedimentary basins of South America, en U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho y D. A. Campos, eds., Tectonic evolution of South America: Río de Janeiro, 31st International Geological Congress, pp. 389-449.

Milani, E. J. y P. V. Zalán, 1999, An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America: International Union of Geological Sciences, v. 22, n.º 3, pp. 199-205, https://doi.org/10.18814/epiiugs/1999/v22i3/007

Milessi, A. C. y O. Defeo, 2002, Long-term impact of incidental catches by tuna longlines: the black escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*) of the southwestern Atlantic Ocean: Fisheries Research, v. 58, n.º 2, pp. 203-213, https://doi.org/10.1016/S0165-7836(01)00365-4

Miller, P. y S. Christodoulou, 2014, Frequent locations of oceanic fronts as an indicator of pelagic diversity: Application to marine protected areas and renewables: Marine Policy, v. 45, pp. 318-329, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.009

Miller, D., J. M. Ketzer, A. R. Viana, R. O. Kowsmann, A. F. M. Freire, S. G. Oreiro, A. H. Augustin, R. V. Lourega, L. F. Rodrigues, R. Heemann, A. G. Preissler, C. X. Machado y G. F. Sbrissa, 2015, Natural gas hydrates in the Rio Grande Cone (Brazil): A new province in the western South Atlantic: Marine and Petroleum Geology, v. 67, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.05.012

Miller, K. A., K. F. Thompson, P. Johnston y D. Santillo, 2018, An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts, and knowledge gaps: Frontiers in Marine Science, v. 4, https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00418

Mining.com, 2023, Ranked: World's biggest nickel projects, consultado el 15 de enero de 2024, https://mining.com/featured-article/ranked-worlds-biggest-nickel-projects/

Ministerio de Ambiente (MA), 2022a, Peña presenta hoja de ruta "Uruguay Azul 2030" y anuncia compromiso de alcanzar un 10% de área marina protegida en 2022, consultado el 17 de julio de 2024, https:// gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/noticias/pena-presenta-hoja-ruta-uruguay-azul-2030-anuncia-compromiso-alcanzar-10-area

Ministerio de Ambiente (MA), 2022b, Resolución ministerial n.º 1152/2022. Aprobación de Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Espacio Marino de la República: Montevideo, MA, 6 pp.

Ministerio de Ambiente (MA), 2023, ¿Qué es el SNAP?: Montevideo, Ministerio de Ambiente, consultado el 20 de diciembre de 2023, https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/es-snap

Ministerio de Ambiente (MA), 2024, Informe de respuesta a la solicitud de acceso a información pública. Expediente n.º 2024/36001/001921: Montevideo, MA, 2 pp.

Ministerio de Defensa Nacional (MDN), 2023, Informe de respuesta a la solicitud de acceso a información pública. Expediente MDN n.º 2023-3-1-0000327: Montevideo, MDN, 6 pp.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2005, Política energética 2005-2030: Montevideo, MIEM, 14 pp.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2022, H2U: Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay: Montevideo, MIEM, 52 pp.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2023, Balance energético nacional Uruguay 2022. Principales resultados: Montevideo, MIEM, 39 pp.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2024, Series estadísticas de gas natural, Montevideo, MIEM, consultado el 10 de setiembre de 2024, https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/datos-y-estadisticas/datos/series-estadisticas-gas-natural

Ministerio de Turismo (MINTUR), 2011, Plan Nacional de Turismo Náutico de Uruguay : Estrategia de desarrollo y oportunidades de inversión: Montevideo, MINTUR, 93 pp.

Ministerio de Turismo (MINTUR), 2018, Anuario 2018: Montevideo, MINTUR, 32 pp.

Ministerio de Turismo (MINTUR), 2020, Temporada de cruceros 2019-2020: Montevideo, MINTUR, 15 pp.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), 2016, Identificación de ambientes ecológicamente relevantes en la zona económica exclusiva uruguaya. Grupo ad hoc ALTAMAR 2016: De Mello C., Horta, S.; Rubio, L., Hutton, M., Cervetto, G. Informe técnico: Montevideo, DINAMA, MVOTMA, 72 pp.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), 2017, Guía de evaluación de impacto ambiental de prospección sísmica submarina: Montevideo, MVOTMA, 39 pp.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), 2019, Plan Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible: Montevideo, MVOTMA, 89 pp.

Moldanová, J., I. M. Hassellöv, V. Matthias, E. Fridell, J. P. Jalkanen, E. Ytreberg, M. Quante, J. Tröltzsch, I. Maljutenko, U. Raudsepp y K. M. Eriksson, 2022, Framework for the environmental impact assessment of operational shipping: Ambio, v. 51, n.º 3, pp. 754-769, https://doi.org/10.1007/s13280-021-01597-9

Morales, E., H. K. Chang, M. Soto, F. Santos Corrêa, G. Veroslavsky, H. de Santa Ana, B. Conti y G. Daners, 2017a, Tectonic and stratigraphic evolution of the Punta del Este and Pelotas basins (offshore Uruguay): Petroleum Geoscience, v. 23, n.º 4, pp. 415-426, https://doi.org/10.1144/petgeo2016-059

Morales, E., H. K. Chang, M. Soto, G. Veroslavsky, B. Conti, H. de Santa Ana y F. Santos Corrêa, 2017b, Speculative petroleum systems of the Punta del Este Basin (offshore Uruguay): Brazilian Journal of Geology, v. 47, n.º 4, pp. 645-656, https://doi.org/10.1590/2317-4889201720170078

Morales, E., B. Conti, M. Soto y B. Viera, 2020, Risks inherent in the Cenozoic stratigraphic plays in basins of the Uruguayan continental margin: Marine and Petroleum Geology, v. 112, 104072, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104072

Morales, E., F. Santos Corrêa, H. K. Chang, H. de Santa Ana y G. Veroslavsky, 2011, Análisis sismoestratigráfico del Cretácico postrift de la Cuenca Punta del Este (offshore del Uruguay): Implicancias en la exploración de hidrocarburos, en XVIII Congreso Geológico Argentino.

Morf, A., J. Moodie, E. Cedergren, S. Q. Eliasen, K. Gee, M. Kull, S. Mahadeo, S. Husa y M. Vološina, 2022, Challenges and enablers to integrate land-sea-interactions in cross-border marine and coastal planning: Experiences from the Pan Baltic scope collaboration: Planning Practice & Research, v. 37, n.º 3, pp. 333-354, https://doi.org/10.1080/02697459.2022.2074112

Moridis, G. J., T. S. Collett, R. Boswell, M. Kurihara, M. T. Reagan, C. Koh y E. D. Sloan, 2009, Toward production from gas hydrates: Current status, assessment of resources, and simulation-based evaluation of technology and potential: SPE Reservoir Evaluation & Engineering, v. 12, n.º 5, pp. 745-771, https://doi.org/10.2118/114163-PA

Moridis, G. J., J. Kim, M. T. Reagan y S.-J. Kim, 2013, Feasibility of gas production from a gas hydrate accumulation at the UBGH2-6 site of the Ulleung

basin in the Korean East Sea: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 108, pp. 180-210, https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.03.002

Moridis, G. J., M. B. Kowalsky y K. Pruess, 2005a, Depressurization-induced gas production from class-1 hydrate deposits: Dallas, Texas, Society of Petroleum Engineers, https://doi.org/10.2118/97266-MS

Moridis, G. J., M. B. Kowalsky y K. Pruess, 2005b, HydrateResSim user's manual: A numerical simulator for modelling the behavior of hydrates in geologic media: Berkeley, CA, Earth Sicences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory.

Mosquera Núñez, R., 2021, Cohesive sediment dynamics in the Río de la Plata, tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 203 pp.

Moulin, M., A. Daniel y U. Patrick, 2010, A new starting point for the South and Equatorial Atlantic ocean: Earth Science Reviews, v. 98, n.º 1-2, pp. 1-37, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.08.001

Mourmouris, A., 2017, Land-Sea Interactions: Major factor for ICZM and MSP, en Conference on Marine Spatial Planning: National Technical University of Athens.

Muniz, P., M. Rodríguez y N. Kandratavicius, 2017, Los poliquetos de Uruguay: Síntesis y actualización del conocimiento: Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, v. 56, n.º S1, pp. 115-126.

Muniz, P., N. Góngora, M. Sánchez, V. Lago, D. Antuña, P. Correa, E. Chiesa y E. Brugnoli, 2021, Rapana venosa (*Muricidae*, *Rapaninae*): un invasor "exitoso" en el estuario del Río de la Plata, en A. Brazeiro, D. Bresciano, E. Brugnoli y M. Iturburu, eds., Especies exótcas invasoras de Uruguay: distribución, impactos socioambientales y estrategias de gestión: Montevideo, RETEMA, Udelar - CEEI, Ministerio de Ambiente, pp. 149-161.

Muniz, P., P. Lana, N. Venturini, R. Elias, E. Vallarino, C. Bremec, C. Martins y L. Sandrini-Neto, 2013, Un manual de protocolos para evaluar la contaminación marina por efluentes domésticos.: Montevideo, Universidad de la República, 129 pp.

Muniz, P., N. Venturini, E. Brugnoli, J. M. Gutiérrez y A. Acuña, 2019, Río de la Plata: Uruguay, en C. Sheppard, ed., World Seas: An environmental evaluation. Volume I: Europe, the Americas and West Africa: Londres, Academic Press, pp. 703-724, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00036-X

Muñoz Recio, A., A. Fontan Santos, Y. H. Marín, A. Carranza, P. Franco-Fraguas y L. E. Rubio Albertoni, 2010, Informe de Campaña Uruguay - 0110: Buque de Investigación Oceanográfica y Pesquera Miguel Oliver (SGM): Montevideo, DINARA, 78 pp.

Mutter, J. C., M. Talwani y P. L. Stoffa, 1982, Origin of seaward-dipping reflectors in oceanic crust off the Norwegian margin by "subaerial sea-floor spreading": Geology, v. 10, n.º 7, pp. 353-357, https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10353:OOSRIO2.0.CO;2

Myshakin, E. M., J.-S. Lin, S. Uchida, Y. Seol, T. S. Collett y R. Boswell, 2017, Numerical studies of depressurization-induced gas production from an interbedded marine turbidite gas hydrate reservoir model, en Proceedings of the 9th International Conference on Gas Hydrates.

Naciones Unidas, 1982, Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR): Montego Bay, Naciones Unidas, 223 pp.

Naciones Unidas, 1992, Convenio sobre la Diversidad Biológica: Nueva York, Naciones Unidas, 1. p.

Naciones Unidas, 2018, The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean (LC/G.2681-P/Rev.3): Santiago de Chile, Naciones Unidas, 92 pp.

Naciones Unidas, 2023a, Chronological lists of ratifications of, accessions and successions to the Convention and the related Agreements, consultado el 5 de diciembre de 2023, https:// un.org/depts/los/reference_files/chronological_lists_of_ratifications.htm

Naciones Unidas, 2023b, El Convenio sobre la Diversidad Biológica, consultado el 1 de julio de 2023, http://cbd.int/convention/

Naciones Unidas, 2023c, For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition

Naciones Unidas, Comisión Europea, Fondo Monetario Internacional, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Banco Mundial, 2005, Handbook of national accounting: Integrated environmental and economic accounting 2003, Studies in Methods, series F, n.º 61, rev.1: Nueva York, Naciones Unidas, 598 pp.

Nagy, G. J., M. Gómez Erache, C. H. López y A. C. Perdomo, 2002, Distribution patterns of nutrients and symptoms of eutrophication in the Rio de la Plata River Estuary System: Hydrobiologia, v. 475-476, pp. 125-139, https://doi.org/10.1023/A:1020300906000

Nagy, G. J., C. Martínez, R. Caffera, G. Pedrosa, E. A. Forbes, A. Perdomo y J. López Laborde, 1997, The hydrological and climatic setting of the Río de la Plata, en P. G. Wells y G. R. Daborn, eds., The Río de la Plata: an environmental overview. An EcoPlata project background report: Halifax, Dalhousie University, pp. 17-68.

Nagy, G. J., J. E. Verocai, L. Capurro, M. Gómez-Erache, O. Gutiérrez, D. Panario, E. Brugnoli, A. Brum, M.

