

Tesis para optar por el título de Magíster en Ciencias Biológicas, Subárea
Ecología y Evolución- Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas
(PEDECIBA)

Factores que regulan la dinámica de corto plazo de la pesquería de la almeja amarilla en Uruguay

Lic. Ignacio Gianelli

Orientador: Dr. Omar Defeo

Co-orientador: Dr. Leonardo Ortega

Unidad de Ciencias del Mar

Facultad de Ciencias

Universidad de la República

Tribunal:

Dr. Pablo Inchausti

Dr. Álvaro Carranza

Dr. Angel Segura



Setiembre 2017
Montevideo, Uruguay

*“Empujadas por los vientos submarinos, las olas levantan
murallas de agua, explotan, y emblanquecen hasta
desvanecerse en la orilla. Los restos regresan al lugar de
donde provienen para comenzar de nuevo.
Repetición de la diferencia: todas se parecen pero no hay
dos con la misma forma o tamaño.
Sumidas en la incesante improvisación del mundo cada ola
produce una música diferente: el mar es una máquina sonajera
que nunca repite la misma melodía.
Viene sonando desde el fondo de los tiempos y
sin embargo los músicos improvisan a cada instante”*

Mauricio Bergstein – Páginas de Arena

Agradecimientos

La realización de este trabajo responde al apoyo constante de muchísimas personas que me han acompañado a lo largo de esta etapa. En primer lugar quiero agradecer especialmente a mis compañeros de la Unidad de Ciencias del Mar y del Grupo de Estudios Pesqueros e Impacto Ambiental, Eleonora Celentano, Diego Lercari, Luis Orlando, Taiara Ramos, Anita de Álava, Gastón Martínez, Julio Gómez y Andrés de la Rosa. También agradezco a Fabrizio Scarabino, Angel Segura, Carolina Crisci, Sebastián Horta, Rafael Barboza, Pablo Inchausti, Alvar Carranza, Alberto Piola, Romina Trinchin, Arianna Masello y particularmente a Leonardo Ortega quien, además de ser co-orientador de este trabajo, constantemente aportó su lucidez a lo largo del trabajo. A Hugo Coitiño por su ayuda en la realización del mapa del área de estudio. Me siento eternamente en deuda y enormemente agradecido por el apoyo incondicional, tanto en lo profesional como en lo personal, de Omar Defeo. También quiero agradecer a mi familia y amigos que han sido parte fundamental para hacer de ésta una etapa más que disfrutable. Resta agradecer el apoyo económico para la realización de este trabajo proporcionado por la Agencia Nacional de Innovación e Investigación y por el proyecto "*Variability of ocean ecosystems around South America*" (CRN 3070) financiado por el Inter-American Institute for Global Change, el cual es apoyado por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (Grant GEO-1128040). Finalmente, agradezco a los pescadores de la almeja amarilla de La Coronilla y Barra del Chuy por su hospitalidad y también por transmitir sus conocimientos, inquietudes y sugerencias a lo largo de la realización de mis estudios de grado y posgrado.

Índice

1	Resumen	1
2	Introducción.....	2
2.1	Antecedentes y problema de estudio.....	2
2.2	Objetivos.....	5
2.2.1	Objetivo General	5
2.2.2	Objetivos específicos.....	5
3	Materiales y Métodos	6
3.1	Área de estudio.....	6
3.2	Características de la pesquería de la almeja amarilla.....	7
3.3	Fuentes de información	8
3.4	Análisis estadístico.....	9
4	Resultados.....	13
4.1	Modelación de la ocurrencia/ausencia de actividad pesquera.....	13
4.2	Modelación de la captura diaria acumulada	16
4.3	Modelación de la CPUE de cada evento de pesca	19
5	Discusión	22
5.1	Aspectos generales.....	22
5.2	Condiciones ambientales, normativa y demanda: factores reguladores de la pesquería.....	22
5.3	Atributos de los pescadores como determinantes de la CPUE en la pesquería	26
5.4	Aspectos de modelación: restricciones y potenciales mejoras.....	27
5.5	Implicancias para el manejo de la pesquería de la almeja amarilla.....	30
6	Conclusiones	35
	Referencias.....	36

1 Resumen

El estudio de las variables que subyacen al comportamiento y a las decisiones diarias que afrontan los pescadores antes de cada evento de pesca permite mejorar el entendimiento de la asignación diferencial del esfuerzo en pesquerías de pequeña escala. La flexibilidad y adaptabilidad que presentan los pescadores les permite optar entre áreas de pesca, especies objetivo, artes de pesca, niveles de esfuerzo pesquero e incluso entre decidir si salir a pescar o dedicar su tiempo a otra actividad económica. La teoría micro-económica clásica predice que los pescadores se comportarán como agentes económicos racionales y que por tanto distribuirán su esfuerzo de manera de maximizar sus ganancias optando por la mejor opción de acción. Sin embargo, y principalmente en pesquerías artesanales, es probable que el comportamiento y la toma de decisiones resulten de una compleja combinación de factores, incluyendo condiciones ambientales, oportunidades y restricciones económicas, así como otros factores sociales. La presente tesis tuvo como objetivo identificar los factores que inciden en la regulación de la dinámica de corto plazo en la pesquería de la almeja amarilla en Rocha, Uruguay. Para ello se utilizó información a escala diaria y de cada pescador autorizado a lo largo de cinco temporadas de pesca, derivada de un programa voluntario de colecta de datos. A través del uso de modelos lineales generalizados mixtos, se observó que una mayor probabilidad de ocurrencia de actividad pesquera está ligada a la ubicación temporal del evento de pesca a lo largo de cada temporada y a condiciones de viento norte y noreste en la zona. Asimismo, la presencia de vedas por mareas rojas determinó en gran medida ausencia total de actividad pesquera, observándose un cumplimiento satisfactorio de la normativa vigente durante dichas vedas. Por otra parte, se encontró que un mayor rendimiento pesquero estaría explicado por la prevalencia de condiciones de vientos de componente norte. En este sentido, vientos sur y suroeste generan un aumento transitorio en el nivel de marea, determinando que el acceso a las zonas de extracción se vea obstruido, y por tanto disminuya el rendimiento y los días de pesca. Finalmente, se constató que los niveles de CPUE están dados en mayor parte por las características interanuales de cada temporada de pesca y en menor medida se relacionan con atributos propios de los pescadores (i.e. género y edad) y con la ubicación temporal de cada evento de pesca a lo largo de la temporada. Por último, el nivel de detalle de la información utilizada en este trabajo representa una excepción en el estudio de la dinámica de corto plazo en pesquerías de pequeña escala en general, y en pesquerías intermareales en particular, lo cual le confiere singular relevancia a los resultados de este trabajo.

2 Introducción

2.1 *Antecedentes y problema de estudio*

La dinámica espacio-temporal de flotas pesqueras ha sido principalmente abordada a través de la descripción de los patrones de la asignación del esfuerzo pesquero en el largo plazo (Hilborn 1985; Hilborn & Walters 1992; Hilborn 2007; Branch et al. 2006; van Putten et al. 2011). Sin embargo, estos estudios no capturan cambios rápidos en la asignación del esfuerzo asociados a las decisiones diarias que toman los pescadores, respecto al cuándo, dónde, cuánto y qué especies pescar. Esto es particularmente relevante en pesquerías de pequeña escala, donde la adaptabilidad de los pescadores les permite optar entre áreas de pesca, especies objetivo, artes de pesca e incluso entre decidir salir a pescar o dedicar su tiempo a otra actividad económica (Defeo & Cabrera 2001; Salas & Gaertner 2004; Chollett et al. 2014). El enfoque más utilizado para abordar el estudio de la toma de decisiones en el corto plazo es la micro-económica clásica, particularmente la teoría de elección racional. Ésta postula que los pescadores actuarán como agentes racionales de tal forma de maximizar su ganancia neta, definida como la diferencia entre los beneficios obtenidos de la venta de la captura y los costos incurridos en cada viajes de pesca, incluyendo el costo de oportunidad asociado (van Putten et al. 2011). En este contexto, se asume que los agentes económicos racionales tienen en cuenta la información disponible proveniente de su experiencia pasada, la posibilidad de éxito de cada opción y los potenciales costos y beneficios asociados a una decisión determinada, y por tanto, se comportarán de forma consistente al elegir la mejor opción de acción (Green & Shapiro 1994). Entre los factores potenciales que gobiernan el comportamiento de corto plazo de los pescadores se incluyen las condiciones ambientales inmediatas y de días anteriores, oportunidades y restricciones económicas, así como otros factores sociales y características intrínsecas de las unidades de pesca (Salas & Gaertner 2004; Salas et al. 2004; van Putten et al. 2011; Pfeiffer & Gratz 2016). En este sentido, el conocimiento de los factores que subyacen a las decisiones de los pescadores aporta una perspectiva de la flexibilidad y adaptabilidad de los mismos y permite medidas de manejo acordes a la dinámica de cada pesquería (Fulton et al. 2011).

Muchos de los estudios sobre el proceso de toma de decisiones en pesquerías de pequeña escala se han focalizado en pesquerías tropicales que tienen como objetivo múltiples especies (e.g. Béné & Tewfik 2001; Defeo & Cabrera 2001; Salas et al. 2004; Chollett et al. 2014). Sin embargo, son pocos los trabajos que han analizado la dinámica de corto plazo en pesquerías intermareales dirigidas a invertebrados costeros, y en éstos, el principal objeto de estudio ha sido la asignación espacial diferencial del esfuerzo pesquero (ver Defeo et al. 1991; Seijo & Defeo 1994). En general, dichas pesquerías tienen como objetivo especies de alto valor comercial y representan sistemas abiertos y accesibles para la pesca recreacional y comercial (Castilla & Defeo 2001; Defeo et al. 2016). Muchas veces estas pesquerías involucran bajos costos variables y de capital (e.g. no es necesario el uso de embarcaciones o artes de pesca sofisticadas). Por otra parte, las pesquerías intermareales se desarrollan en una zona de interfase entre la tierra y el mar, por lo cual son extremadamente vulnerables a la variabilidad climática y al régimen de mareas (Castilla & Defeo 2001; Defeo et al. 2013). Estos factores ambientales, además de los socio-económicos, serían los responsables de regular la dinámica de corto plazo en dichos sistemas. En particular, en sistemas micromareales, donde el régimen de mareas astronómicas no juega un rol fundamental, las condiciones climáticas inmediatas y en días previos son determinantes fundamentales de la accesibilidad a los recursos intermareales. La acción del viento, en particular aquellos con dirección hacia la costa (vientos “onshore”), disminuiría la accesibilidad al recurso por parte de los pescadores, afectando así los beneficios económicos derivados de la actividad al restringir el número de días efectivos de pesca (Lopes & Begossi 2011, Defeo et al. 2013; Chollett et al. 2014).

La pesquería de la almeja amarilla (*Mesodesma mactroides*) en la costa atlántica del Uruguay es un ejemplo del tipo de pesquerías intermareales de pequeña escala antes mencionado. Dicha pesquería representa un sistema social-ecológico (SES por su sigla en inglés) complejo afectado por diversos forzantes, tanto intrínsecos como extrínsecos (Gianelli et al. 2015; Defeo et al. 2016). Trabajos previos han sugerido que el efecto conjunto de la variabilidad climática y el incremento en frecuencia y duración de eventos de marea roja han perjudicado de forma significativa la actividad pesquera, particularmente en los últimos años (Defeo et al. 2013; Gianelli 2014; Defeo 2015;

Gianelli et al. 2015). La intensificación y mayor periodicidad de vientos “onshore” (Ortega et al. 2013) provocan un aumento en el ancho de swash (i.e. distancia desde el punto donde colapsa la ola hasta el límite superior del swash en la cara de la playa) y determinan una consecuente disminución en la accesibilidad al recurso, lo cual afectaría el número de días efectivos de pesca y el rendimiento pesquero (Defeo et al. 2013). Concomitantemente, el incremento en frecuencia y duración de eventos de marea roja, los cuales determinan una veda por la autoridad pesquera, ha tenido un fuerte impacto en las últimas temporadas de pesca (Defeo et al. 2013; Gianelli et al. 2015).

Además de las restricciones ambientales, la variabilidad en la demanda del mercado local y en los atributos socio-económicos de las unidades de pesca (pescadores individuales en este estudio) también podría tener un efecto en las decisiones de corto plazo y capacidad productiva de la pesquería. La demanda del mercado por los productos pesqueros es uno de los factores reguladores de corto plazo más importantes de la actividad pesquera en general, y de la pesquería de la almeja amarilla en particular (Gianelli et al. 2015). En este sentido, la ubicación temporal de los eventos pesqueros a lo largo de cada temporada de pesca puede ser un proxy útil que refleje la variación temporal en la demanda por el mercado. Por otra parte, los atributos socio-económicos de los pescadores, tales como la experiencia pesquera, la edad y el género, suelen ser factores relevantes a tener en cuenta al analizar el rendimiento en el corto plazo de un sistema pesquero. Una mayor experiencia en la pesca, la cual está dada por la capacidad de utilizar información sobre la actividad pesquera en días previos, saber cuándo abandonar un área de pesca, y responder de forma concertada a cambios en el ambiente y a las variaciones en disponibilidad del recurso (van Putten et al. 2011), puede contribuir a un mayor rendimiento pesquero en el corto plazo. En pesquerías donde existe una larga tradición pesquera y bajos niveles de tecnología aplicados (Oliveira et al. 2016), como es el caso de la pesquería de la almeja amarilla (Gianelli et al. 2015; de la Rosa 2016), la edad de los pescadores suele ser un buen proxy de la experiencia en la actividad. Por otra parte, en pesquerías donde las mujeres participan directamente de la actividad pesquera, el género del pescador suele ser un determinante fundamental en el rendimiento pesquero, observándose, en general, una mayor captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y capturas totales

para pescadores de género masculino (Kleiber et al. 2013). De este modo, diversos factores potenciales, tanto extrínsecos como intrínsecos al sistema pesquero, estarían jugando un rol importante en el comportamiento de los pescadores y en el rendimiento pesquero de corto plazo, por lo cual se hace necesario hacer foco en el entendimiento de los mismos.

2.2 *Objetivos*

2.2.1 *Objetivo General*

Evaluar la dinámica de corto plazo de la pesquería de la almeja amarilla, identificando los factores que inciden en su regulación.

2.2.2 *Objetivos específicos*

- (i) Describir los factores involucrados en el proceso de toma de decisiones sobre cuándo pescar, en términos de probabilidad de ocurrencia de eventos de pesca.
- (ii) Estimar el efecto de dichos factores en el rendimiento pesquero diario representado por la captura acumulada en cada día de pesca y en la CPUE de cada evento de pesca individual.
- (iii) Evaluar el efecto de atributos socio-económicos de cada pescador en la CPUE de cada evento de pesca individual.

3 Materiales y Métodos

3.1 Área de estudio

Este estudio se desarrolló en la pesquería de pequeña escala de la almeja amarilla en la playa arenosa comprendida entre las localidades de Barra del Chuy y La Coronilla en Rocha, Uruguay (Fig. 1a). Dicha playa se caracteriza por presentar una morfodinámica disipativa, lo cual implica, entre otras cosas, pendiente poco pronunciada, una amplia zona de swash y un tamaño de grano fino (Fig. 1b y 1c; Defeo et al. 1992; Ortega et al. 2013).

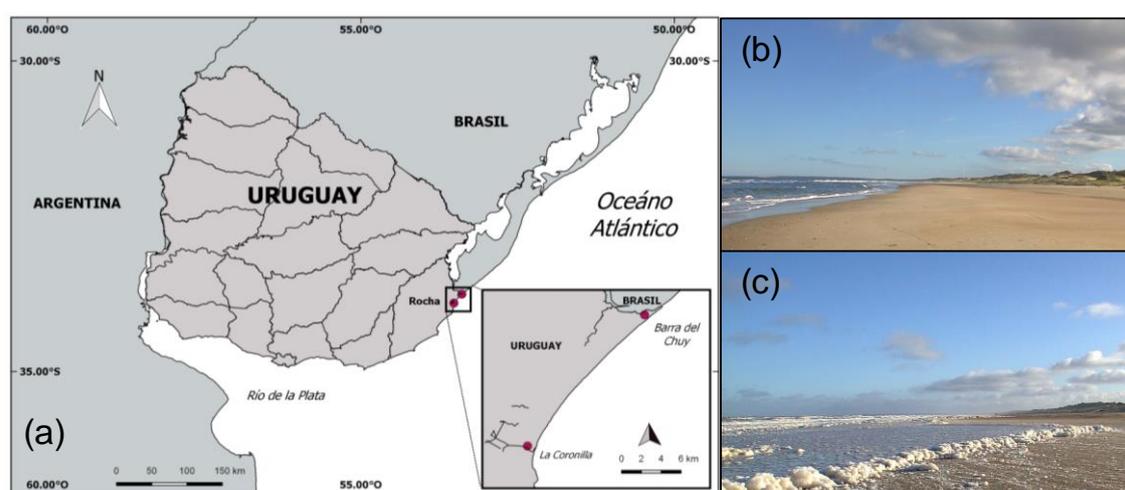


Figura 1. (a) Mapa del área de estudio destacando las localidades de La Coronilla y Barra del Chuy (Rocha), entre las cuales se desarrolla la pesquería de la almeja amarilla. Estados contrastantes de la misma área de playa: (b) condiciones climáticas favorables; y (c) desfavorables para la actividad pesquera. Las fotos pertenecen a la misma zona del área de estudio y fueron tomadas con la misma dirección y perspectiva.

Durante el periodo comprendido dentro de las temporadas de pesca (meses estivales), el área de estudio se encuentra dominada por vientos de componente noreste y norte (Fig. 2). Sin embargo, los vientos fuertes de componente sur y sureste tienen un fuerte impacto en las características morfodinámicas de esta playa oceánica expuesta (Fig. 1c; Ortega et al. 2013).

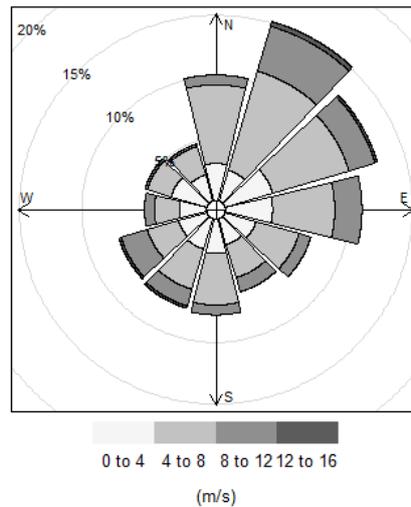


Figura 2. Velocidad (m/s) y dirección del viento expresado como proporción de las frecuencias de las medidas para los periodos noviembre-marzo (i.e. meses en los cuales se desarrolla la temporada de pesca de la almeja amarilla) de los años considerados en el estudio (2010/2011-2014/2015). Los datos fueron tomados a nivel del mar considerando una grilla comprendida por las coordenadas 32.5 S°-37.5 S°; 55.0 W°-50.0 W° (IRI/LDEO Climate Data Library; <http://iridl.ldeo.columbia.edu>).