Bidegain e I. C. Olivares, 2023, Climate risks and reasons for concern along the Uruguayan coast of the Rio de la Plata estuary, en P. A. J. Manning, ed., Estuary research – Recent advances: Rijeka, IntechOpen, https://doi.org/10.5772/intechopen.110504

National Academies Press, 2022, Oil in the sea IV: Inputs, fates y effects: Washington, DC, National Academies Press, 517 pp., https://doi.org/10.17226/26410

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2022, Fishing gear and risks to protected species, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://fisheries.noaa.gov/national/bycatch/fishing-gear-and-risks-protected-species

National Research Council, 2001, Marine protected areas: Tools for sustaining ocean ecosystems: Washington DC, National Academies Press, 272 pp., https://doi.org/10.17226/9994

National Research Council, 2010, Realizing the energy potential of methane hydrate for the United States: Washington, DC, National Academies Press, https://doi.org/10.17226/12831

Neben, S., B. Schreckenberger, J. Adam, T. Behrens, C. Bönnemann, Ü. Demir, D. Franke, I. Heyde, G. Kallaus, D. Ladage, C. Müller, U. Schrader, J. Sievers, E. Surburg y T. Temmler, 2005, Research cuise BGR04, ARGURU: Geophysical investigations offshore Argentine and Uruguay with akademik Alexandr Karpinsky (Buenos Aires-Buenos Aires, 19/11/2004-19/12/2004). Cruise report and preliminary results: Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 99 pp.

Negri, R. M., J. Carreto y H. Benavides, 1986, Algunas características del florecimiento del fitoplancton en el frente del Río de la Plata. I. Los sistemas nutritivos: Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, v. 5, pp. 7-29.

Nelsen, B., 2007, Explaining petroleum policy in Britain and Norway, 1962-90: Scandinavian Political Studies, v. 15, pp. 307-328, https://doi.org/10.1111/j.1467-9477.1992.tb00024.x

Neptune Energy, 2023, The world's first offshore green hydrogen plant, consultado el 25 de julio de 20232, https://neptuneenergy.com/esg/poshydon-hydrogen-pilot

NETL, 2017, Hydrate Modeling - TOUGH+/HYDRATE & HIDRATERESSIM.

Nicolodi, J. L., 2021, Planejamento territorial na zona costeira e marinha do Brasil: ações, contradições e desafios, en E. Linmonad, J. C. Monteiro y P. Mansilla, eds., Planejamento territorial, reflexões críticas e práticas alternativas (volume 2): San Pablo, Editora Max Limonad, pp. 210-244.

Nielsen, A., A. Baun, S. Andersen y L. Skjolding, 2022, Critical review of the OSPAR risk based approach for offshore produced water discharges: Integrated Environmental Assessment

and Management, v. 19, https://doi.org/10.1002/ieam.4715

Nin, M., 2013, Mapeo de servicios ecosistémicos en la cuenca de la Laguna de Rocha como un insumo para la planificación territorial: Montevideo, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 108 pp.

Noguera, A. L., 2018, Irradiación y contaminacion radiactiva natural en el ecosistema costero del Departamento de Rocha, Uruguay, y su incidencia en aspectos sociales, laborales y productivos, tesis de doctorado, Facultad de Química, Universidad de la República, 175 pp.

Norbis, W. y O. Galli, 2013, Spatial co-occurrence of two Sciaenid species (*Micropogonias fuernieri* and *Cynocion guatucupa*) subject to fishing in the Río de la Plata and oceanic coast of Uruguay: ecological or technological interdependence? Boletim do Instituto de Pesca, v. 39, n.º 2, pp. 137 -148.

Norbis, W., L. Paesch y O. Galli, 2006, Los recursos pesqueros de la costa de Uruguay: ambiente, biología y gestión, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 197-209.

Norwegian Offshore Directorate, 2024, Parts of the Norwegian shelf can be opened for mineral activity, consultado el 12 de enero de 2024, http://sodir.no/en/whats-new/news/general-news/2024/norwegian-shelf-opened-for-mineral-activity

Novo, R., J. A. de Jesus Perinotto, M. G. Castillo y B. Conti, 2023, Heat flow modelling of the Punta del Este Basin (offshore Uruguay) and its correlation with structural crustal domains: Tectonophysics, v. 854, 229812, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229812

Observatory of Economic Complexity (OEC), 2023, Uruguay, consultado el 25 de julio de 2023, https://oec.world/en/profile/country/ury

Ocampo, V., 1999[1929], Quiromancia de la Pampa, en Testimonios. Serie Primera a Quinta: Buenos Aires, Sudamericana, pp. 29-36.

Odebrecht, C. y J. P. Castello, 2001, The convergence ecosystem in the Southwest Atlantic, en U. Seeliger y B. Kjerfve, eds., Coastal marine ecosystems of Latin America: Berlín, Springer, pp. 147-165, https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_12

Offshore Technology, 2024. Oil & gas field profile: Kudu Conventional Gas Field, Namibia, GlobalData: Oil & Gas Intelligence Center, consultado el 22 de setiembre de 2024, https://www.offshore-technology.com/marketdata/oil-gas-field-profile-kudu-conventional-gas-field-namibia/

Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA), 2020, Anuario estadístico agropecuario 2020: Montevideo, MGAP, 270 pp.

Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP), 2023, Portal de Transparencia Presupuestaria, consultado el 25 de julio de 2023, https://transparencia-presupuestaria.opp.gub.uy/inicio/presupuesto-nacional

OilNOW, 2020, Guyana's revenue take pegged at 60% as production set to hit 1.2 million bpd - Rystad Energy, consultado el 25 de julio de 2023, https://oilnow.gy/news/guyanas-revenue-take-pegged-at-60-as-production-set-to-hit-1-2-million-bpd-rystad-energy/

Oliveira, D. D., E. G. Rojas y M. A. S. Fernandez, 2020, Should TBT continue to be considered an issue in dredging port areas? A brief review of the global evidence: Ocean & Coastal Management, v. 197, 105303, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105303

Olsgard, F., M. T. Schaanning, S. Widdicombe, M. A. Kendall y M. C. Austen, 2008, Effects of bottom trawling on ecosystem functioning: Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 366, n.º 1, pp. 123-133, https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.036

Olson, D. B., G. P. Podestá, R. H. Evans y O. B. Brown, 1988, Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents: Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 35, n.º 12, pp. 1971-1990, https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90120-3

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 1995, Code of conduct for responsible fisheries: Roma, FAO, 49 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2003, The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries, n.º 4, supl. 2: Roma, FAO, 112 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2010, La ordenación pesquera 2. El enfoque ecosistémico de la pesca. 2.2 Dimensiones humanas del enfoque ecosistémico de la pesca. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable, n.º 4, supl. 2, add. 2.: Roma, FAO, 94 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2011, International guidelines on bycacth management and reduction of discards: Roma, FAO, 73 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2015, Enfoque ecosistémico pesquero: Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura n.º 592: Roma, FAO, 82 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2019, FAO Yearbook. Fishery and aquaculture statistics 2019: Roma,

FAO, 110 pp., https://doi.org/10.4060/cb7874t

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022, The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation: Roma, FAO, https://doi.org/10.4060/cc0461en

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2002, Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, en Actas de la Conferencia General, 31.ª reunión, París, 15 de octubre-3 de noviembre, v. 1, Resoluciones, p. 178.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) y Comisión Europea, 2021, MSP global international guide on marine/maritime spatial planning: UNESCO, COI y Commisión Europea, 148 pp.

Organización Marítima Internacional (OMI), 2002, El Código PBIP y el capítulo XI -2 del Convenio SOLAS, consultado el 31 de enero de 2024, https://www.imo.org/es/OurWork/Security/Paginas/SOLAS-XI-2 ISPS Code.aspx

Organización Marítima Internacional (OMI), 2009, Resolution MEPC.186(59): Amendments to the Annex of the Protocol of 1978 relating to the International Convention for the Prevention of Pollution to Ships, MEPC.186(59): Londres, OMI, 6pp.

Organización Marítima Internacional (OMI), 2014, Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts on Marine Life (MEPC.1/Circ.833): Londres, OMI, 8 pp.

Organización Marítima Internacional (OMI), s. f., Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), 11 de julio de 2024, https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx

Organización Marítima Internacional (OMI), s. f., Gestión del agua de lastre, consultado el 13 de mayo de 2024, https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/BallastWaterManagement.aspx

Organización Marítima Internacional (OMI), s. f., International Convention on Civil Liability for Bunker Oil Pollution Damage (BUNKER), consultado el 20 de abril de 2024, https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Civil-Liability-for-Bunker-Oil-Pollution-Damage-(BUNKER).aspx

Organización Marítima Internacional (OMI), s. f., International Convention on Liability and Compensation for Damage in Connection with the Carriage of Hazardous and Noxious Substances by Sea (HNS), consultado el 20 de marzo de 2024, https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-

on-Liability-and-Compensation-for-Damage-in-Connection-with-the-Carriage-of-Hazardous-and-Noxious-.aspx

Organización Marítima Internacional (OMI), s. f., Organización Marítima Internacional, consultado el 1 de julio de 2023, https://imo.org/es

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), 2016, The ocean economy in 2030: París, OCDE, 252 pp., https://doi.org/10.1787/9789264251724-en

Orsi, A. H., G. C. Johnson y J. L. Bullister, 1999, Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water: Progress in Oceanography, v. 43, n.º 1, pp. 55-109, https://doi.org/10.1016/S0079-6611(99)00004-X

Ortega, L. y A. Martínez, 2007, Multiannual and seasonal variability of water masses and fronts over the Uruguayan shelf: Journal of Coastal Research, v. 23, n.º 3, pp. 618-629.

Otero, H. y G. Verazay, 1988, El estado actual del recurso merluza común (Merluccius hubbsi) y pautas para su manejo pesquero: Frente Marítimo, v. 4, pp. 7-24.

Our World in Data, 2023, Energy mix, consultado el 25 de julio de 2023, https://ourworldindata.org/energy-mix

Palumbi, S. R., P. A. Sandifer, J. D. Allan, M. W. Beck, D. G. Fautin, M. J. Fogarty, B. S. Halpern, L. S. Incze, J. A. Leong, E. Norse, J. J. Stachowicz y D. H. Wall, 2009, Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services: Frontiers in Ecology and the Environment, v. 7, n.º 4, pp. 204-211, https://doi.org/10.1890/070135

Pángaro, F. y V. Ramos, 2012, Paleozoic crustal blocks of onshore and offshore central Argentina: New pieces of the southwestern Gondwana collage and their role in the accretion of Patagonia and the evolution of Mesozoic south Atlantic sedimentary basins: Marine and Petroleum Geology, v. 37, pp. 162-183, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.010

Pángaro, F., V. A. Ramos y P. J. Pazos, 2016, The Hesperides basin: a continental-scale upper Palaeozoic to Triassic basin in southern Gondwana: Basin Research, v. 28, n.º 5, pp. 685-711, https://doi.org/10.1111/bre.12126

Passadore, C., A. Domingo y E. R. Secchi, 2015, Analysis of marine mammal bycatch in the Uruguayan pelagic longline fishery operating in the Southwestern Atlantic ocean: ICES Journal of Marine Science, v. 72, n.º 5, pp. 1637-1652, https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu250

Passadore, C., M. Szephegyi y A. Domingo, 2008, Presencia de mamíferos marinos y captura incidental en la flota uruguaya de palangre pelágico (1998-2007): Collective Volume of Scientific Papers ICCAT, v. 62, n.º 6, pp. 1851-1857.

Patil, P. G., J. Virdin, C. S. Colgan, M. G. Hussain, P. Failler y T. Vegh, 2018,

Toward a blue economy: A pathway for sustainable growth in Bangladesh: Washington, DC, Banco Mundial, 94 pp.

Paton, D., R. di Primio, G. Kuhlmann, D. van der Spuy y B. Horsfield, 2007, Insights into the Petroleum System Evolution of the southern Orange Basin, South Africa: South African Journal of Geology, v. 110, n.º 2-3, pp. 261-274, https://doi.org/10.2113/gssajg.110.2-3.261

Pazos, R. S., D. E. Bauer y N. Gómez, 2018, Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America): Environmental Pollution, v. 243, pp. 134-142, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.064

Peace, A. L. y K. J. Welford, 2020. Conjugate margins - An oversimplification of the complex southern North Atlantic rift and spreading system? Interpretation, v. 8, n.º 2, SH33-SH49. https://doi.org/https://doi.org/10.1190/INT-2019-0087.1

Pedocchi, F., D. Bellón e I. Piedra-Cueva, 2010, Determinación de concentraciones de sedimentos en suspensión a partir de perfiladores de corriente acústicos como herramienta para el análisis de su comportamiento en la costa de Montevideo, Uruguay, en XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR, Punta del Este, Uruguay.

Pedocchi, F., M. Fossati, R. Mosquera, D. Bellón e I. Piedra-Cueva, 2012, Waves, currents, and suspended sediment measurements in the Río de la Plata estuary in front of Montevideo, Uruguay, en Hydraulic Measurements and Experimental Methods 2012, Snowbird, Utah, 12-15 de agosto.