3.2 Características de la pesquería de la almeja amarilla

La almeja amarilla es extraída del intermareal arenoso a través del uso de palas y recolección manual por 36 usuarios, de los cuales 22 son pescadores hombres y 14 son mujeres (datos para la temporada de pesca 2014/2015). A partir del año 2009 se adoptó un enfoque ecosistémico pesquero aunado a un esquema de gobernanza participativo (i.e. co-manejo consultivo: Gianelli et al. 2015). Actualmente existen diversas herramientas de manejo con el fin de ordenar la pesquería, incluyendo: (i) temporada de pesca acotada en el tiempo (noviembre-marzo); (ii) número restringido de permisos de pesca priorizando a aquellos pescadores con mayor experiencia en la actividad; (iii) establecimiento de una captura total permisible (CTP) por temporada estimada a través de evaluaciones independientes de la pesquería; (iv) cuotas individuales no transferibles basadas en la repartición equitativa de la CTP; (v) esquema de zonificación que incluye la restricción de la actividad pesquera en zonas cercanas a los balnearios de Barra del Chuy y La Coronilla; y (vi) talla mínima de captura (>50 mm). La temporada de pesca se desarrolla en verano, cuando la demanda por este producto en el mercado local es mayor. Una vez extraído el recurso, la mayor parte de la captura es destinada a una planta de procesamiento certificada y luego es comercializada para el

mercado gastronómico en los principales balnearios de la costa este del Uruguay (Gianelli et al. 2015).

3.3 Fuentes de información

La información respecto a la actividad pesquera de corto plazo se obtuvo a partir de un programa voluntario de colecta de datos establecido entre la comunidad de pescadores de la almeja amarilla, la Unidad de Ciencias del Mar (Facultad de Ciencias), y la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA: Gianelli et al. 2015). Este programa, el cual comenzó en la temporada de pesca 2010/2011 y se ha llevado a cabo de forma ininterrumpida hasta la actualidad, consiste en el registro, por parte de cada pescador autorizado, de la actividad asociada a cada evento de pesca en cuadernos de pesca individuales. En éstos se registra la fecha, captura, horas de pesca (esfuerzo pesquero), sitio específico de cada evento de pesca, precio de venta a intermediario y destino final de la captura. En cada temporada todos los pescadores con permisos de pesca han participado en este programa de colecta de datos, confiriéndole una importante solidez a la información utilizada para este trabajo. En base a esta información, se utilizaron datos de presencia/ausencia de actividad pesquera para 502 días comprendidos entre cinco temporadas de pesca y del rendimiento pesquero para 769 viajes de pesca reportados a nivel individual. La información con respecto a los atributos socio-económicos de los pescadores (i.e. género y edad) fue proporcionada por la DINARA y constatada en de la Rosa (2016).

La información climática en relación a dirección y velocidad de vientos se obtuvo de la librería de datos climáticos de libre acceso proporcionada por el International Research Institute for Climate Prediction (IRI/LDEO Climate Data Library; <http://iridl.ldeo.columbia.edu>). La escala espacio-temporal de los datos de viento fue de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ a nivel diario y a una presión de 1000 mb. Se consideró una pequeña área del Atlántico Sudoccidental comprendida por las coordenadas $32.5^{\circ} \text{ S}-37.5^{\circ} \text{ S}$; $55.0^{\circ} \text{ W}-50.0^{\circ} \text{ W}$. Dentro de esta área se promedió el valor de nueve puntos fijos [(1) $55.0^{\circ} \text{ W}-32.5^{\circ} \text{ S}$; (2) $52.5^{\circ} \text{ W}-32.5^{\circ} \text{ S}$; (3) $50.0^{\circ} \text{ W}-32.5^{\circ} \text{ S}$; (4) $55.0^{\circ} \text{ W}-35.0^{\circ} \text{ S}$; (5) $52.5^{\circ} \text{ W}-35.0^{\circ} \text{ S}$; (6) $50.0^{\circ} \text{ W}-35.0^{\circ} \text{ S}$; (7) $55.0^{\circ} \text{ W}-37.5^{\circ} \text{ S}$; (8) $52.5^{\circ} \text{ W}-37.5^{\circ} \text{ S}$; y (9) $50.0^{\circ} \text{ W}-37.5^{\circ} \text{ S}$] para los

que existe información climática disponible a nivel diario. Para los propósitos del estudio se trabajó con el viento separado por sus componentes meridionales (v) y zonales (u). En ambas componentes, la intensidad del viento está dada por el módulo de cada vector, mientras que la dirección del viento en cada eje está dada por el signo de las observaciones. En el caso del viento meridional, observaciones con signo negativo implican vientos de componente norte (“offshore”), mientras que observaciones con signo positivo implican vientos de componente sur (“onshore”). En el caso del viento zonal, observaciones con signo negativo implican vientos de componente este, mientras que observaciones con signo positivo implican vientos de componente oeste. Por último, la información sobre la presencia/ausencia y duración de vedas por marea roja para el periodo de análisis fue extraída de las resoluciones oficiales de la DINARA.

3.4 *Análisis estadístico*

Se utilizaron modelos lineales generalizados mixtos (GLMM por su sigla en inglés) para evaluar el efecto relativo de las variables contextuales de corto plazo en las distintas variables de respuesta consideradas en el estudio (Bolker et al. 2008; Zuur et al. 2009). Los modelos mixtos permiten dar cuenta de una posible correlación estructural presente en la base de datos y varianzas no constante en la actividad pesquera entre cada una de las temporadas de pesca comprendidas en el análisis (Venables & Ripley 2004). Estos modelos también son útiles para considerar un rango amplio de variables de respuesta y predictoras, así como la interrelación entre ambas (Zuur et al. 2009). En primer lugar, se ajustó un GLMM binomial para evaluar la probabilidad de ocurrencia de actividad pesquera para un día dado¹ (1=ocurrencia de actividad pesquera; 0=ausencia de actividad pesquera). Posteriormente, se ajustó un GLMM para evaluar el rendimiento pesquero diario, representado por la captura acumulada expresada en kg entre todos los pescadores que tuvieron actividad pesquera para un día dado. Por último, se ajustó un GLMM para evaluar la CPUE de cada evento de pesca individual, expresada en kg por hora por pescador. En estos dos últimos casos se transformó la variable de respuesta (logaritmo natural). Los GLMM fueron ajustados como modelos con interceptos aleatorios con la temporada de pesca como factor de

¹El criterio para definir un evento de pesca es que al menos dos pescadores registren en su cuaderno de pesca que realizaron actividades pesqueras un día dado.

agrupamiento y distribución: (i) binomial (función del enlace “logit”) en el caso del GLMM que evalúa la ocurrencia de inactividad pesquera para un día dado; y (ii) gaussiana (función de enlace canónica) para los GLMM que evalúan el rendimiento pesquero diario en términos de captura acumulada y en la CPUE de cada evento de pesca individual. Se incluyó la temporada de pesca como intercepto aleatorio, dado que esta variable engloba una diversidad de efectos distales interanuales que no es de interés cuantificar *per se* (e.g. abundancia y demanda interanual del recurso, efectos climáticos anuales), pero sí son importantes de considerar en la dinámica de corto plazo.

Las potenciales variables explicativas incluidas en los modelos se seleccionaron con el fin de representar las condiciones ambientales de corto plazo, dadas principalmente por la intensidad y dirección del viento, y aquellas características del sistema pesquero consideradas como factores determinantes en la actividad (ver Tabla S1 en Material Suplementario). Esta selección se realizó en función del conocimiento previo del sistema (Defeo et al. 2013; Gianelli et al. 2015) y de testimonios proporcionados por los propios pescadores (de la Rosa 2016). Para modelar la dinámica de corto plazo y el comportamiento de los pescadores no se tuvo en cuenta variables económicas (e.g. retornos esperados por viaje de pesca), dado que el precio unitario de la captura es fijado entre los pescadores antes de cada temporada de pesca y no varía dentro de la temporada (ver más detalles en Gianelli et al. 2015).

La correlación entre variables predictoras fue explorada utilizando plots bivariados y el coeficiente de correlación pareado de Spearman. Un coeficiente de Spearman mayor a 0.5 se consideró evidencia de alta colinealidad (Zuur et al. 2009). La CPUE y la captura del día anterior mostraron una alta correlación, por lo que sólo la última de estas dos variables fue incluida en la etapa de modelación. La multicolinealidad fue analizada usando el factor de inflación de la varianza (VIF por su sigla en inglés) del paquete “car” del software R. Valores de $VIF > 4$ se consideraron como evidencia de multicolinealidad entre variables.

Se plantearon tres grupos de modelos que representan hipótesis alternativas con respecto al efecto de las condiciones ambientales de corto plazo, dadas por la dirección e intensidad de viento.

Las demás variables, tales como veda por marea roja, día de la semana, día desde el inicio de la temporada (incluida en los modelos como un polinomio de segundo orden, dado que se espera un pico de demanda disminuyendo en días adyacentes), se incluyeron en los tres grupos de modelos y fueron excluidas de a una con el fin de obtener un ajuste óptimo siguiendo el criterio de información de Akaike (Akaike Information Criterion: AIC por su sigla en inglés). El primer grupo de modelos representó las condiciones de viento durante el día puntual en que se evalúa la actividad pesquera. El segundo grupo de modelos representó las condiciones de viento durante el día anterior al día que se evalúa la actividad (retardo temporal de un día). Por último, el tercer grupo de modelos representó las condiciones de viento acumuladas durante el día puntual y durante el día anterior al día que se evalúa la actividad pesquera.

Para modelar la CPUE de cada evento particular, se incluyó el género y la edad de cada pescador, así como la interacción entre estos factores, como atributos que podrían dar cuenta de la variabilidad observada en la variable dependiente. La variable “edad” fue incluida en los modelos como un polinomio de segundo orden, dado que se espera que exista una edad de los pescadores óptima con respecto al rendimiento pesquero, disminuyendo para valores adyacentes a lo largo del rango etario. El género de los pescadores se incluyó como una variable categórica con dos niveles (i.e. hombres, mujeres). Finalmente, para la modelación de la CPUE se consideró un grupo adicional de modelos que no incluyó las condiciones de viento como variables predictoras.

Se adoptó un enfoque basado en la teoría de información para la selección de los modelos alternativos (Burnham & Anderson 2002). Éstos fueron clasificados jerárquicamente a través de su AIC y su respectivo peso de Akaike (w_i), definido como la verosimilitud relativa de cada modelo comparado con los restantes modelos ajustados al mismo set de datos (Johnson & Omland 2004; Bolker et al. 2009; Zuur et al. 2009). El valor de w_i para un modelo i se calculó usando la fórmula $w_i = \exp(-0.5 * \Delta AIC) / \sum_{r=1}^R \exp(-0.5 * \Delta AIC)$, donde w_i es el peso del modelo i , ΔAIC es la diferencia en AIC del modelo i y el modelo óptimo (i.e. modelo con menor AIC), y el denominador es la suma de las verosimilitudes relativas de todos los modelos ajustados al mismo set de datos

(Burnham & Anderson 2002). El modelo con mayor w representó el mejor modelo dado el set de modelos ajustados a los mismos datos.

Los parámetros de los modelos ajustados fueron estimados por máxima verosimilitud (aproximación de Laplace) usando el paquete “lme4” (Bates et al. 2015) del software R versión 3.2.2 (R Development Core Team 2013). En el caso de los GLMM con distribución gaussiana se utilizó la aproximación de Satterthwaite para estimar los grados de libertad en el cálculo de los parámetros y así obtener los errores estándares y la significancia estadística de cada efecto fijo (Bolker et al. 2009). La Tabla S1 proporciona un resumen y descripción de los efectos fijos considerados en los distintos modelos ajustados. Los modelos finales (modelos con menor AIC y mayor w entre el set de modelos competidores) fueron evaluados a través de: (i) la simulación iterativa de residuos estandarizados en el caso del GLMM binomial; y (ii) la normalidad y heterocedasticidad de los residuos en el caso de los GLMM gaussianos. Para analizar los efectos de distintas temporadas de pesca, se estimaron los mejores predictores lineales insesgados (*best lineal unbiased predictors*: BLUPs por su sigla en inglés), los cuales miden el efecto de los residuos asociado a cada nivel del efecto aleatorio. Los BLUPs pueden ser conceptualizados como el equivalente de los coeficientes lineales estimados para las variables predictoras (los BLUPs no son parámetros estrictamente hablando: Robinson 1991). Los BLUPs fueron evaluados en todos los modelos finales con el fin de verificar si existió una marcada variabilidad entre los distintos niveles de las temporadas de pesca. Finalmente, se estimó el R^2 marginal (i.e. la devianza explicada por los efectos fijos) y el R^2 condicional (i.e. devianza explicada por los efectos fijos y aleatorios) a través del paquete MuMIn del software R (Nakagawa & Schielzeth 2013; Barton 2014).

4 Resultados

4.1 Modelación de la ocurrencia/ausencia de actividad pesquera

Bajo el criterio de que al menos dos pescadores registrasen en su cuaderno de pesca que realizaron actividades pesqueras para un día dado, se observó un total 196 días de pesca (39% del total de días) para las cinco temporadas consideradas en el estudio, que dieron cuenta del 91% de las capturas (el restante 9% lo aportaron eventos de pesca por parte de un solo pescador). Complementariamente, existieron 306 días (61%) de ausencia de actividad pesquera bajo este criterio.

Dentro de las hipótesis alternativas planteadas, sólo los modelos que representaron las condiciones de viento del día puntual en que hubo actividad pesquera y las condiciones de viento acumuladas, tuvieron un adecuado soporte empírico (Tabla 1). Con respecto al grupo de modelos que representaron las condiciones de viento durante el día anterior, se concluyó, dados sus valores de AIC y w , que es improbable que cualquier modelo de este grupo fuera adecuado para evaluar la ocurrencia/ausencia de actividad pesquera para un día dado (Tabla 1).

Tabla 1. Serie de modelos planteados que representan hipótesis alternativas para evaluar la ocurrencia/ausencia de eventos de pesca en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. AIC: criterio de información de Akaike; Δ AIC; variación en AIC con respecto al modelo con menor AIC; w : peso de Akaike. Los dos modelos con mayor soporte empírico se destacan en negrita.

Tipo de modelo	Estructura de los efectos fijos	AIC	Δ AIC	w
Puntual	vie_mer + vie_zon + m_roja + poli(dia_temp,2) + dia	594.96	8.92	0.00
	vie_mer + vie_zon + m_roja + poli(dia_temp,2)	586.15	0.11	0.28
	vie_mer + m_roja + poli(dia_temp,2)	588.06	2.02	0.11
	vie_zon + m_roja + poli(dia_temp,2)	589.93	3.89	0.04
Anterior	vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + m_roja + poli(dia_temp,2) + dia	600.28	14.24	0.00
	vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + m_roja + poli(dia_temp,2)	591.36	5.33	0.02
	vie_mer_t1 + m_roja + poli(dia_temp,2)	596.54	10.50	0.00
	vie_zon_t1 + m_roja + poli(dia_temp,2)	589.51	3.47	0.05
Acumulado	vie_mer_cum + vie_zon_cum + m_roja + poli(dia_temp,2) + dia	595.24	9.20	0.00
	vie_mer_cum + vie_zon_cum + m_roja + poli(dia_temp,2)	586.03	0.00	0.30
	vie_mer_cum + m_roja + poli(dia_temp,2)	590.84	4.80	0.03
	vie_zon_cum + m_roja + poli(dia_temp,2)	587.22	1.19	0.16

Notación: Viento meridional: vie_mer; Viento meridional el día anterior: vie_mer_t1; Viento meridional acumulado: vie_mer_cum; Viento zonal: vie_zon; Viento zonal el día anterior: vie_zon_t1; Viento zonal acumulado: vie_zon_cum; Marea roja: m_roja; Día desde el inicio de la temporada de pesca: dia_temp; Día de la semana: dia.

Al considerar todo el grupo de modelos potenciales se observó que no existió evidencia clara de la verosimilitud relativa (i.e. w más alto < 0.9) de un modelo con respecto a los demás modelos competidores (Tabla 2). Los modelos clasificados jerárquicamente por AIC y w mostraron

que el GLMM final alcanzó un AIC de 586.03 y un w de 0.30 (i.e. este modelo fue la mejor hipótesis dados los datos y modelos planteados: Tabla 2). Sin embargo, el ΔAIC y el w entre el primer y segundo modelo evidenció que ambos modelos fueron casi igual de adecuados (Tabla 2). Por lo tanto, se optó por el modelo subóptimo, dada su mayor facilidad en la interpretación de la relación entre las variables predictoras y la ocurrencia de días de pesca. Dicho modelo incluyó la temporada de pesca como intercepto aleatorio y como variables predictoras a la existencia o no de veda por marea roja, el día desde el inicio de la temporada de pesca y al viento meridional y zonal del día puntal en el que se evalúa la actividad pesquera. Todas las variables retenidas en dicho modelo fueron significativas a un nivel de significancia del 0.05.

Tabla 2. Clasificación jerárquica, según AIC y w , del mejor conjunto de modelos de la ocurrencia/ausencia de días efectivos de pesca en la pesquería de almeja amarilla de Uruguay.

Modelo	Variables predictoras	AIC	ΔAIC	w
1	vie_mer_cum + vie_zon_cum + m_roja + poli(día_temp,2)	586.03	-	0.30
2	vie_mer + vie_zon + m_roja + poli(día_temp,2)	586.15	0.11	0.28
3	vie_zon_cum + m_roja + poli(día_temp,2)	587.22	1.19	0.16
4	vie_mer + m_roja + poli(día_temp,2)	588.06	2.02	0.11

Notación: Viento meridional: vie_mer; Viento meridional acumulado: vie_mer_cum; Viento zonal: vie_zon; Viento zonal acumulado: vie_zon_cum; Marea roja: m_roja; Día desde el inicio de la temporada de pesca: día_temp.

La Tabla 3 muestra los parámetros estimados del modelo más parsimonioso en términos de interpretabilidad de variables predictoras, valores de AIC y w .