Peltier, H., A. Beaufils, C. Cesarini, W. Dabin, C. Dars, F. Demaret, F. Dhermain, G. Doremus, H. Labach, O. van Canneyt y J. Spitz, 2019, Monitoring of marine mammal strandings along French coasts reveals the importance of ship strikes on large cetaceans: A challenge for the European Marine Strategy Framework Directive: Frontiers in Marine Science, v. 6, https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00486

Pérez, L., C. Crisci, S. Lüning, M. M. de Mahiques y F. García-Rodríguez, 2021, Last millennium intensification of decadal and interannual river discharge cycles into the Southwestern Atlantic Ocean increases shelf productivity: Global and Planetary Change, v. 196, 103367, https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103367

Pérez, L., M. Barreiro, I. Etchevers, C. Crisci y F. García-Rodríguez, 2021, Centennial hydroclimatic and anthropogenic processes of South East South America modulate interannual and decadal river discharge: Science of The Total Environment, v. 781, 146733, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146733

Pérez-Díaz, L. y G. Eagles, 2014, Constraining South Atlantic growth with seafloor spreading data: Tectonics, v. 33, n.º 9, pp. 1848-1873, https://doi.org/10.1002/2014TC003644

Pérez-Díaz, L. y G. Eagles, 2017, South Atlantic paleobathymetry since early Cretaceous: Scientific Reports, v. 1, https://doi.org/10.1038/s41598-017-11959-7

Petersohn, E., M. Abelha y L. Pedrosa, 2013, Brasil pre-salt. Libra. Geological assessment, environmental guidelines: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), consultado el 8 de agosto de 2023, https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/partilha-de-producao/1a-rodada-partilha-producao-pre-sal/arquivos/seminarios/partilha1_tecnico_ambiental_ingles.pdf

Peterson, R. G. y L. Stramma, 1991, Upper-level circulation in the South Atlantic ocean: Progress in Oceanography, v. 26, n.º 1, pp. 1-73, https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90006-8

Pınarbaşı, K., I. Galparsoro, Á. Borja, V. Stelzenmüller, C. N. Ehler y A. Gimpel, 2017, Decision support tools in marine spatial planning: Present applications, gaps and future perspectives: Marine Policy, v. 83, pp. 83-91, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.031

Piola, A. R., E. J. D. Campos, O. O. Möller Jr., M. Charo y C. Martínez, 2000, Subtropical Shelf Front off eastern South America: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 105, no. C3, p. 6565-6578, https://doi.org/10.1029/1999JC000300.

Piola, A. R., B. C. Franco, E. D. Palma y M. Saraceno, 2013, Multiple jets in the Malvinas Current: Journal of Geophysical Research, v. 118, https://doi.org/10.1002/jgrc.20170

Piola, A. y R. P. Matano, 2001, The South Atlantic western boundary Currents Brazil/Falkland (Malvinas) currents, en J. H. Steele, S. A. Thorpe y K. K. Turekian, eds., Encyclopedia of ocean sciences: Oxford, Academic Press, pp. 340-349, https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0358

pp. 340-343.

Piola, A. R., R. P. Matano, E. D. Palma, O. O. Möller Jr. y E. Campos, 2005, The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf: Geophysical Research Letters, v. 32, n.º 1, https://doi.org/10.1029/2004GL021638

Piola, A. R., O. O. Möller Jr., R. A. Guerrero y E. Campos, 2008, Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004: Continental Shelf Research, v. 28, n.º 13, pp. 1639-1648, https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.03.013

Piola, A. R., E. D. Palma, A. Bianchi, B. Castro, M. Dottori, R. A. Guerrero, M. Marrari, R. P. Matano, O. O. Möller Jr. y M. Saraceno, 2018, Physical

Oceanography of the SW Atlantic Shelf: A Review, en M. S. Hoffmeyer, M. E. Sabatini, F. P. Brandini, D. Calliari y N. H. Santinelli, eds., Plankton ecology of the Southwestern Atlantic: From the subtropical to the subantarctic realm: Cham, Springer pp. 37-56, https://doi.org/10.1007/978-3-319-77869-3_2

Pirotta, V., A. Grech, I. D. Jonsen, W. F. Laurance y R. G. Harcourt, 2019, Consequences of global shipping traffic for marine giants: Frontiers in Ecology and the Environment, v. 17, n.º 1, pp. 39-47, https://doi.org/10.1002/fee.1987

Pita Magnou, A. L., 2017, Biogeoquímica de la materia orgánica y grupos metabólicos microbianos en sedimentos superficiales del margen continental uruguayo (36° 54́ -34° 64́ S, 53° 71́ -51° 66́ W), tesis de Maestría en Geociencias, Universidad de la República, 134 pp.

Pittman, J. y D. Armitage, 2016, Governance across the land-sea interface: A systematic review: Environmental Science & Policy, v. 64, pp. 9-17, https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.022

Planke, S., P. A. Symonds, E. Alvestad y J. Skogseid, 2000, Seismic volcanostratigraphy of large-volume basaltic extrusive complexes on rifted margins: Journal of Geophysical Research: Solid Earth, v. 105, n.º B8, pp. 19335-19351, https://doi.org/10.1029/1999JB900005

Plasman, I. C., 2008, Implementing marine spatial planning: A policy perspective: Marine Policy, v. 32, n.º 5, pp. 811-815, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.016

Poder Ejecutivo, 1974a, Decreto Ley n.º 14.145. Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Diario Oficial, 7 de febrero, pp. 262A-267A.

Poder Ejecutivo, 1974b, Decreto Ley n.º 14.181. Ley de Minería. Ley de Hidrocarburos: Diario Oficial, 16 de abril, pp. 102A-103A.

Poder Ejecutivo, 1978, Decreto Ley n.º 14.859. Aprobación del Código de Aguas: Diario Oficial, 11 de enero, pp. 115A-129A.

Poder Ejecutivo, 1979, Decreto Ley n.º 14.885. Aprobación de Acuerdo Internacional. Protección del Medio Ambiente: Diario Oficial, 16 de mayo, pp. 329A-380A.

Poder Ejecutivo, 1980, Decreto n.º 436/980. Aprobación del Reglamento para Prevenir la Contaminación del Mar por Hidrocarburos y Otras Sustancias debido a Operaciones con Buques, 436/980: Diario Oficial, 4 de setiembre, pp. 577A-584A.

Poder Ejecutivo, 1982, Decreto Ley n.º 15.242. Aprobación del Código de Minería: Diario Oficial, 16 de febrero, pp. 677A-689A.

Poder Ejecutivo, 1991, Decreto n.º 100/991. Aprobación del Reglamento de Uso de Espacios Acuáticos, Costeros y Portuarios: Diario Oficial, 22 de agosto, pp. 290A-295A.

Poder Ejecutivo, 1992a, Decreto n.º 256/992. Armada Nacional: Diario Oficial, 4 de agosto, pp. 283A-285A.

Poder Ejecutivo, 1992b, Decreto n.º 412/992. Reglamento de la Ley de Puertos n.º 16.246. Servicios Portuarios: Diario Oficial, 17 de setiembre, pp. 360A-375A.

Poder Ejecutivo, 2005a, Decreto n.º 052/005. Recursos Naturales. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Diario Oficial, 25 de febrero, pp. 508A-511A.

Poder Ejecutivo, 2005b, Decreto n.º 349/005. Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales: Diario Oficial, 3 de octubre, pp. 4A-9A.

Poder Ejecutivo, 2006a, Decreto n.º 389/006. Reglamento de Acciones a adoptar ante la Detección de Buques o Embarcaciones extranjeras en Infracción: Diario Oficial, 31 de octubre, p. 223A.

Poder Ejecutivo, 2006b, Resolución n.º 751/006. Delegación de Atribuciones. Prefecto Nacional Naval: Diario Oficial, 13 de noviembre, pp. 342A-343A.

Poder Ejecutivo, 2011, Decreto n.º 311/2011. Modificación del Reglamento de Espacios Acuáticos, Costeros y Portuarios: Diario Oficial, 13 de setiembre, pp. 4-6.

Poder Ejecutivo, 2016, Decreto n.º 72/016. Modificación del Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales: Diario Oficial, 17 de marzo, p. 24.

Poder Ejecutivo, 2018, Decreto n.º 115/018. Reglamentación de la Ley n.º 19.175 relativo a la Declaración de Interés General. Conservación, Investigación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos Hidrobiológicos y Ecosistemas: Diario Oficial, 4 de mayo, pp. 4-16.

Poder Ejecutivo, 2019, Decreto n.º 111/019. Derogación del Decreto 454/006 por el cual se aprobó el Regimen para la Presentación de Ofertas para la Adjudicación de Contratos para las Etapas de Prospección así como de la de Exploración-Explotación de Hidrocarburos en la República Oriental del Uruguay: Diario Oficial, 29 de mayo, pp. 19-116.

Poder Ejecutivo, 2020a, Resolución n.º 745/020. Otorgamiento a ANTEL el consentimiento para extender el Sistema de Cable Submarino de fibra óptica "Tannat": Diario Oficial, 28 de julio, pp. 39-42.

Poder Ejecutivo, 2020b, Resolución SN del 15/09/2020. Se aprueba el proyecto para la instalación del sistema de cable submarino de fibra óptica Malbec, en las condiciones y términos propuestos en el anexo: Montevideo, Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 14 pp.

Poder Ejecutivo, 2022, Resolución SN del 23/12/2022. Se aprueba el proyecto para la instalación del sistema de cable submarino de fibra óptica Firmina:

Montevideo, Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 15 pp.

Poder Legislativo, 1935, Ley n.º 9.515. Ley Orgánica Municipal: Diario Oficial, 1 de noviembre, pp. 157A-165A.

Poder Legislativo, 1946, Ley n.º 10.808. Ley Orgánica de la Marina: Diario Oficial, 8 de noviembre, pp. 273A-286A.

Poder Legislativo, 1954, Ley n.º 12.091. Ley sobre Navegación y Comercio de Cabotaje Nacional: Diario Oficial, 26 de enero, pp. 126A-127A.

Poder Legislativo, 1973, Ley n.º 14.106. Presupuesto Nacional de Sueldos, Gastos e Inversiones. Ejercicio 1973-1976: Diario Oficial, 20 de marzo pp. 641A-738A.

Poder Legislativo, 1992a, Ley n.º 16.246. Ley de Puertos: Diario Oficial, 23 de abril, pp. 191A-194A.

Poder Legislativo, 1992b, Ley n.º 16.287. Aprobación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar: Diario Oficial, 26 de octubre, pp. 840A-1022A.

Poder Legislativo, 1993, Ley n.º 16.408. Aprobación de Acuerdo Internacional - Medio Ambiente: Diario Oficial, 8 de setiembre, p. 304A.

Poder Legislativo, 1994a, Ley n.º 16.466. Ley de Evaluación del Impacto Ambiental: Diario Oficial, 26 de enero, pp. 330A-331A.

Poder Legislativo, 1994b, Ley n.º 16.521. Apruébase la adhesión de la República Oriental del Uruguay al Convenio Internacional de Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos: Diario Oficial, 8 de agosto, pp. 540A-549A.

Poder Legislativo, 1994c, Ley n.º 16.688. Medio Ambiente - Ecología: Diario Oficial, 3 de enero, pp. 4A-6A.

Poder Legislativo, 1998, Ley n.º 17.033. Bienes del Estado - Recursos Naturales: Diario Oficial, 4 de diciembre, pp. 1100A-1102A.

Poder Legislativo, 1999, Ley n.º 17.118. Aprobación de Acuerdo Internacional - Pesca: Diario Oficial, 5 de julio, pp. 21A-25A.

Poder Legislativo, 2000a, Ley n.º 17.234. Declaración de Interés General. Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas: Diario Oficial, 9 de marzo, pp. 871A-873A.

Poder Legislativo, 2000b, Ley n.º 17.283. Ley de Protección del Medio Ambiente: Diario Oficial, 12 de diciembre, pp. 453A-456A.

Poder Legislativo, 2002, Ley n.º 17.590. Apruébase el Protocolo sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra los Sucesos de Contaminación por Sustancias Nocivas y Potencialmente Peligrosas: Diario Oficial, 10 de diciembre, pp. 634A-638A.

Poder Legislativo, 2008a, Ley n.º 18.308. Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible: Diario Oficial, 30 de junio, pp. 642A-654A.

Poder Legislativo, 2008b, Ley n.º 18.327. Acuerdos Internacionales. Conservación de Albatros y Petreles: Diario Oficial, 12 de agosto, pp. 369A-380A.

Poder Legislativo, 2009a, Ley n.º 18.498. Ley de Pesca. Modificación. Integración de Tripulación en Buques de Matrícula Nacional: Diario Oficial, 30 de junio, p. 737A.

Poder Legislativo, 2009b, Ley n.º 18.597. Ley de Uso Eficiente de la Energía: Diario Oficial, 16 de octubre, pp. 181A-185A.

Poder Legislativo, 2009c, Ley n.º 18.610. Ley de Política Nacional de Aguas. Principios Rectores: Diario Oficial, 28 de octubre, pp. 333A-335A.

Poder Legislativo, 2012a, Ley n.º 18.891. Apruébase el Convenio de Transporte por Agua entre la República Oriental del Uruguay y la República Argentina: Diario Oficial, 4 de mayo, p. 4.