Tabla 3. Modelo lineal generalizado mixto que relaciona la probabilidad de ocurrencia de eventos de pesca en la pesquería de almeja amarilla de Uruguay, con las condiciones ambientales de corto plazo y demás variables contextuales. Se toma como nivel de referencia la ausencia de veda por marea roja. ***<0.001; *<0.05.

Predictor	Parámetro estimado	Error estándar	I.C. 95%	p-valor
Veda por marea roja	-2.317	0.438	[-3.256; -1.514]	<0.001 ***
Día desde el inicio de la temporada	-9.152	2.524	[-14.196; -4.266]	<0.001 ***
Día desde el inicio de la temporada2	-6.787	2.639	[-12.047; -1.679]	<0.05 *
Viento meridional	-0.060	0.025	[-0.109; -0.011]	<0.05 *
Viento zonal	-0.054	0.027	[-0.108; -0.001]	<0.05 *
Intercepto	-0.285	0.191	[-0.738; 0.184]	<0.10

Los resultados de este modelo muestran que la probabilidad de que ocurran eventos de pesca disminuyó de forma marcada en presencia de la veda establecida por marea roja (Fig. 3a). Sin embargo, se observó que, a pesar de la presencia de dichas vedas, la probabilidad de que exista actividad pesquera no fue totalmente despreciable. Esto indica un cierto incumplimiento de la normativa vigente en el caso de veda por marea roja. Por otra parte, se observó un patrón de joroba

(“*hump-shaped*”) en la probabilidad de observar eventos de pesca en función del día desde el inicio de cada temporada de pesca (Fig. 3b). En este contexto, existió un claro aumento en la probabilidad de observar eventos de pesca desde noviembre (día 0-15) hasta alcanzar un máximo en los primeros días de enero (comienzo de enero correspondiente al día 47), disminuyendo hacia marzo donde alcanzó valores mínimos (día 106-137; Fig. 3b). Finalmente, se observó una disminución en la probabilidad de observar un evento de pesca para un día dado conforme aumentó la intensidad del viento meridional de componente sur y del viento zonal de componente oeste (Figs. 3c y 3d, respectivamente). Esto implica que vientos de componente norte, este y noreste determinan condiciones más favorables para la actividad, mientras que vientos de componente sur, oeste y suroeste serían factores limitantes para el normal desarrollo de la actividad pesquera en el corto plazo.

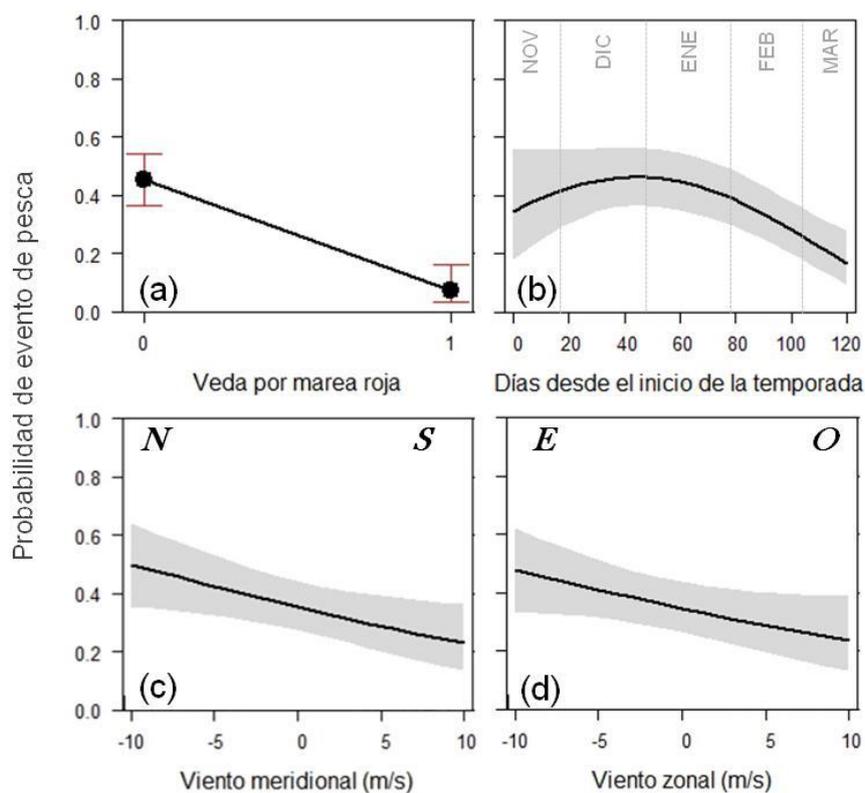


Figura 3. Modelo lineal generalizado mixto relacionando la probabilidad de ocurrencia de eventos de pesca con predictores ambientales, de demanda y normativos en la pesquería de almeja amarilla de Uruguay. Se muestran los efectos parciales de la presencia de: (a) veda por marea roja; (b) día desde el inicio de la temporada de pesca; (c) el viento meridional; y (d) viento zonal. Las barras rojas en (a) y el área gris en (b), (c) y (d) indican el intervalo de confianza al 95%. En (c) y (d) se muestran los vientos predominantes en cada área de la gráfica (N: norte; S: sur; E: este; O: oeste).

El GLMM obtenido presentó un R^2 marginal (i.e. devianza explicada sólo por los efectos fijos) de 0.25 y un R^2 condicional (i.e. devianza explicada por efectos fijos y aleatorios) de 0.27. La inclusión de la estructura aleatoria en el modelo no determinó una mejora importante en el ajuste del mismo (el efecto aleatorio solo aumentó la devianza explicada por el modelo en un 2%). Los métodos diagnósticos para estimar la verosimilitud y el cumplimiento de los supuestos del mejor GLMM ajustado, a través del enfoque basado en simulaciones, así como el análisis de los efectos temporales de los residuos asociados a cada nivel del efecto aleatorio, mostraron una correcta adecuación de dicho modelo al set de datos (ver en Material Suplementario Fig. S1, S2 y S3).

4.2 *Modelación de la captura diaria acumulada*

Para evaluar la captura diaria acumulada entre todos los pescadores se consideró el subset de datos ($n=196$) de los días en los cuales efectivamente se observaron eventos de pesca para todas las temporadas de pesca en su conjunto. Los valores más frecuentes de captura diaria acumulada se encontraron entre 45 y 120 kg/día (primer y tercer cuartil respectivamente), siendo los eventos de pesca de aproximadamente 80 kg/día los más recurrentes. El mínimo de captura observado fue de 10 kg/día, mientras que no se observaron eventos de pesca de más de 440 kg/día para todas las temporadas de pesca comprendidas en el análisis.

Dentro de las hipótesis alternativas planteadas, sólo los modelos que relacionaron las condiciones ambientales del día puntual con la captura diaria acumulada fueron adecuados, dado el set de datos (Tabla 4). Las restantes hipótesis alternativas con respecto a las condiciones de viento (i.e. anterior y acumulado) no tuvieron ningún soporte empírico (Tabla 4).

Tabla 4. Serie de modelos planteados que representan hipótesis alternativas para evaluar la captura diaria acumulada entre todos los pescadores activos en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. AIC: criterio de información de Akaike; Δ AIC; variación en AIC con respecto al modelo con menor AIC; w : peso de Akaike. El modelo con mayor soporte empírico se destaca en negrita.

Tipo de modelo	Estructura de los efectos fijos	AIC	Δ AIC	w
Puntual	vie_mer + vie_zon + poli(dia_temp,2) + capt_t1 + dia	430.04	8.48	0.01
	vie_mer + vie_zon + poli(dia_temp,2) + capt_t1	427.11	5.55	0.03
	vie_mer + vie_zon + poli(dia_temp,2)	425.30	3.72	0.07
	vie_mer + poli(dia_temp,2)	423.66	2.11	0.15
	vie_zon + poli(dia_temp,2)	431.18	9.63	0.00
	vie_mer + vie_zon	423.14	1.58	0.20
	vie_mer	421.56	0.00	0.44
	vie_zon	429.93	8.37	0.01
Anterior	vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + poli(dia_temp,2) + capt_t1 + dia	436.69	15.13	0.00
	vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + poli(dia_temp,2) + capt_t1	432.73	11.17	0.00
	vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + poli(dia_temp,2)	431.33	9.76	0.00
	vie_mer_t1 + poli(dia_temp,2)	431.01	9.45	0.00
	vie_zon_t1 + poli(dia_temp,2)	429.76	8.21	0.01
	vie_mer_t1 + vie_zon_t1	430.00	8.44	0.01
	vie_mer_t1	429.77	8.21	0.01
	vie_zon_t1	428.43	6.87	0.01
Acumulado	vie_mer_cum + vie_zon_cum + poli(dia_temp,2) + capt_t1 + dia	436.06	14.50	0.00
	vie_mer_cum + vie_zon_cum + poli(dia_temp,2) + capt_t1	432.77	11.21	0.00
	vie_mer_cum + vie_zon_cum + poli(dia_temp,2) + dia	434.51	12.94	0.00
	vie_mer_cum + vie_zon_cum + poli(dia_temp,2)	430.94	9.38	0.00
	vie_mer_cum + poli(dia_temp,2)	429.12	7.56	0.01
	vie_zon_cum + poli(dia_temp,2)	430.65	9.09	0.00
	vie_mer_cum + vie_zon_cum	429.36	7.80	0.01
	vie_mer_cum	427.54	5.98	0.02
vie_zon_cum	429.37	7.81	0.01	

Notación: Viento meridional: vie_mer; Viento meridional el día anterior: vie_mer_t1; Viento meridional acumulado: vie_mer_cum; Viento zonal: vie_zon; Viento zonal el día anterior: vie_zon_t1; Viento zonal acumulado: vie_zon_cum; Marea roja: m_roja; Día desde el inicio de la temporada de pesca: dia_temp; Captura del día anterior: capt_t1; Día de la semana: dia.