Poder Legislativo, 2012b, Ley n.º 18.971. Aprobación del Convenio Internacional sobre el Control de los Sistemas Antiincrustantes Perjudiciales en los Buques: Diario Oficial, 5 de octubre, pp. 4-11.

Poder Legislativo, 2012c, Ley n.º 19.012. Modifícanse disposiciones de la Ley 16.688, en lo relacionado con la protección y la vigilancia ante hechos de contaminación de las aguas jurisdiccionales: Diario Oficial, 7 de diciembre, pp. 5-7.

Poder Legislativo, 2012d, Ley n.º 19.017. Aprobación del Acuerdo sobre Medidas del Estado Rector del Puerto destinadas a Prevenir, Desalentar y Eliminar la Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada: Diario Oficial, 10 de diciembre, pp. 4-14.

Poder Legislativo, 2013a, Ley n.º 19.101. Aprobación del Protocolo Relativo al Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos y Otras Materias 1972: Diario Oficial, 23 de julio, pp. 5-12.

Poder Legislativo, 2013b, Ley n.º 19.128. Declaración al Mar Territorial y a la Zona Económica de la República "Santuario de Ballenas y Delfines": Diario Oficial, 27 de setiembre, p. 7.

Poder Legislativo, 2014, Ley n.º 19175. Declaración de Interés General. Conservación, Investigación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos Hidrobiológicos y Ecosistemas: Diario Oficial, 7 de enero, pp. 9-17.

Poder Legislativo, 2019, Ley n.º 19.772. Regulación del Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible del Espacio Costero del Océano Atlántico y del Río de la Plata: Diario Oficial, 20 de agosto, pp. 14-16.

Poder Legislativo, 2020, Ley n.º 19924. Presupuesto Nacional de Sueldos, Gastos e Inversiones. Ejercicio 2020-2024: Diario Oficial, 30 de diciembre, pp. 2-103.

Pons, M., J. T. Watson, D. Ovando, S. Andraka, S. Brodie, A. Domingo, M. Fitchett, R. Forselledo, M. Hall, E. L. Hazen, J. E. Jannot, M. Herrera, S. Jiménez, D. M. Kaplan, S. Kerwath, J. López, J. McVeigh, L. Pacheco, L. Rendon, K. Richerson, R. Sant'Ana, R. Sharma, J. A. Smith, K. Somersy Ray Hilborn, 2022, Trade-offs between by-catch and target catches in static versus dynamic fishery closures: Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 119, p. 11, https://doi.org/10.1073/pnas.2114508119

Porzecanski, B., J. C. Blanco y E. P. Moure, 1965, Algas agarígenas y agar del Uruguay: Anales Facultad de Medicina, v. 50, n.º 1-2, pp. 157-168.

Potter, P. E., 1997, The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history: Journal of South American Earth Sciences, v. 10, n.º 5, pp. 331-344, https://doi.org/10.1016/S0895-9811(97)00031-X

Prahl, F. G., J. R. Ertel, M. A. Goni, M. A. Sparrow y B. Eversmeyer, 1994, Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 58, n.º 14, pp. 3035-3048, https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90177-5

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 1977, Disposición Marítima n.º 8. Custodia y salvaguarda de los derechos y recursos dentro de las aguas jurisdiccionales: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 2 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2005, Disposición Marítima n.º 103. Convenio Internacional sobre el Control de los Sistemas Anti-incrustantes perjudiciales en los buques: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 2 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2006, Disposición Marítima n.º 109. Directrices para el Control y la Gestión del Agua de Lastre de los Buques: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 6 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2007, Disposición Marítima n.º 111. Prevención de la Contaminación del Medio Marino: Montevideo, Diario Oficial, 22 de diciembre, pp. 4-32.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2011, Disposición Marítima n.º 128. Limitación al Uso de Artes de Pesca en Zonas que se Delimitan (Cables Submarinos): Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 3 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2012a, Disposición Marítima n.º 136. Control de Operaciones de Alije y/o

Complemento de Carga: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 3 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2012b, Disposición Marítima n.º 141. Normas para Prevenir la Contaminación por Buques Petroleros que Realicen Operaciones de Transbordo de Hidrocarburos Buque a Buque en la Zona Económica Exclusiva de la República Oriental del Uruguay (ROU): Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 8 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2015a, Disposición Marítima n.º 155. Prohibición de Pesca y Fondeo en Zonas de Cables Submarinos: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 2 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2015b, Disposición Marítima n.º 157. Normas Complementarias para la Prevención de la Contaminación del Medio Marino: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 36 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2015c, Disposición Marítima n.º 158. Normas para la Habilitación y Registro de Empresas Prestadoras de Servicios para la Prevención y el Control de Derrames de Hidrocarburos y/o Sustancias Nocivas y Potencialmente Peligrosas (SNPP): Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 34 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2017, Disposición Marítima n.º 167. Zona de Maniobras para Trasbordo de Hidrocarburos Buque a Buque (STS): Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 3 pp.

Prefectura Nacional Naval (PRENA), 2018, Disposición Marítima n.º 170. Reglas enmendadas para prevenir la contaminación por las basuras provenientes de buques que naveguen en aguas de jurisdicción nacional: Montevideo, PRENA, Armada Nacional de la República Oriental del Uruguay, 2 pp.

Presidencia de la República, 2023, Temporada de cruceros será récord, tras la llegada de 241 buques al país, consultado el 16 de marzo de 2024, http://gub.uy/presidencia/comunicacion/noticias/temporada-cruceros-sera-record-tras-llegada-241-buques-pais

Preu, B., J. F. Hernández-Molina, R. Violante, A. R. Piola, M. Paterlini, T. Schwenk, S. Krastel y V. Spiess, 2013, Morphosedimentary and hydrographic features of the northern Argentine margin: The interplay between erosive, depositional and gravitational processes and its conceptual implications: Deep-Sea Research I, n.º 75, pp. 157-174, https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.12.013

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), 2012, Scientific synthesis on the impacts of underwater noise on marine and

coastal biodiversity and habitats: Nairobi, UNED, 39 pp.

Pujol, I., F. Yannice, G. Taburet, S. Dupuy, C. Pelloquin, A. Michaël y N. Picot, 2016, DUACS DT2014: The new multi-mission altimeter data set reprocessed over 20 years: Ocean Science, v. 12, pp. 1067-1090, https://doi.org/10.5194/os-12-1067-2016

Rabinowitz, P. D. y J. LaBrecque, 1979, The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins: Journal of Geophysical Research: Solid Earth, v. 84, n.º B11, pp. 5973-6002, https://doi.org/10.1029/JB084iB11p05973

Radowitz, B., 2022, Orsted sells half of world's largest offshore wind farm to AXA and Credit Agricole for $4bn, Recharge News, consultado el 1 de diciembre de 2023, http://rechargenews.com/wind/orsted-sells-half-of-worlds-largest-offshore-wind-farm-to-axa-and-credit-agricole-for-4bn/2-1-1191778

Real Academia Española (RAE), 2022, Diccionario de la lengua española, consultado el 10 de octubre de 2022, https://www.rae.es/

Rako-Gospić, N. y M. Picciulin, 2019, Underwater noise: Sources and effects on marine life, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 367-389, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00023-1

Ramieri, E., M. Bocci y M. Marković, 2019, Land sea interactions in the framework of ICZM and MSP: Venecia, Supporting Maritime Spatial Planning in the Eastern Mediterranean (SUPREME), 76 pp.

Ramírez, F., I. Afán, L. Davis y A. Chiaradia, 2017, Climate impacts on global hot spots of marine biodiversity: Science Advances, v. 3, https://doi.org/10.1126/sciadv.1601198

Ramos-Esplá, A. A., C. Valle-Pérez, J. Bayle-Sempere y J. Sánchez-Lizaso, 2004, Áreas marinas protegidas como herramientas de gestión pesquera en el Mediterráneo (Área COPEMED): Madrid, Proyecto Cooperación Pesquera en el Mediterráneo, 156 pp.

Raoult, V., V. Pirotta, T. F. Gaston, B. Norman, S. Reynolds, T. M. Smith, M. Double, J. How y M. W. Hayward, 2023, Widespread exposure of marine parks, whales, and whale sharks to shipping: Marine and Freshwater Research, v. 74, n.º 1, pp. 75-85.

Rebesco, M. y A. Camarlenghi, 2008, Contourites: Ámsterdam, Elsevier, 688 pp.

Reid, J. L., 1989, On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports: Progress in Oceanography, v. 23, n.º 3, pp. 149-244, https://doi.org/10.1016/0079-6611(89)90001-3

Reid, J. L., W. D. Nowlin y W. C. Patzert, 1977, On the Characteristics and

Circulation of the Southwestern Atlantic Ocean: Journal of Physical Oceanography, v. 7, n.º 1, pp. 62-91, https://doi.org/10.1175/1520-0485(1977)0070062:OTCACO2.0.CO;2

Reitano, E., 2003, El Río de La Plata y la cartografía portuguesa de los siglos XVI y XVII: Anuario del Instituto de Historia Argentina, n.º 3, pp. 159-186.

Remiro Brotóns, A., R. Riquelme Cortado, J. Díez-Hochleitner, E. Orihuela Calatayud y L. Pére-Prat Durbán, 2010, Derecho internacional - Curso general: Valencia, Tirant lo Blanch, 877 pp.

Rempis, N., G. Alexandrakis, G. Tsilimigkas y N. Kampanis, 2018, Coastal use synergies and conflicts evaluation in the framework of spatial, development and sectoral policies: Ocean & Coastal Management, v. 166, pp. 40-51, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.009

Renews.biz, 2021, Berlin primed for offshore hydrogen auction, Renews.biz, consultado el 3 de noviembre de 2022, https://www.renews.biz/72645/berlin-primed-for-offshore-hydrogen-auction/

Republic of the Marshall Islands Maritime Administrator, 2019, Stellar Daisy Casualty Investigation Report. Loss of Buoyancy and Foundering with Multiple Loss of Life. South Atlantic Ocean, 31 March 2017: Marshall Islands, 83 pp.

Retta, S., G. Martínez y A. Errea, 2006, Áreas de cría de peces en la costa uruguaya. Bases para la conservación y el manejo de la Costa Uruguaya: Montevideo, Sociedad Uruguaya para la Conservación de la Naturaleza, 667 pp.

Reuber, K., P. Mann y J. Pindell, 2019, Hotspot origin for asymmetrical conjugate volcanic margins of the austral South Atlantic ocean as imaged on deeply penetrating seismic reflection lines: Interpretation, v. 7, n.º 4, pp. SH71-SH97, https://doi.org/10.1190/INT-2018-0256.1

Reynolds, R. W., T. Smith, C. Liu, D. Chelton y K. Casey, 2007, Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature: Journal of Climate, v. 20, https://doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1

Rezek, J. F., 2002, Direito internacional público: San Pablo, Saraiva, 469 pp.

Rhoads, D. C., 1974, Organism-sediment relations on the muddy sea floor: Oceanography and Marine Biology, v. 12, pp. 263-300.

Richardson, A. J., R. J. Matear y A. Lenton, 2017, Potential impacts on zooplankton of seismic surveys: Hobart, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), 34 pp.

Riet Sapriza, F. G., D. P. Costa, V. Franco-Trecu, Y. H. Marín, J. F. Chocca, B. González, G. Beathyate, B. L. Chilvers y L. A. Hückstadt, 2013, Interacción indirecta entre la pesca de arrastre de

fondo costera y las hembras de león marino sudamericano Otaria flavescens en Uruguay: ¿Existe co-uso o competencia por recursos? Frente Marítimo, v. 23, pp. 65-82.

Risaro, D. B., M. P. Chidichimo y A. R. Piola, 2022, Interannual variability and trends of sea surface temperature around southern South America: Frontiers in Marine Science, v. 9, https://doi.org/10.3389/fmars.2022.829144

Ritter, F. y S. Panigada, 2019, Collisions of Vessels With Cetaceans—The Underestimated Threat, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental impacts: Londres, Academic Press, pp. 531-547, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00026-7

Roberts, C. M., G. Branch, R. H. Bustamante, J. C. Castilla, J. Dugan, B. S. Halpern, K. D. Lafferty, H. Leslie, J. Lubchenco, D. McArdle, M. Ruckelshaus y R. R. Warner, 2003, Application of ecological criteria in selecting marine reserves and developing reserve networks: Ecological Applications, v. 13, n.º 1, pp. S215-S228.

Robinson, R. S., M. Kienast, A. L. Albuquerque, M. Altabet, S. Contreras, R. De Pol Holz, N. Dubois, R. Francois, E. Galbraith, T. C. Hsu, T. Ivanochko, S. Jaccard, S. J. Kao, T. Kiefer, S. Kienast, M. Lehmann, P. Martínez, M. McCarthy, J. Möbius, T. Pedersen, T. M. Quan, E. Ryabenko, A. Schmittner, R. Schneider, A. Schneider-Mor, M. Shigemitsu, D. Sinclair, C. Somes, A. Studer, R. Thunell y J. Y. Yang, 2012, A review of nitrogen isotopic alteration in marine sediments: Paleoceanography, v. 27, n.º 4, https://doi.org/10.1029/2012PA002321

Rodrigues, S., F. J. Hernández-Molina, M. Fonnesu, E. Miramontes, M. Rebesco y D. C. Campbell, 2022, A new classification system for mixed (turbidite-contourite) depositional systems: Examples, conceptual models and diagnostic criteria for modern and ancient records: Earth-Science Reviews, v. 230, 104030, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104030

Rodrigues, S., F. J. Hernández-Molina y A. Kirby, 2021, A late Cretaceous mixed (turbidite-contourite) system along the Argentine margin: Paleoceanographic and conceptual implications: Marine and Petroleum Geology, v. 123, 104768, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104768

Rodríguez Ayçaguer, A. M., 2019, El conflicto entre Uruguay y Argentina por la jurisdicción del Río de la Plata (1907-1910). Política exterior, imágenes mutuas y sentimiento nacional: Claves. Revista de Historia, v. 1, n.º 1 SE-Temática Libre, pp. 139-178, https://doi.org/10.25032/crh.v1i1.7

Rodríguez, C., M. Fossati, D. Carrizo, L. Sánchez-García, F. Teixeira de Mello, F. Weinstein y J. P. Lozoya, 2020, Mesoplastics and large microplastics along a use gradient on the

Uruguay Atlantic coast: Types, sources, fates, and chemical loads: Science of The Total Environment, v. 721, 137734, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137734

Rodríguez, C., M. Fossati, D. Carrizo, L. Sánchez-García, F. Teixeira de Mello, F. Weinstein y J. P. Lozoya, 2020, Mesoplastics and large microplastics along a use gradient on the Uruguay Atlantic coast: Types, sources, fates, and chemical loads: Science of The Total Environment, v. 721, 137734, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137734

Rodríguez, K., N. Hodgson, P. Rodríguez, R. Novo, J. Tomasini y P. Gristo, 2022, Impact of BSR-derived geothermal gradient on future exploration offshore Uruguay, en Fourth EAGE\HGS Conference on Latin America, 14-16 de seetiembre 2022, Cartagena, European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE), pp. 1-5, https://doi.org/10.3997/2214-4609.202282014

Rodríguez, M., A. Lanfranconi, F. Scarabino, A. Carranza y P. Muniz, 2014, Bentos, en L. Burone y N. Venturini, eds., Uruguay margen continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, pp. 254-284.

Rodríguez, P., R. Novo y P. Gristo, 2022, Integración de datos geofísicos para la generación de un mapa batimétrico 3D y la caracterización de estructuras del lecho marino, en Actas del X Congreso Uruguayo de Geología, 7 al 10 de noviembre, Sociedad Uruguaya de Geología (SUG), pp. 163-167.

Roelvink, D. J. A., A. Reniers, A. van Dongeren, J. de Vries, R. McCall y J. Lescinski, 2009, Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands: Coastal Engineering, v. 56, pp. 1133-1152, https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006

Roelvink, D., B. Huisman, A. Elghandour, M. Ghonim y J. Reyns, 2020, Efficient modeling of complex sandy coastal evolution at monthly to century time scales: Frontiers in Marine Science, v. 7, https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00535

Rohais, S., J. P. Lovecchio, V. dos S. Abreu, M. Miguez y S. Paulin, 2021, High-resolution sedimentary budget quantification - Example from the Cenozoic deposits in the Pelotas Basin, South Atlantic: Basin Research, v. 33, n.º 4, pp. 2252-2280, https://doi.org/10.1111/bre.12556

Rowlands, H. J., D. Paton, E. Mortimer, J. P. Turner, P. Thompson, M. Soto y H. de Santa Ana, 2016, New insights into the early development of a volcanic passive margin - 3D imaging of seaward dipping reflectors and a South Atlantic transfer zone, en AAPG Annual Convention and Exhibition, Calgary, Alberta.

Rubio Albertoni, L. E., S. González, G. López, C. Berriolo, S. Jiménez, J. Lenzi y A.

Domingo, 2015, Evaluación de la actividad de prospección sísmica en la plataforma continental uruguaya. Informe técnico: Montevideo, DINARA, 49 pp.

Ruiz, J. J., 2006, Nuevas tendencias de la política y el derecho de la seguridad marítima, in J. L. Meilán Gil, J. J. Pernas García y R. García Pérez, eds., Estudios sobre el régimen jurídico de los vertidos de buques en el medio marino: Madrid, Thomson Reuters Aranzadi, pp. 83-114.

Ruiz-Etcheverry, L. y M. Saraceno, 2020, Sea level trend and fronts in the South Atlantic Ocean: Geosciences (Switzerland), v. 10, https://doi.org/10.3390/geosciences10060218

Ruocco, G. y C. Vázquez, 2023, Revistando un tema siempre actual, la eficacia formal de los tratados en el derecho uruguayo, en Estudios jurídicos en homenaje al profesor Juan Pablo Cajarville Peluffo: Montevideo, Fundación de Cultura Universitaria, p. 213.

Ryabinin, V., J. Barbière, P. Haugan, G. Kullenberg, N. Smith, C. McLean, A. Troisi, A. Fischer, S. Aricò, T. Aarup, P. Pissierssens, M. Visbeck, H. O. Enevoldsen y J. Rigaud, 2019, The UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development: Frontiers in Marine Science, v. 6, https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00470

Sáenz de Santa María, P. A., 2014, Sistema de derecho internacional público: Pamplona, Thomson Reuters - Civitas, 672 pp.

Sáenz, L., S. Cuesta, D. Takahashi, J. P. Romanelli, J. Webb, R. Bagnato, P. Martos, A. Di Natale, S. Wörner, M. Álvarez y J. Ramos, 2022, Estudio de impacto ambiental de la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en el Bloque CAN_100. Capítulo VII - Identificación y evaluación de potenciales impactos ambientales y medidas de mitigación: Buenos Aires, ERM y EQUINOR Argentina B.V., 136 pp.

Sætre, R. y E. Ona, 1996, Seismiske undersØkelser og skader på fiskeegg og -larver. En vurdering av mulige effekter på bestandsnivå (Seismic surveys and damage to fish eggs and larvae. An assessment of possible effects at population level): Bergen, Institute of Marine Research (IMR), 25 pp.

Sagrera, C., 2013, El desafío del offshore y la seguridad en América Latina: Revista de la Liga Marítima Uruguaya, v. 27, n.º 5, pp. 19-41.

Sagrera, C., 2022, Respuesta de la OMI a Incidentes con SNPP (HNS) en el medio ambiente marítimo-portuario, en XVII Foro Internacional Marítimo Portuario en Veracruz, 19-23 de setiembre, Red PBIP Internacional-México, p. 50.

Saha, S., S. Moorthi, H. L. Pan, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, R. Kistler, J. Woollen, D. Behringer, H. Liu, D. Stokes, R. Grumbine, G. Gayno, J. Wang, Y. T. Hou, H. Chuang, H. M. H. Juang, J. Sela, M. Iredell, R. Treadon, D. Kleist, P. van Delst, D. Keyser, J. Derber, M. Ek, J. Meng, H. Wei, R. Yang, S.

Lord, H. van den Dool, A. Kumar, W. Wang, C. Long, M. Chelliah, Y. Xue, B. Huang, J. K. Schemm, W. Ebisuzaki, R. Lin, P. Xie, M. Chen, S. Zhou, W. Higgins, C. Z. Zou, Q. Liu, Y. Chen, Y. Han, L. Cucurull, R. W. Reynolds, G. Rutledge y M. Goldberg, 2010, The NCEP climate forecast system reanalysis: Bulletin of The American Meteorological Society, v. 91, https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1

Sala, E., J. Mayorga, D. Bradley, R. B. Cabral, T. B. Atwood, A. Auber, W. Cheung, C. Costello, F. Ferretti, A. M. Friedlander, S. D. Gaines, C. Garilao, W. Goodell, B. S. Halpern, A. Hinson, K. Kaschner, K. Kesner-Reyes, F. Leprieur, J. McGowan, L. E. Morgan, D. Mouillot, J. Palacios-Abrantes, H. P. Possingham, K. D. Rechberger, B. Worm y J. Lubchenco, 2021, Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate: Nature, v. 592, n.º 7854, pp. 397-402, https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z

Salafsky, N., R. Margoluis y K. Redford, 2001, Adaptive management: A tool for conservation practitioners: Washington, DC, Biodiversity Support Program, 100 pp.

Salo, K., M. Zetterdahl, H. Johnson, E. Svensson, M. Magnusson, C. Gabrielii y S. Brynolf, 2016, Emissions to the air, en K. Andersson, S. Brynolf, J. F. Lindgren y M. Wilewska-Bien, eds., Shipping and the environment: Improving environmental performance in marine transportation: Berlín, Springer, pp. 169-227, https://doi.org/10.1007/978-3-662-49045-7_5

Sánchez Bettucci, L., E. Peel y P. Oyhantçabal, 2010, Precambrian geotectonic units of the Río de La Plata craton: International Geology Review, v. 52, n.º 1, pp. 32-50, https://doi.org/10.1080/00206810903211104

Sánchez, R., M. Álvarez, J. Ramos, A. Fernández Sanday, J. Simonelli y S. Worner, 2022, Estudio de impacto ambiental de la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN_100. Capítulo IV - Descripción de proyecto: Buenos Aires, ERM y EQUINOR Argentina B.V., 59 pp.

Santoro, P., 2017, Numerical modeling of Montevideo bay hydrodynamics and fine sediment dynamics: Montevideo, Facultad de Ingeniería, Universidad de República, 306 pp.

Santoro, P., M. Fossati e I. Piedra-Cueva, 2013, Study of the meteorological tide in the Río de la Plata: Continental Shelf Research, v. 60, pp. 51-63, https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.018

Santoro, P., M. Fossati, P. Tassi, N. Huybrechts, D. Pham van Bang e I. Piedra-Cueva, 2017, A coupled wave-current-sediment transport model for an estuarine system: Application to the Río de la Plata and Montevideo bay: Applied Mathematical Modelling, v. 52, pp. 107-130, https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.07.004

Santoro, P., M. Fossati, P. Tassi, N. Huybrechts, D. Pham van Bang e I. Piedra-Cueva, 2018, Effect of self-weight consolidation on a hydro-sedimentological model for the Río de la Plata estuary: International Journal of Sediment Research, v. 34, https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.12.004

Sarkar, S., C. Basak, M. Frank, C. Berndt, M. Huuse, S. Badhani y J. Bialas, 2019, Late Eocene onset of the Proto-Antarctic Circumpolar Current: Scientific Reports, v. 9, n.º 1, 10125, https://doi.org/10.1038/s41598-019-46253-1

Sassen, R. e I. R. Macdonald, 1997, Hydrocarbons of experimental and natural gas hydrates, Gulf of Mexico continental slope: Organic Geochemistry, v. 26, n.º 3-4, pp. 289-293.

Scarabino, F., 2006, Faunística y taxonomía de invertebrados bentónicos marinos y estuarinos de la costa uruguaya, en R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 113-142.

Scarabino, F., 2021, Las especies también son patrimonio: un análisis integral y aplicado de los valores y usos de los moluscos de un sector de la costa rochense (Uruguay), tesis de Maestría en Manejo Costero Integrado, CURE, Universidad de la República, 518 pp.

Schiermeier, Q., 2015, Hunting the Godzilla El Niño: Nature, v. 526, pp. 490-491, https://doi.org/10.1038/526490a

Schiller, A. y G. Brassington, 2011, Operational oceanography in the 21st Century: Dordrecht, Springer, 460 pp., https://doi.org/10.1007/978-94-007-0332-2

Schlittler, L., 2022, Brazilian regulation allows for offshore power development, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://www.felsberg.com.br/en/brazilian-regulation-allows-for-offshore-power-development/

Schnabel, M., D. Franke, M. Engels, K. Hinz, S. Neben, V. Damm, S. Grassmann, H. Pelliza y P. Santos, 2008, The structure of the lower crust at the Argentine continental margin, South Atlantic at 44° S: Tectonophysics, v. 454, pp. 14-22, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.01.019

Schultz-Zehden, A., I. Lukic, J. Onwona Ansong, S. Altvater, R. Bamlett, A. Barbanti, M. Bocci, B. H. Buck, H. Calado, M. Caña Varona, C. Castellani, D. Depellegrin, M. F. Schupp, I. Giannelos, A. Kafas, A. Kovacheva, G. Krause, Z. Kyriazi, R. Läkamp, M. Lazić, A. Mourmouris, v. Onyango, E. Papaioannou, J. Przedrzymirska, E. Ramieri, S. Sangiuliano, I. van de Velde, V. Vassilopoulou, C. Venier, M. Vergílio, J. Zaucha, B. Buchanan, 2018, Ocean multi-use action plan: Edinburgo, MUSES project, 132 pp.