No existió evidencia clara de la verosimilitud relativa de un modelo con respecto a los demás modelos competidores (i.e. w más alto < 0.9; Tabla 4). Sin embargo, el modelo con menor AIC y mayor w correspondió a un modelo anidado de los demás modelos competidores (Tabla 5). Diversos test de cociente de verosimilitud (“*likelihood ratio tests*”; e.g. modelo 1 vs. modelo 2) entre modelos anidados permitieron concluir que los modelos más complejos no difirieron significativamente del modelo más simple. De este modo, siguiendo el criterio de parsimonia se retuvo el modelo que incluyó al viento meridional como única variable explicativa y la temporada de pesca como intercepto aleatorio.

Tabla 5. Clasificación jerárquica, según AIC y w , de los cuatro mejores modelos de la captura diaria acumulada entre todos los pescadores activos en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. AIC: criterio de información de Akaike; Δ AIC; variación en AIC con respecto al modelo con menor AIC; w : peso de Akaike.

Modelo	Estructura de los efectos fijos	AIC	Δ AIC	w
1	vie_mer	421.56	0.00	0.44
2	vie_mer + vie_zon	423.14	1.58	0.20
3	vie_mer + poli(dia_temp,2)	423.66	2.11	0.15
4	vie_mer + vie_zon + poli(dia_temp,2)	425.30	3.72	0.07

Notación: Viento meridional: vie_mer; Viento zonal: vie_zon; Día desde el inicio de la temporada de pesca: dia_temp.

La Tabla 6 muestra los parámetros estimados del modelo con menor valor de AIC, mayor valor de w y más parsimonioso con respecto a la cantidad de variables predictoras.

Tabla 6. Modelo lineal generalizado mixto que relaciona el logaritmo de la captura diaria acumulada con las condiciones ambientales de corto plazo en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. La significancia estadística de los parámetros fue evaluada a través de la aproximación de Satterthwaite. ***<0.001; **<0.01.

Predictor	Parámetro estimado	Error estándar	I.C. 95%	p-valor
Viento meridional	-0.034	0.012	[-0.056; -0.011]	0.004**
Intercepto	4.225	0.133	[3.904; 4.540]	<0.001***

Los resultados de este modelo mostraron una marcada disminución en la captura diaria acumulada entre todos los pescadores conforme aumentó el viento meridional con dirección sur-norte (Fig. 4). Esto implica que vientos de componente norte determinarían condiciones favorables para un mayor rendimiento pesquero, mientras que vientos de componente sur serían un factor limitante del rendimiento a escala diaria (Fig. 4).

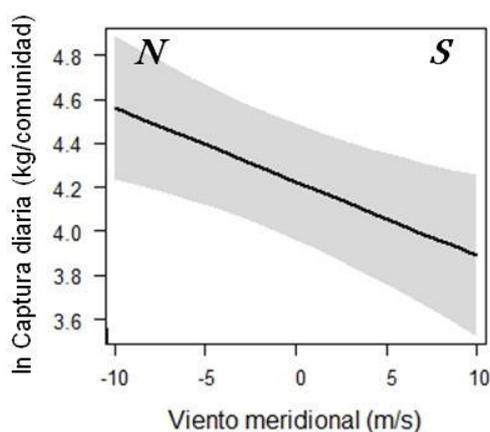


Figura 4. Modelo lineal generalizado mixto relacionando el logaritmo natural de la captura diaria acumulada con el viento meridional en la pesquería de almeja amarilla de Uruguay. El área gris indica el intervalo de confianza al 95%. Se muestran los vientos predominantes en cada área de la gráfica (N: norte; S: sur).

El GLMM obtenido presentó un R^2 marginal de 0.04 y un R^2 condicional de 0.17. La inclusión de la temporada de pesca como estructura aleatoria en el modelo determinó una mejora en el ajuste del mismo (el efecto aleatorio aumentó la devianza explicada por el modelo en un 13%). Los gráficos de diagnóstico del modelo (normalidad y heterocedasticidad de los residuos), así como el análisis de los efectos temporales de los residuos asociados a cada nivel del efecto aleatorio, indicaron una correcta adecuación del modelo final al set de datos (ver Figs. S4, S5 y S6 en Material Suplementario).

4.3 Modelación de la CPUE de cada evento de pesca

Para evaluar la relación entre la CPUE y las variables explicativas de corto plazo se consideraron los eventos de pesca individuales registrados por cada pescadores en todas las temporadas de pesca en su conjunto ($n=769$). Los valores más frecuentes de CPUE se encontraron entre 3 y 10 kg/hora/pescador (primer y tercer cuartil respectivamente), observándose una tendencia bimodal con picos en 4 y 10 kg/hora/pescador. El mínimo de CPUE observado fue de 0.4 kg/hora/pescador, mientras que no se observaron valores de CPUE mayores a 27 kg/hora/pescador para todas las temporadas de pesca analizadas en su conjunto. De la totalidad de datos utilizados para modelar la CPUE, el 60.2% correspondió a eventos de pesca reportados por hombres ($CPUE_{media} \pm \text{error estándar} = 8.6 \pm 0.25$ kg/hora/pescador), mientras que el restante 39.8% fue reportado por mujeres ($CPUE_{media} \pm \text{error estándar} = 5.5 \pm 0.23$ kg/hora/pescador).

La clasificación jerárquica de los GLMM ajustados para evaluar la CPUE de cada evento de pesca mostró que el modelo con mayor soporte empírico alcanzó un AIC de 1335.26 y un w de 0.87. Esto último sugiere que dicho modelo es el más verosímil dado el set de modelos ajustados a los datos. Este modelo incluyó como variables predictoras a la interacción del género y la edad (este último ajustado como un polinomio de segundo orden) y el día desde el inicio de la temporada de pesca (también ajustado como un polinomio de segundo orden: Tabla 7).

Tabla 7. Serie de modelos planteados que representan hipótesis alternativas para evaluar la CPUE de cada evento de pesca en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. AIC: criterio de información de Akaike; ΔAIC : variación en AIC con respecto al modelo con menor AIC; w : peso de Akaike. El modelo con mayor soporte empírico se destaca en negrita.

Tipo de modelo	Estructura de los efectos fijos	AIC	ΔAIC	w
Puntual	$vie_mer + vie_zon + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1350.91	15.65	0.00
	$vie_mer + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1340.56	5.33	0.06
	$vie_zon + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1345.31	10.05	0.01
Anterior	$vie_mer_t1 + vie_zon_t1 + poly(edad,2) * genero + poly(dia_temp,2)$	1353.66	18.40	0.00
	$vie_mer_t1 + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1344.08	8.82	0.01
	$vie_zon_t1 + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1344.31	9.05	0.01
Acumulado	$vie_mer_cum + vie_zon_cum + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1353.19	17.93	0.00
	$vie_mer_cum + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1341.87	6.62	0.03
	$vie_zon_cum + poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1345.78	10.53	0.00
No considera vientos	$edad * genero$	1373.96	38.71	0.00
	$poli(edad,2) * genero$	1347.25	11.99	0.00
	$poli(edad,2) * genero + poli(dia_temp,2)$	1335.26	0.00	0.87
	$poli(edad,2) * genero + dia_temp$	1353.63	18.37	0.00

Notación: Viento meridional: vie_mer ; Viento meridional en el día anterior: vie_mer_t1 ; Viento meridional acumulado: vie_mer_cum ; Viento zonal: vie_zon ; Viento zonal en el día anterior: vie_zon_t1 ; Viento zonal acumulado: vie_zon_cum ; Edad del pescador: $edad$; Género del pescador: $genero$; Día desde el inicio de la temporada de pesca: dia_temp .

La Tabla 8 muestra los parámetros estimados del modelo más verosímil dado su valor de AIC y w . La visualización gráfica del modelo mostró que la CPUE decreció exponencialmente en función de los días desde el comienzo de la temporada de pesca, estabilizándose en una media cercana a los 6 kg/hora/pescador a partir de los 50 días de dicho comienzo (Fig. 5a). Por otra parte, la interacción del género y edad de los pescadores fue un importante determinante en la explicación de la CPUE de cada evento de pesca. El análisis disgregado por género mostró que las mujeres presentaron valores de CPUE sistemáticamente menores a los de los hombres a lo largo de todo el rango etario. Al considerar el efecto conjunto de la edad y el género se observó que las mujeres mostraron un patrón de joroba en la CPUE en función de su edad, con valores más altos entre los 30-40 años (Fig. 5c), mientras que los hombres mostraron un aumento sostenido de la CPUE con la edad, en especial después de los 40 años aproximadamente (Fig. 5b).

Tabla 8. Modelo lineal generalizado mixto que relaciona CPUE con el momento de la temporada de pesca y algunos atributos de los pescadores en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay. La significancia estadística de los parámetros fue evaluada a través de la aproximación de Satterthwaite. ***<0.001; **<0.01; *<0.05; +<0.1.