Schulz, K. J., J. H. DeYoung Jr., R. R. Seal II y D. C. Bradley, 2017, Critical mineral resources of the United States – An introduction, en K. J. Schulz, J. DeYoung John H., R. R. Seal II y D. C. Bradley,

eds., Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply: Reston, Virginia, USGS, pp. A1-A14, https://doi.org/10.3133/pp1802A

Schuwirth, N., F. Borgwardt, S. Domisch, M. Friedrichs-Manthey, M. Kattwinkel, D. Kneis, M. Kuemmerlen, S. Langhans, J. Martínez-López y P. Vermeiren, 2019, How to make ecological models useful for environmental management: Ecological Modelling, v. 411, https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108784

Scotese, C. R., 2014, Atlas of early Cretaceous paleogeographic maps, PALEOMPA Atlas for ArcGIS, volume 2, The Cretaceous, Map 23-31, Mollweide Projection, PALEOMAP Project: Evanston IL.

Sea Alarm, 2017, Country Wildlife Response Profiles: Uruguay: Brusleas, Sea Alarm Foundation, 3 pp.

Seabed Minerals Authority, 2024, Register of titles, consultado el 31 de enero de 2024, https://www.sbma.gov.ck/

Secchi, E. R., M. J. Cremer, D. Danilewicz y J. Lailson-Brito, 2021, A synthesis of the ecology, human-related threats and conservation perspectives for the endangered franciscana dolphin: Frontiers in Marine Science, v. 8, https://doi.org/10.3389/fmars.2021.617956

Selig, E. R., D. G. Hole, E. H. Allison, K. K. Arkema, M. C. McKinnon, J. Chu, A. de Sherbinin, B. Fisher, L. Glew, M. B. Holland, J. Carter Ingram, N. S. Rao, R. B. Russell, T. Srebotnjak, L. C.L. Teh, S. Troëng, W. R. Turner y A. Zvoleff, 2019, Mapping global human dependence on marine ecosystems: Conservation Letters, v. 12, n.º 2, e12617, https://doi.org/10.1111/conl.12617

Sellanes, L., D. Balparda, D. Silva, M. Jackson, P. Ezzatti y M. Fossati, 2022, Estudio de sensibilidad del pronóstico de niveles del Río de la Plata y Frente Marítimo a la condición de borde fluvial, en C. Poleto, J. G. Dalfré Filho y A. L. Sotero Sakustiano Martim, eds., Anales del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica - Volúmen 4 - Hidráulica, marítima y de estuarios: Foz de Iguazú, IAHR Publishing.

Senger, K., T. Birchall, P. Betlem, K. Ogata, S. Ohm, S. Olaussen y R. S. Paulsen, 2021, Resistivity of reservoir sandstones and organic rich shales on the Barents shelf: Implications for interpreting CSEM data: Geoscience Frontiers, v. 12, n.º 6, 101063, https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.007

Sequeira, M., E. Morales y B. Conti, 2024, Seismic stratigraphy of the Cretaceous post-rift in Punta del Este Basin (offshore Uruguay) and its implications for deep-water reservoirs: Petroleum Geoscience, v. 30, n.º 3, https://doi.org/10.1144/petgeo2023-063

Servicio de Hidrografía Naval (SHN), 2022, Cartas náuticas oceánicas: H-50 Mar

Argentino. Desde el Río de la Plata hasta el Pasaje Drake: Buenos Aires, Servicio de Hidrografía Naval, consultado el 19 de abril de 2023, https://www.hidro.gob.ar/nautica/CartasNauticas.asp?op=2

Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), 2020, Carta Náutica n.º 1. Desde Arroyo Chuy hasta Mar del Plata: Montevideo, SOHMA.

Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), 2021, Carta Náutica n.º 3: Desde Arroyo Chuy hasta Montevideo. Escala 1:300.000: Montevideo, SOHMA, 59 pp.

Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA), 2023, Publicaciones náuticas, consultado el 19 de abril de 2023, https://sohma.armada.mil.uy/index.php/servicios/publicaciones-nauticas

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), 2024, Mineral Resources Data System (MRDS), consultado el 20 de abril de 2024, https://mrdata.usgs.gov/mrds/

Shaw, M. N., 2014, International law: Cambridge, Cambridge University Press, 1118 pp.

Shell, 2022a, Shell makes deep-water discoveries offshore Namibia, consultado el 25 de julio de 2023, https://shell.com.na/media/2022-media-releases/shell-makes-deep-water-discoveries-offshore-namibia.html

Shell, 2022b, Shell to start building Europe's largest renewable hydrogen plant, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://shell.com/media/news-and-media-releases/2022/shell-to-start-building-europes-largest-renewable-hydrogen-plant.html

Shipman, B., H. Roberts, T. Dworak, T. Zamparutti, I. Krüger, K. Veidemane, O. Mashkina, C. Parrod, E. Ceresil, A. Moarcas y L. Oulès, 2018, Land sea interactions in maritime spatial planning: s. l., Comisión Europea, 29 pp.

Shmakov, V. D., 2019, Unconventional gas: Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta, Seriya Geologiya i Geografiya, v. 2010, n.º 1, pp. 59-98, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809570-6.00003-5

Silveira, S., G. Fabiano y M. Laporta, 2016, Variación anual y espacial de las capturas pesqueras artesanales en la costa atlántica de Uruguay: Frente Marítimo, v. 24, n.º 83, pp. 83-94.

Silveira, S., M. Laporta, I. Pereyra, F. Mas, F. Doño, O. Santana y G. Fabiano, 2018, Análisis de la captura de condrictios en la pesca artesanal oceánica de Uruguay, Atlántico Sudoccidental.: Frente Marítimo, v. 25, pp. 301-324.

Simionato, C. G., M. L. C. Tejedor, C. Campetella, R. A. Guerrero y D. Moreira, 2010, Patterns of sea surface temperature variability on seasonal to

sub-annual scales at and offshore the Río de la Plata Estuary: Continental Shelf Research, v. 30, pp. 1983-1997, https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.012

Simionato, C., D. Moreira, I. piedra cueva, M. Fossati, R. Guerrero, T. Campos, C. Balestrini, F. Cayocca, F. Gohin y M. Repecaud, 2011, Proyecto FREPLATA - FFEM Modelado numérico y mediciones in-situ y remotas de las transferencias de sedimentos finos a través del Río de la Plata. Parte A: Adquisición de datos: Frente Maritimo, v. 22, pp. 109-136.

Sinclair, D., A. Drews, J. Wrottesley, M. Clare, L. Mevenkamp, A. Judd, R. Wopschall, H. Tripp y J. Ward, 2023, Subsea Cables within the OSPAR Maritime Area: Background document on technical considerations and potential environmental impacts: Londres, OSPAR, 83 pp.

Singh, D., P. C. Kumar y K. Sain, 2016, Interpretation of gas chimney from seismic data using artificial neural network: A study from Maari 3D prospect in the Taranaki basin, New Zealand: Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 36, pp. 339-357, https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.10.039

Singh, S., A. Dwivedi y S. Pratap, 2023, Sustainable maritime freight transportation: Current status and future directions: Sustainability, v. 15, n.º 8, https://doi.org/10.3390/su15086996

Sivle, L. D., E. H. Vereide, K. de Jong, T. N. Forland, J. Dalen y H. Wehde, 2021, Effects of sound from seismic surveys on fish reproduction, the management case from Norway: Journal of Marine Science and Engineering, v. 9, n.º 4, pp. 1-16, https://doi.org/10.3390/jmse9040436

Slabbekoorn, H., J. Dalen, D. de Haan, H. V Winter, C. Radford, M. A. Ainslie, K. D. Heaney, T. van Kooten, L. Thomas y J. Harwood, 2019, Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge: Fish and Fisheries, v. 20, n.º 4, pp. 653-685, https://doi.org/10.1111/faf.12367

Sloan, E. D., 1998, Clathrate hydrates of natural gases. 2nd. ed. revised and expanded: Nueva York, CRC Press, 705 pp.

Smith, C., L. Levin, A. Koslow, P. Tyler y A. Glover, 2008, The near future of the deep-sea floor ecosystems, en Polunin NVC, ed., Aquatic ecosystems: Trends and global prospects: Cambridge, Cambridge University Press, pp. 334-350, https://doi.org/10.1017/CBO9780511751790.030

Smith, H. D., F. Maes, T. A. Stojanovic y R. C. Ballinger, 2011, The integration of land and marine spatial planning: Journal of Coastal Conservation, v. 15, n.º 2, pp. 291-303, https://doi.org/10.1007/s11852-010-0098-z

Society of Petroleum Engineers (SPE), 2007, SPE petroleum resource managment system guide for non-technical users, 2007: Richardson, TX, SPE, 4 pp.

Solari, S., C. Chreties, G. López y L. Teixeira, 2014, Analysis of the recent evolution of the sand spit at the Solis Chico river mouth: Journal of Coastal Research, v. 70, pp. 616-620, https://doi.org/10.2112/SI70-104.1

Solari, S., R. Alonso y L. Teixeira, 2018, Analysis of coastal vulnerability along the Uruguayan coasts: Journal of Coastal Research, v. 85, pp. 1536-1540, https://doi.org/10.2112/SI85-308.1

Soreide, N. N., C. E. Woody y S. M. Holt, 2001, Overview of ocean based buoys and drifters: Present applications and future needs, en MTS/IEEE Oceans 2001. An ocean odyssey. Conference proceedings, pp. 2470-2472 v. 4, https://doi.org/10.1109/OCEANS.2001.968388

Soto, M., B. Conti, P. Gristo y H. de Santa Ana, 2015, Direct oil and gas evidences from Punta del Este basin, offshore Uruguay: New data from fluid inclusions, en AAPG-SEG International Conference & Exhibition, Melbourne, Australia, 13-16 de setiembre.

Soto, M., E. Morales, G. Veroslavsky, H. de Santa Ana, N. Ucha y P. Rodríguez, 2011, The continental margin of Uruguay: Crustal architecture and segmentation: Marine and Petroleum Geology, v. 28, n.º 9, pp. 1676-1689, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2011.07.001

Soto, M., B. Viera-Honegger, E. Morales y B. Conti, 2019, Paleocene seismic facies in the continental margin of Uruguay (South America): Journal of Sedimentary Environments, v. 4, n.º 3, pp. 263-275, https://doi.org/10.12957/jse.2019.44402

Southall, B. L., G. P. Donovan, R. Racca, R. R. Reeves, A. I. Vedenev, D. W. Weller y D. P. Nowacek, 2023, Data collection and analysis methods to evaluate potential impacts of seismic surveys and other marine industrial activities on baleen whales: Ocean & Coastal Management, v. 245, 106799, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106799

Soutullo, A., 2006, Marco conceptual para la planificación de la conservación de la diversidad biológica: implicancias para el diseño de un sistema de áreas protegidas en Uruguay. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (URU/05/001): Montevideo, DINAMA, 16 pp.

Soutullo, A., C. Clavijo y J. A. Martínez-Lanfranco, 2013, Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares: Montevideo, SNAP, DINAMA, MVOTMA - DICYT, MEC, 222 pp.

Soutullo, A., L. Bartesaghi, M. Achkar, A. Blum, A. Brazeiro, M. Ceroni y L. Rodríguez-Gallego, 2012, Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos de Uruguay: Montevideo, Convenio PPR-MGAP, CIEDUR, Facultad de Ciencias, Vida Silvestre Uruguay, Sociedad Zoológica del Uruguay, 20 pp.

Steventon, M. J., C. A.-L. Jackson, D. M. Hodgson y H. D. Johnson, 2019, Strain analysis of a seismically imaged mass-transport complex, offshore Uruguay: Basin Research, v. 31, n.º 3, pp. 600-620, https://doi.org/10.1111/bre.12337

Stica, J. M., P. V. Zalán y A. L. Ferrari, 2014, The evolution of rifting on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná-Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic: Marine and Petroleum Geology, v. 50, pp. 1-21, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.10.015

Stoakes, F. A., C. V Campbell, R. Cass y N. Ucha, 1991, Seismic stratigraphic analysis of the Punta Del Este basin, offshore Uruguay, South America: AAPG Bulletin, v. 75, n.º 2, pp. 219-240.

Stramma, L. y M. England, 1999, On the water masses and mean circulation of the South Atlantic ocean: Journal of Geophysical Research, v. 1042, pp. 20863-20884, https://doi.org/10.1029/1999JC900139

Su, Z., G. J. Moridis, K. Zhang, R. Yang y N. Wu, 2010, Gas hydrate: Numerical investigation of gas production strategy for the hydrate deposits in the Shenhu Area, en Offshore Technology Conference, https://doi.org/10.4043/20551-MS NV - OTC-20551-MS

Szteren, D. y C. Lezama, 2006, Interacciones entre lobos marinos y pesca artesanal en la costa de Uruguay, in R. Menafra, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino y D. Conde, eds., Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya: Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, pp. 321-328.