Predictor	Parámetro estimado	Error estándar	I.C. 95%	p-valor
Género/ masculino	0.356	0.043	[0.272; 0.441]	<0.001***
Edad	-2.600	1.067	[-4.684; -0.516]	0.015*
Edad2	-1.457	0.869	[-3.155; 0.242]	0.094+
Edad * Género/ masculino	6.585	1.270	[4.101; 9.062]	<0.001***
Edad2* Género/ masculino	2.475	1.162	[0.204; 4.743]	0.033*
Día desde inicio de la temporada	-1.819	0.605	[-2.997; -0.634]	0.003**
Día desde inicio de la temporada2	1.498	0.602	[0.318; 2.672]	0.013*
Intercepto	1.521	0.231	[1.026; 2.017]	0.003**

El GLMM seleccionado que relaciona CPUE con el momento de la temporada de pesca y algunos atributos de los pescadores presentó un R^2 marginal de 0.09 y un R^2 condicional de 0.50. La inclusión de la temporada de pesca como estructura aleatoria en el modelo determinó una importante mejora en el ajuste del mismo (el efecto aleatorio aumentó la devianza explicada por el modelo en un 40%). Los gráficos de diagnóstico del modelo indicaron una correcta adecuación del modelo final al set de datos (ver Figs. S7, S8 y S9 en Material Suplementario).

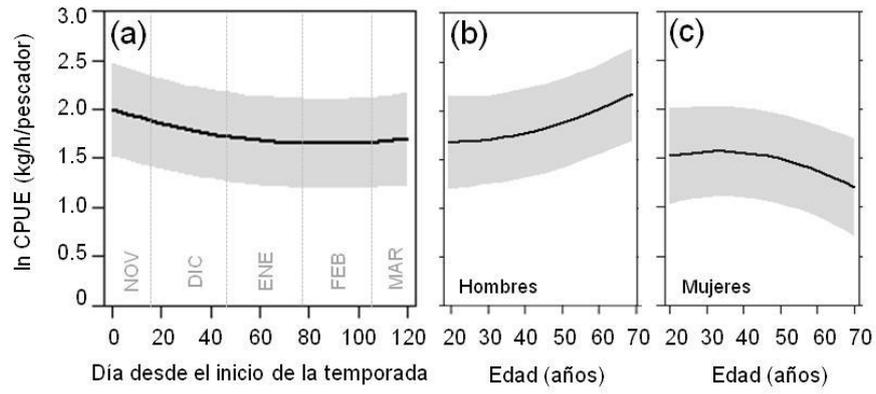


Figura 5. Modelo lineal generalizado mixto (GLMM) relacionando el logaritmo natural de la CPUE de cada evento de pesca en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay con: (a) el momento de la temporada de pesca; y (b y c) el género y la edad de los pescadores. El área gris indica el intervalo de confianza al 95%.

5 Discusión

5.1 Aspectos generales

La conjugación de información proveniente de distintas fuentes y el refinado detalle de la información pesquera, involucrando a toda la comunidad de pescadores a lo largo de cinco temporadas de pesca (lo cual es poco común para pesquerías artesanales), permitió analizar la contribución relativa de un conjunto de predictores en la dinámica de corto plazo y el rendimiento de la pesquería de la almeja amarilla en Uruguay. De esta forma, este trabajo determinó que la presencia de actividad pesquera para un día dado está ligada a la ausencia de veda por marea roja, a la ubicación temporal del evento de pesca a lo largo de la temporada y a las condiciones de viento imperantes durante el día. Por otra parte, se encontró que un mayor rendimiento, representado por la captura acumulada diaria de todos los eventos de pesca individuales, estaría parcialmente explicado por la prevalencia de condiciones de vientos de componente norte en el área. Finalmente, se pudo constatar que los niveles de CPUE de cada evento de pesca se explican en mayor parte por las características interanuales de cada temporada de pesca, y en menor medida por atributos propios de los pescadores (como el género y la edad) y también por la ubicación temporal de cada evento de pesca a lo largo de la temporada. Tomados en su conjunto, estos resultados demuestran que la pesquería de la almeja amarilla está parcialmente condicionada por un conjunto de factores ambientales, socio-económicos, culturales y normativos, siendo la ocurrencia de eventos de marea roja y las condiciones de viento un elemento crítico para el entendimiento de la dinámica de corto plazo de este SES.

5.2 Condiciones ambientales, normativa y demanda: factores reguladores de la pesquería

El enfoque utilizado en este trabajo permitió apoyar hipótesis previas acerca de la importancia de las condiciones de viento, tanto inmediatas como acumuladas (i.e. día anterior y el mismo día en que se evaluó la actividad pesquera), en la accesibilidad al recurso por parte de los pescadores (Defeo et al. 2013; Gianelli et al. 2015). Por otra parte, se comprobó que el efecto de los vientos del día anterior fue de menor importancia en comparación con aquel derivado de las condiciones inmediatas y acumuladas. Este hallazgo denota la gran adaptabilidad de los pescadores

en respuesta a las condiciones ambientales, los cuales son capaces de aprovechar ventanas temporales cortas (i.e. un día) para desarrollar actividades pesqueras. En este sentido, la actividad pesquera se vio favorecida bajo condiciones de viento imperantes de componente norte y noreste, ya que permitieron un mayor número de días efectivos de pesca, así como también mayores niveles de captura diarios. De forma inversa, la actividad y el rendimiento pesquero disminuyeron conforme aumentó la intensidad de los vientos de componente sur y suroeste. El efecto de los vientos “onshore” no solo implica una reducida accesibilidad al recurso por el aumento de la zona de swash, sino que tiene un efecto indirecto sobre la actividad pesquera al aumentar la humectación de gran parte de la playa una vez que el mar se retira hasta su posición habitual (ver Fig. 1c). Bajo circunstancias de arena altamente humectada, el uso del arte de pesca (pala) en la zona donde se ubican los bancos de almejas comerciales, implica que durante la maniobra se genere una fuerte presión por succión en el micro-ambiente afectado por el arte. El escaso grosor de las valvas de esta especie de almeja se ve afectado por la presión ejercida y eventualmente se puede observar ruptura de alguna de las valvas (observación personal). Esta lesión determina que la mayoría de las almejas afectadas finalmente mueran, y por tanto no puedan ser purgadas para consumo humano. Este efecto indirecto determina que los pescadores tengan que esperar hasta que se seque parcialmente la zona de la playa donde se encuentran los bancos de almejas comerciales, restringiéndose aún más los días de pesca.

A pesar de lo mencionado anteriormente, no existen estudios previos que demuestren de forma robusta un efecto significativo de las condiciones de viento en la dinámica de corto plazo en pesquerías intermareales en playas arenosas. Por otra parte, en otros sistemas pesqueros, son varios los estudios que han mostrado que las condiciones de viento pueden ser un factor limitante y regulador en el corto plazo. Algunas de las consecuencias que vientos intensos determinan sobre la actividad pesquera son (Salas et al. 2004; Macfadyen et al. 2009; Lopes & Begossi 2011; Bastardie et al. 2013; Chollet et al. 2014; Oliveira et al. 2015; Pfeiffer & Gratz 2016; Stobart et al. 2016): (i) condiciones adversas e inseguras para alcanzar áreas de pesca, exponiendo embarcaciones a oleaje severo inducido por viento; (ii) pérdidas y/o daños de artes de pesca; (iii) pérdida de visibilidad en

la columna de agua por procesos de mezcla en el caso particular de pesca por buceo; y (iv) mayores costos operativos por aumento en el consumo de combustible. En este sentido, la consistencia de los resultados del presente estudio con las hipótesis planteadas anteriormente por Defeo et al. (2013) permiten avanzar en el entendimiento del rol que juega este forzante externo y concluir que el viento de componente sur (offshore) y suroeste de intensidad media a fuerte representa un factor que limita el desarrollo de la actividad y el rendimiento pesquero diario en este SES. Estas conclusiones pudieran ser extendidas a pesquerías con características similares en playas arenosas disipativas.

La presencia de vedas por eventos de marea roja en la zona determinó que la probabilidad de eventos de pesca disminuyera de forma marcada. En este sentido, durante la temporada de pesca 2010/2011 se estableció una veda por 10 días consecutivos, en la temporada 2012/2013 la veda fue por 30 días y por último en la temporada 2013/2014 la veda se extendió por 43 días. Por otra parte, en las temporadas 2011/2012 y 2014/2015 no se observaron eventos de marea roja mientras la pesquería se encontraba abierta a la explotación. El incremento en frecuencia y duración de eventos de mareas rojas, fenómeno no solo observado a escala local (Defeo et al. 2013; Gianelli et al. 2015), sino también en diversas pesquerías de invertebrados a nivel mundial (e.g. Hoagland et al. 2002; Hoagland & Scatista 2006; Dyson & Huppert 2010; Rodríguez et al. 2011; Huppert & Trainer 2014; Oliveira et al. 2015), ha generado un fuerte impacto en esta pesquería, afectando su sustentabilidad y rentabilidad. Por lo tanto, entender las causas del incremento en frecuencia y duración de estos eventos y estimar de forma explícita las pérdidas económicas derivadas de su ocurrencia serán pasos necesarios a futuro para dimensionar el impacto de este forzante externo. Asimismo, el indiscutible efecto de este factor pone en relevancia la importancia de la adopción de medidas de adaptación y mitigación en pesquerías dirigidas a moluscos filtradores. El desarrollo de un sistema de alerta temprana que pudiese proporcionar a pescadores y procesadores información sobre la potencial floración de microorganismos con suficiente antelación, podría ser parcialmente útil para reducir la incertidumbre que caracteriza a este sistema con respecto a las vedas establecidas por la autoridad de manejo. En este sentido, la viabilidad del acopio previo (o incluso durante

eventos de marea roja) y el adecuado purgado con suficiente tiempo para detoxificar el producto, representan aspectos críticos a explorar entre los pescadores, la planta de procesamiento, la DINARA y la Facultad de Ciencias. Por otra parte, la diversificación de productos, además de la venta de almejas frescas, tales como almejas congeladas, ahumadas o en conservas, también será necesaria en un futuro cercano para contrarrestar el efecto perjudicial de la prohibición de extracción durante vedas por marea roja.