Talley, L. D., 2003, Shallow, intermediate, and deep overturning components of the global heat budget: Journal of Physical Oceanography, v. 33, n.º 3, pp. 530-560, https://doi.org/10.1175/1520-0485(2003)0330530:-SIADOC2.0.CO;2

Talwani, M. y V. Abreu, 2000, Inferences regarding initiation of oceanic crust formation from the U.S. East coast margin and conjugate South Atlantic margins: American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, v. 115, pp. 211-233, https://doi.org/10.1029/GM115p0211

Tambutti, M. y J. J. Gómez, 2020, The outlook for oceans, seas and marine resources in Latin America and the Caribbean: conservation, sustainable development and climate change mitigation: Santiago de Chile, CEPAL, 77 pp.

Tanaka, Y., 2019, The international law of the sea: Cambridge, Cambridge University Press, https://doi.org/10.1017/9781108545907

Tankard, A. J., M. A. Uliana, H. J. Welsink, V. A. Ramos, M. Turic, A. B. França, E. J. Milani, B. B. de Brito Neves, N. Eyles, J. Skarmeta, H. Santa Ana, F. Wiens, M. Cirbián, O. López Paulsen, G. J. B. Germs, M. J. De Wit, T. Machacha

y R. M. Miller, 1995, Structural and tectonic controls of basin evolution in Southwestern Gondwana during the Phanerozoic, en A. J. Tankard, R. Suárez Soruco y H. J. Welsink, eds., Petroleum basins of South America. AAPG Memoir 62: Tulsa, AAPG, https://doi.org/10.1306/M62593C1

Tavella, G. F. y C. G. Wright, 1996, Cuenca del Salado, en V. A. Ramos y M. A. Turic, eds., Geología y recursos naturales de la plataforma continental argentina: Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina - Instituto Argentino del Petróleo, pp. 95-116.

Teixeira, L., I. Piedra-Cueva y S. Solari, 2012, The influence of fluvial and maritime processes in shaping the eastern coast of the upper Rio de la Plata estuary: River Flow 2012 - Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, v. 1, pp. 813-820.

Teixeira, M. y S. Solari, 2020, Analysis of different protocols for the artificial opening of the Laguna de Rocha Inlet: Journal of Coastal Research, v. 95, n.º sp1, pp. 958-962, https://doi.org/10.2112/SI95-186.1

Thompson, P., G. Badalini, S. Wrigley, J. Hendy, R. Walker, J. Argent, M. Soto, H. de Santa Ana, P. Gristo y J. F. Hernández-Molina, 2015, Travelling without moving: ever-changing seabed morphology and the influence of contour currents, from cretaceous to present-day, within the Pelotas basin, offshore Uruguay, en 31st IAS Meeting of Sedimentology.

Thurber, A., A. Sweetman, B. Narayanaswamy, D. Jones, J. Ingels y R. Hansman, 2014, Ecosystem function and services provided by the deep sea: Biogeosciences, v. 11, pp. 3941-3963, https://doi.org/10.5194/bg-11-3941-2014

Tillin, H. M., J. G. Hiddink y S. Jennings, 2006, Chronic bottom trawling alters the functional composition of benthic invertebrate communities on a sea-basin scale: Marine Ecology Progress Series, v. 318, pp. 31-45.

Tittensor, D., C. Mora, W. Jetz, H. Lotze, D. Ricard, E. Vanden Berghe y B. Worm, 2010, Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa: Nature, v. 466, pp. 1098-1101, https://doi.org/10.1038/nature09329

Tolman, H., 2009, User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14: Analysis: Washington, DC, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 220 pp.

Tomasini, J., 2017, Assessment of the potential for gas production from marine methane hydrate reservoirs by numerical simulation, tesis de maesetría, Heriot-Watt University.

Tomasini, J., B. Conti, S. Ferro y H. de Santa Ana, 2023, Methane hydrate prospects. Identification, ranking and gas resource estimation, en Proceedings of the 10th International Conference on Gas Hydrates (ICGH10).

Tomasini, J., H. De Santa Ana y A. H. Johnson, 2010, Identification of new seismic evidence regarding gas hydrate occurrence and gas migration pathways offshore Uruguay, en AAPG Convention, 11-14 de abril, consultado el 5 de marzo de 2023, http://www.searchanddiscovery.com/documents/2010/80116tomasini/images/tomasini

Tomasini, J., H. de Santa Ana y G. Veroslavsky, 2012, Cuantificación del recurso hidratos de gas en Uruguay, en III Jornadas Uruguayas del Cenozoico, p. 5.

Tomasini, J., H. de Santa Ana, B. Conti, S. Ferro, P. Gristo, J. Marmisolle, E. Morales, P. Rodríguez, M. Soto y G. Veroslavsky, 2011, Assessment of marine gas hydrates and associated free gas distribution offshore Uruguay: Journal of Geological Research, v. 2011, p. 7, https://doi.org/10.1155/2011/326250

Tomasini, J., P. Gristo, P. Rodríguez y H. de Santa Ana, 2012, Analysis of equilibrium conditions for determination of Hydrate forming gasses offshore Uruguay, en 8th International Workshop on Methane Hydrate Research & Development, 28 de mayo al 1 de junio, Sapporo, Fiery Ice.

Tomasini, J., P. Gristo, S. Ferro y R. Novo, 2022, Assessment of the potential for hydrogen production from bottom fixed offshore wind in Uruguay, en Offshore Technology Conference, Houston, Texas, https://doi.org/10.4043/31879-MS

Tomasini, J., B. Preu, S. Krastel, T. Schwenk, V. Spiess y H. de Santa Ana, 2011, Distinct expressions of the BSR using various frequencies offshore Uruguay and its correspondence with the gas hydrate stability zone, en Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates, 17-21 de julio, Edinburgo.

Tomasini, J. y K. Stephen, 2020, Assessment of the potential for gas production from marine methane hydrate reservoirs by numerical simulation, en SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 2020 de julio, Society of Petroleum Engineers, https://doi.org/10.2118/199134-MS

Tomasini, J., P. Gristo, N. Blánquez, C. Romeu, P. Rodríguez, B. Conti, M. Morales, H. de Santa Ana, V. Botta, R. Martino, J. Boggio y M. Nodar, 2019, Manual de operaciones de exploración offshore Uruguay: Montevideo, ANCAP, 138 pp.

Törmänen, T., 2005, Ore minerology, geochemistry, and formatioin of the sediment-hosted sea floor massive sulfide deposits at Escanaba Trough, NE Pacific with emphasis on the transport and deposition of gold, disertación académica, University of Oulu, 169 pp.

Torres Corral, A., 2011, Las palabras y las cosas. La construcción de la costa de Montevideo como paisaje significativo, en F. Carrión, ed., Uruguay: la centralidad montevideana. Centralidades, v. 4: Quito, OLACCHI, pp. 223-248.

Torres-Bejarano, F., H. Ramírez-León, R. Denzer, S. Frysinger, T. Hell y S. Schlobinski, 2013, Linking numerical water quality models in an environmental information system for integrated environmental assessments: Journal of Environmental Protection, v. 4, pp. 126-137, https://doi.org/10.4236/jep.2013.47A015

TotalEnergies, 2022, Namibia: TotalEnergies makes a significant discovery in offshore Block 2913B, consultado el 15 de diciembre de 2022, https://totalenergies.com/media/news/press-releases/namibia-totalenergies-makes-significant-discovery-offshore-block-2913b

Transport & Environment, 2023, The return of the cruise: Bruselas, European Federation for Transport and Environment AISBL, 42 pp.

Treves, T., 2015, Historical development of the law of the sea, en D. Rothwell, A. Oude Elferink, K. Scott y T. Stephens, eds., The Oxford handbook of the law of the sea: Oxford, Oxford University Press, pp. 1-23, https://doi.org/10.1093/law/9780198715481.003.0001

Trinchín, R., G. Manta, R. Santana, L. E. Rubio Albertoni, S. Horta, C. Passadore, C. de Mello, M. N. Szephegyi y M. Barreiro, 2020, Hacia un monitoreo continuo de variables oceanográficas en el Parque Nacional Isla de Flores, Uruguay: INNOTEC, n.º 21, pp. 89-108, https://doi.org/10.26461/21.03

Trinchín, R., L. Ortega y M. Barreiro, 2019, Spatiotemporal characterization of summer coastal upwelling events in Uruguay, South America: Regional Studies in Marine Science, v. 31, 100787, https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100787

Tuda, A. O., T. F. Stevens y L. D. Rodwell, 2014, Resolving coastal conflicts using marine spatial planning: Journal of Environmental Management, v. 133, pp. 59-68, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.029

Tudurí, A., L. Delbene, N. Espinosa y E. Brugnoli, 2014, Oceanografía química, en L. Burone y N. Venturini, eds., Uruguay margen continental. Programa oceanográfico de caracterización del margen continental uruguayo, zona económica exclusiva: Montevideo, ANCAP - Facultad de Ciencias, pp. 64-90.

Tugend, J., M. Gillard, G. Manatschal, M. Nirrengarten, C. Harkin, M.-E. Epin, D. Sauter, J. Autin, N. Kusznir y K. McDermott, 2018, Reappraisal of the magma-rich versus magma-poor rifted margin archetypes: Geological Society, Special Publications, v. 476, https://doi.org/10.1144/SP476.9

Tulloch, V. J. D., S. Atkinson, H. P. Possingham, N. Peterson, S. Linke, J. R. Allan, A. Kaiye, M. Keako, J. Sabi, B. Suruman y V. M. Adams, 2021, Minimizing cross-realm threats from land-use change: A national-scale conservation framework connecting land, freshwater and marine systems: Biological Conservation, v. 254, 108954, https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108954

Ucha, N., H. de Santa Ana y G. Veroslavsky, 2004, La Cuenca Punta del Este: geología y potencial hidrocarburífero, en G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez, eds., Cuencas sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico: Montevideo, DIRAC, Facultad de Ciencias - Sociedad Uruguaya de Geología, pp. 173-192.

Uenzelmann-Neben, G., T. Weber, J. Gruetzner y M. Thomas, 2016, Transition from the Cretaceous ocean to Cenozoic circulation in the western South Atlantic - A twofold reconstruction: Tectonophysics, v. 716, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.036

United Nations Centre for Human Settlements (Habitat) (UNCHS), 1996, Issues in the integrated planning and management of river/lake basins and coastal areas: A human perspective: Nairobi, UNCHS, 57 pp.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), 2022, The IUCN red list of threatened species. Version 2022-2, consultado el 28 de abril de 2023, https://www.iucnredlist.org

Urien, C. M. y M. Ewing, 1974, Recent sediments and environment of southern Brazil, Uruguay, Buenos Aires, and Rio Negro continental shelf, en C. A. Burk y C. L. Drake, eds., The geology of continental margins: Berlín, Springer pp. 157-177, https://doi.org/10.1007/978-3-662-01141-6_12

Valdemarsen, J. W., T. Jørgensen y A. Engås, 2007, Options to mitigate bottom habitat impact of dragged gears: Roma, FAO, 29 pp.

Valla, D., A. R. Piola, C. S. Meinen y E. Campos, 2018, Strong mixing and recirculation in the northwestern Argentine basin: Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 123, n.º 7, pp. 4624-4648, https://doi.org/10.1029/2018JC013907

Valla, D., A. R. Piola, C. S. Meinen y E. Campos, 2019, Abyssal transport variations in the Southwest South Atlantic: First insights from a long-term observation array at 34.5° S: Geophysical Research Letters, v. 46, n.º 12, pp. 6699-6705, https://doi.org/10.1029/2019GL082740

Vallega, A., 1999, Fundamentals of integrated coastal management: Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, pp. 1689-1699.

Van Denderen, P. D., T. van Kooten y A. D. Rijnsdorp, 2013, When does fishing lead to more fish? Community consequences of bottom trawl fisheries in demersal food webs: Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 280, n.º 1769, 20131883, https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1883

Van der Spuy, D. y B. Sayidini, 2022, Offshore Namibia Discovery signals bright future for South Africa oil and gas: AAPG Explorer, consultado el 8 de agosto de 2023, https://explorer.aapg.org/story/articleid/62613/

offshore-namibia-discovery-signals-bright-future-for-south-africa-oil-and-gas

Vaz Ferreira, R., 1950, Observaciones sobre la Isla de Lobos: Revista de la Facultad de Humanidades y Ciencias, v. 5, pp. 145-176.

Velázquez Seoane, P., 2021, Estratigrafía del sector sur del margen continental uruguayo, tesis de maestría, Facultad de Ciencias - PEDECIBA, Universidad de la República, 123 pp.

Velázquez, P. y E. Morales, 2020, Seismic stratigraphy of the oriental del Plata basin (offshore Uruguay), en AAPG Virtual Research Symposium Latin America & Caribbean Region, consultado el 2 de mayo de 2023, https://www.researchgate.net/publication/352220570_Seismic_Stratigraphy_of_the_Oriental_del_Plata_Basin_Offshore_Uruguay

Vélez-Rubio, G. M., L. Prosdocimi, M. López-Mendilaharsu, M. N. Caraccio, A. Fallabrino, E. L. LaCasella y P. H. Dutton, 2023, Natal origin and spatio-temporal distribution of leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) strandings at a foraging hotspot in temperate waters of the Southwest Atlantic ocean: Animals: an open access journal from MDPI, v. 13, n.º 8, https://doi.org/10.3390/ani13081285

Vélez-Rubio, G., F. Scarabino, M. Laporta, G. Fabiano, G. Azcune, C. Kruk y Gm, 2021, Usos históricos y actuales de las macroalgas marinas en Uruguay: una primera aproximación, en III Jornadas de Etnobiología y Sociedad, Naturaleza/s en Construcción: en la confluencia de territorios, actores y disciplinas, La Plata, v. 6, 1 p.

Ventikos, N. P. y D. I. Stavrou, 2013, Ship to ship (STS) transfer of cargo: Latest developments and operational risk assessment: SPOUDAI - Journal of Economics and Business, v. 63, n.º 3-4, pp. 172-180.

Verlaan, P. A. y D. S. Cronan, 2022, Origin and variability of resource-grade marine ferromanganese nodules and crusts in the Pacific ocean: A review of biogeochemical and physical controls: Geochemistry, v. 82, n.º 1, 125741, https://doi.org/10.1016/j.chemer.2021.125741

Veroslavsky, G., 1999, Geología da Bacia de Santa Lucia - Uruguai, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 152 pp.

Veroslavsky, G., G. Daners y H. de Santa Ana, 2003, Rocas sedimentarias pérmicas de la plataforma continental uruguaya: el prerift de la Cuenca de Punta del Este: Geogaceta, n.º 34, pp. 203-206.

Veroslavsky, G., P. Rodríguez, N. Ucha y H. de Santa Ana Álvarez, 2017, Rasgos geofísicos y geológicos en la determinación del límite exterior de la plataforma continental de Uruguay art. 76 de la CONVEMAR, en XX Congreso Argentino de Geología, San Miguel de Tucumán, pp. 58-64.

Vetter, E. W. y P. K. Dayton, 1998, Macrofaunal communities within and adjacent to a detritus-rich submarine canyon system: Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 45, n.º 1, pp. 25-54, https://doi.org/10.1016/S0967-0645(97)00048-9

Via, R. K. y D. J. Thomas, 2006, Evolution of Atlantic thermohaline circulation: Early Oligocene onset of deep-water production in the North Atlantic: Geology, v. 34, n.º 6, pp. 441-444, https://doi.org/10.1130/G22545.1

Viera-Honegger, B., E. Morales, M. Soto y B. Conti, 2018, Seismic stratigraphy of the Eocene-Lower Oligocene in the Uruguayan continental margin: Journal of Sedimentary Environments, v. 3, n.º 4, pp. 290-306, https://doi.org/10.12957/jse.2018.39248

Villagrán, D. M., M. D. Fernández Severini, D. M. Truchet, M. N. Tártara y J. E. Marcovecchio, 2021, A global record of particulated metals on the southwestern Atlantic shelf (Argentine Sea): Environmental Earth Sciences, v. 80, n.º 5, p. 204, https://doi.org/10.1007/s12665-021-09492-y

Villarino, M. F., M. Simonazzi, G. Bambill, P. Ibáñez, R. Castrucci y R. Reta, 2000, Evaluación de la merluza en julio y agosto de 1994, entre los 34° y 46° S del Atlántico Suroccidental: Mar del Plata, INIDEP, 46 pp.

Vinçon-Leite, B. y C. Casenave, 2019, Modelling eutrophication in lake ecosystems: A review: Science of The Total Environment, v. 651, pp. 2985-3001, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.320

Viruela Martínez, R., 1993, Difusió de la pesca del Bou en el litoral de Valencia (Segles XVIII I XIX): Cuadernos de Geografía, n.º 53, pp. 145-161.

Vollenweider, R. A., F. Giovanardi, G. Montanari y A. Rinaldi, 1998, Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index: Environmetrics, v. 9, n.º 3, pp. 329-357, https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3329::AID-ENV3083.0.CO;2-9

Voyer, M., G. Quirk, A. Mcilgorm y K. Azmi, 2018, Shades of blue: what do competing interpretations of the blue economy mean for oceans governance? https://doi.org/10.31230/osf.io/ksq6n

Wagner Menezes, L. y W. Menezes, 2013, Tribunais internacionais: jurisdição e competência: San Pablo, Saraiva, 421 pp.

Walker, T. R., O. Adebambo, M. C. Del Aguila Feijoo, E. Elhaimer, T. Hossain, S. Johnston Edwards, C. E. Morrison, J. Romo, N. Sharma, S. Taylor y S. Zomorodi, 2019, Environmental effects of marine transportation, en CBT-WSAEE (S. E. Sheppard, ed.), World seas: An environmental evaluation, volume III, Ecological issues and environmental

impacts: Londres, Academic Press, pp. 505-530, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9

Waloszek, D., 1991, Zygochlamys patagonica (King & Broderip, 1832), a long "neglected" species from the shelf off the Patagonian coast., en S. E. Shumway y P. A. Sandifer, eds., An international compendium of scallop biology and culture. Selected papers from the VII International Pectinid Workshop, National Shellfisheries Association: The World Aquaculture Society, Parker Coliseum, Louisiana State University, pp. 256-263.

Wan, M., W. Qin, C. Lei, Q. Li, M. Meng, M. Fang, W. Song, J.-H. Chen, F. Tay y L. Niu, 2021, Biomaterials from the sea: Future building blocks for biomedical applications: Bioactive Materials, v. 6, pp. 4255-4285, https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.04.028

Wang, X., Y. Sun, B. Li, G. Zhang, W. Guo, S. Li, S. Jiang, S. Peng y H. Chen, 2023, Reservoir stimulation of marine natural gas hydrate-a review: Energy, v. 263, 126120, https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.126120

Washburn, T. W., E. Simon-Lledó, G. Y. Soong y A. Suzuki, 2023, Seamount mining test provides evidence of ecological impacts beyond deposition.: Current Biology, v. 33, n.º 14, pp. 3065-3071, https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.032

WFO, 2023, Global offshore wind report HY1 2023: Hamburgo, WFO, 14 pp.

White, M. D. y B. P. Mcgrail, 2008, Numerical simulation of methane hydrate production from geologic formations via carbon dioxide injection, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, https://doi.org/10.4043/19458-MS

Whittingham, M., 2006, Will agri-environment schemes deliver substantial biodiversity gain, and if not why not? Journal of Applied Ecology, v. 44, pp. 1-5, https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01263.x

Wilder, J. W., G. J. Moridis, J. W. Scott, M. Kurihara, M. D. White, Y. Masuda, B. J. Anderson, T. S. Collett, R. B. Hunter, H. Narita, M. Pooladi-Darvish, K. Rose y R. Boswell, 2008, An international effort to compare gas hydrate reservoir simulators, en Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, British Columbia, 6-10 de julio, 12 pp.

Will, T. M. y H. E. Frimmel, 2018, Where does a continent prefer to break up? Some lessons from the South Atlantic margins: Gondwana Research, v. 53, pp. 9-19, https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.04.014

Williams, R. y F. Zhao, 2023 Global offshore wind report: Bruselas, 118Global Wind Energy Council, 118 pp.

Wind Europe, 2022, UK awards almost 11 GW in biggest ever national renewables auction, consultado el 1 de diciembre de 2023, https://windeurope.org/newsroom/news/

uk-awards-almost-11-gw-in-biggest-ever-national-renewables-auction/

Wind Europe, 2023, Wind energy in Europe. 2022 statistics and the outlook for 2023-2027: Bruselas, Wind Europe, 58 pp.

Windpowernl, 2023, AmpHytrite offshore wind-to-hydrogen project feasibility study MoU signed, consultado el 25 de julio de 2023, https://windpowernl.com/2022/05/18/amphytrite-offshore-wind-to-hydrogen-project-feasibility-study-mou-signed/

World Economic Forum, 2022, SDG14 financing landscape scan: Tracking funds to realize sustainable outcomes for the ocean. White oaper: Ginebra, World Economic Forum, 27 pp.

World Energy Council, 2023, World energy trilemma index, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index

Worldometer, 2023, Población mundial actual, consultado el 25 de julio de 2023, https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/#:~:text=Población Mundial%3A 8.0 Billones de Personas (2023) - Worldometer

WoRMS Editorial Board, 2024, World Register of Marine Species (WoRMS), https://doi.org/10.14284/170

Wright, J. D., 2015, Oil and gas property evaluation: Golden, CO, Thompson-Wright LLC, 649 pp.

Yentsch, C. S. y D. W. Menzel, 1963, A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence: Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, v. 10, n.º 3, pp. 221-231, https://doi.org/10.1016/0011-7471(63)90358-9

Yrigoyen, M. R., 1975, Geología del subsuelo y la plataforma continental, en VI Congreso Geológico Argentino, pp. 139-168.

Zorrilla Ferrés, M. V., 2016, El régimen legal del STS en Uruguay, en F. Aguirre Ramírez, dir., y M. V. Zorrilla Ferrés, Exploración y explotación de la zona económica exclusiva y la plataforma continental: Montevideo, La Ley Uruguay, pp. 457-482.

Autores (en orden alfabético):

Mónica Ageitos
Rodrigo Alonso
Lucila Arboleya Sarazola
Gianluca Badalini
Marcelo Barreiro
Nazarena Beretta
Natalia Blánquez
Ernesto Brugnoli
Leticia Burone
Gerardo Caetano
Danilo Calliari
Marcela Caporale
Julio Chocca
Daniel Conde
Bruno Conti
Camila De Mello
Héctor de Santa Ana
Omar Defeo
José Domínguez
Luciana Echevarría Fratti
Santiago Ferro
Mónica Fossati
Alberto Gómez
Pablo González Gascón y Marín
Pablo Gristo Savornin
Javier Hernández-Molina
Sebastián Horta
Adam Kirby
Fernanda Maciel
Gastón Manta
Yamandú Marín
Josefina Marmisolle
Carlos Mata Prates
Daniel R. McConnell
Ethel Morales
Rodrigo Mosquera
Pablo Muniz
Rodrigo Novo
Francisco Pedocchi
Fernando Preciozzi
Mariana Ríos
Sara Rodrigues
Pablo Rodríguez
Cecilia Romeu
Pablo Santoro
Sebastián Solari
Matías Soto
Rafael Tejera
Phil Thompson
Juan Tomasini
Romina Trinchín
Nelson Ucha
Natalia Venturini
Gerardo Veroslavsky
Beatriz Yannicelli
María Victoria Zorrilla Ferrés

En esta obra se presenta una síntesis actualizada del conocimiento sobre el territorio marítimo uruguayo, abordando temas diversos que recorren la historia y el derecho, el ambiente físico y biológico, los recursos naturales y su potencial de desarrollo, y una discusión sobre los desafíos y perspectivas que presenta su administración, conservación y aprovechamiento. Está dirigida a un amplio público, que incluye a estudiantes universitarios de grado y posgrado, a profesionales y técnicos que investigan y se desenvuelven en el sector marino, y a tomadores de decisión públicos y privados. Recoge la contribución de investigadores y profesionales pertenecientes a diversas disciplinas, con amplia trayectoria en los temas abordados en el ámbito académico, público y empresarial. El libro está organizado en cuatro secciones temáticas que contienen capítulos sobre áreas de conocimiento específicas. En la primera parte, «Identidad y soberanía», se desarrolla una síntesis sobre la historia, la jurisdicción y el derecho centrados en el espacio geográfico definido en el libro como territorio marítimo uruguayo: su mar territorial y su zona económica exclusiva, más allá de las 200 millas náuticas, así como se describen los trabajos que llevaron a la extensión de la plataforma continental aprobada por las Naciones Unidas. La segunda parte, «Naturaleza», sintetiza buena parte del conocimiento sobre la geomorfología, la geología y la oceanografía física y biológica, así como el ambiente y la biodiversidad marina en este territorio. En la tercera parte, «Recursos», se aborda el potencial del subsuelo y el lecho marino para el petróleo y el gas, los hidratos de gas y los minerales marinos, el desarrollo de recursos marinos renovables y los recursos marinos pesqueros, actuales y potenciales, en el lecho y la columna de agua. La cuarta parte, «Desafíos y oportunidades», comprende el análisis y la discusión sobre el desarrollo y la planificación del territorio marítimo desde la perspectiva de la ingeniería marítima, del sector marítimo y la navegación, de la gestión ambiental de los usos y actividades, de la planificación espacial marina y del rol de este territorio en la transición energética.

ISBN: 978-9915-689-22-7
9 789915 689227