A pesar de estar estrictamente prohibido extraer el recurso durante la vigencia de vedas, cerca del 4% de todos los eventos de pesca reportados se dieron en estos periodos ($n=26$). Durante los días en los que se incumplió la normativa predominaban en la zona vientos de componente noreste, los cuales son los más propicios para la actividad y rendimiento pesquero. Más aún, fueron varios los pescadores los que reportaron actividad pesquera durante dichos días. Esto sugiere que, si las condiciones ambientales son óptimas para la pesca, los usuarios podrían llegar a incumplir la normativa sanitaria establecida por la DINARA. Esto puede tener múltiples causas, incluyendo: (i) mecanismos poco efectivos de comunicación entre la DINARA y pescadores para transmitir las vedas; (ii) falta de credibilidad y confianza por parte de los pescadores con respecto a las vedas establecidas; y (iii) incumplimiento adrede por parte de los pescadores con el fin de comercializar el producto como carnada para pesca deportiva y/o consumo propio. En cualquiera de los casos se incumple la normativa sanitaria vigente y se debe profundizar en estrategias para mejorar el cumplimiento de dicha normativa.

La demanda intra-temporada, incluida en los modelos como la ubicación temporal de cada evento en la temporada de pesca, mostró ser un factor significativo, tanto en la ocurrencia de eventos de pesca como en la CPUE de cada evento individual. El pico de demanda para consumo humano se da en los últimos días del mes de diciembre y todo el mes de enero (Gianelli et al. 2015). Durante este periodo, la probabilidad de que ocurran eventos de pesca fue mayor, dada una mayor capacidad de venta del producto destinado al sector gastronómico en los principales balnearios de Uruguay. Luego del pico de demanda observado en enero, la probabilidad de ocurrencia de eventos de pesca disminuyó conforme avanzó la temporada de pesca, hasta alcanzar un mínimo en los

últimos días de marzo. Asimismo, la CPUE de los pescadores varió en función del momento de la temporada de pesca, observándose mayores valores al comienzo y disminuyendo a medida que avanza la temporada. Patrones intra-temporada similares a éste han sido documentados en otras pesquerías de invertebrados de América Latina (Defeo & Castilla 1998; Caddy & Defeo 2003; Defeo et al. 2016). Los factores reguladores de la dinámica intra-temporada pueden ser varios y contexto-dependiente, destacándose: (i) la disminución en la abundancia y/o disponibilidad del recurso y consecuente disminución en la CPUE; (ii) el cumplimiento gradual de cuotas individuales; y (iii) variaciones en la demanda del mercado (e.g. saturación del mercado y disminución de precios dado el excedente de producto). En el caso de la pesquería de la almeja amarilla, si bien el patrón intra-temporada observado puede estar dado por una combinación compleja de todos los factores anteriormente mencionados, la marcada disminución en la demanda, dada por la merma en el turismo hacia el mes de marzo, sería uno de los factores más relevantes.

5.3 Atributos de los pescadores como determinantes de la CPUE en la pesquería

Los resultados de este estudio muestran que la edad, en conjunto con el género de los pescadores, tuvo un efecto significativo en la CPUE observada en los eventos de pesca individuales. Las mujeres presentaron, a lo largo de todo el rango etario, valores de CPUE sistemáticamente menores a los de los hombres. La alta exigencia física que requiere la actividad pesquera coloca a las mujeres en una situación desfavorable con respecto a los hombres, ya que éstos asignan un menor esfuerzo para un nivel de captura dado. Asimismo, los hombres requieren menos tiempo de descanso entre eventos de pesca (Nancy Schuch comunicación personal), aprovechando de forma más eficaz ventanas temporales de condiciones climáticas apropiadas. En cambio, las mujeres requieren un mayor número de días para poder equiparar similares niveles de captura y no son tan eficaces aprovechando ventanas temporales cortas (Gianelli 2014). Este mismo patrón diferencial en la CPUE, pero también en los niveles de captura, fue recientemente reportado a nivel mundial en un estudio que analizó el rendimiento disgregado por género en diversos indicadores pesqueros (Kleiber et al. 2013), entre ellos los considerados en el presente estudio. Estos resultados sugieren que futuros estudios y herramientas de manejo en este sistema deberán hacer especial énfasis en

aspectos de género con el fin de garantizar equidad de acceso a los recursos y oportunidades económicas. Asimismo, el crecimiento en el número de mujeres participando directamente en la pesquería de menos de un 17% en el año 2009 a cerca de 40% en el año 2015 (último año considerado en este estudio; Gianelli et al. 2015), destaca la importancia de esta pesquería como fuente de ingreso a un componente de género que ha sido desestimado en el tiempo, particularmente en comunidades pesqueras artesanales.

5.4 Aspectos de modelación: restricciones y potenciales mejoras

Si bien los modelos ajustados permitieron poner en relevancia algunos factores que regulan la ocurrencia de eventos de pesca y el rendimiento pesquero, los valores de R^2 marginal y R^2 condicional estimados fueron bajos. Esto pudiera estar dado, en principio, por al menos cinco causas posibles: (i) falta de inclusión en los modelos de factores que pueden ser relevantes a la escala analizada; (ii) suponer erróneamente que los pescadores intentarán ir a pescar cada vez que se dan las condiciones apropiadas, maximizando así su captura individual; (iii) no linealidad en la respuesta de los pescadores; (iv) interacciones entre variables explicativas; y (v) existencia de sesgos en la base de datos derivados del carácter voluntario del programa de colecta de información. Con respecto al primer punto, uno de los factores no tenidos en cuenta en este trabajo, y que pudiera guiar el comportamiento de los pescadores a escala diaria, es la fijación de un límite en el total de producto demandado por intermediarios, en este caso en mayor grado dado por la planta de procesamiento local. Estudios previos han mostrado la importancia de la interrelación entre procesadores (y/o intermediarios) y pescadores (Béné & Tewfik 2001; Crona et al. 2010; Pedroza 2011), por lo que la profundización en este aspecto puede ser crítica para un mejor entendimiento de la dinámica de corto plazo en este SES. Asimismo, la inclusión de otras variables ambientales relevantes para la dinámica de corto plazo de la pesquería, tales como la fase lunar (Ramón Agüero comunicación personal), podrían dar cuenta de parte de la devianza no explicada por los modelos ajustados. Con respecto al segundo punto, el marco teórico en el cual está contextualizado este estudio (i.e. teoría micro-económica clásica) predice que los pescadores se comportarán como agentes económicos racionales (Hilborn 2007), y que por tanto distribuirán su esfuerzo de manera

de maximizar sus ganancias (Salas & Gaertner 2004; Pascoe & Mardle 2005; Branch et al. 2006). Sin embargo, y principalmente en pesquerías artesanales (Salas & Gaertner 2004), es probable que el comportamiento y la toma de decisiones de los pescadores resulte de una combinación de factores que van mucho más allá de lo que la teoría económica predice (Pascoe & Mardle 2005; Fulton et al. 2011; van Putten et al. 2011). En este sentido, la adopción de este marco teórico puede no adecuarse a la situación de los pescadores de almeja amarilla debido a diversos factores, incluidos: (i) la presencia de multiempleo entre los pescadores, pudiendo optar por otras actividades económicas, que a pesar de que resulten en menores retornos en el corto plazo, les resulten una elección más segura en el mediano plazo, dado el alto grado de incertidumbre asociado a la posibilidad de prohibición de la actividad por presencia de marea roja; y (ii) el costo de acceso nulo y costos de depreciación de artes de pesca despreciables, por lo cual los pescadores no tienen una inversión realizada que equiparar. Por ende, los pescadores no necesariamente adopten un comportamiento de maximización, sino que pueden buscar en la pesquería un posible complemento económico de componente zafral y/o oportunista.

Trabajos previos han cuestionado la validez del supuesto de maximización económica que subyace a la mayoría de los estudios comportamentales de pescadores (por más detalles ver revisión de van Putten et al. 2011; Salas & Gaertner 2004), alegando que este marco pudiese no ser del todo adecuado en al menos tres contextos: (i) en pesquerías de pequeña escala en países en desarrollo donde los pescadores usualmente permanecen en la actividad debido a la falta de oportunidades alternativas de empleo y altos niveles de pobreza; (ii) en pesquerías donde relaciones familiares son influyentes en la dinámica de cada sistema (Holland & Sutinen 2000), en las cuales un enfoque de análisis de redes sociales pudiese ser más efectivo (van Putten et al. 2011); y (iii) en pesquerías de pequeña escala compuestas por un grupo de pescadores heterogéneos en cuanto sus objetivos socioeconómicos. A modo de reducir parte de la incertidumbre asociada a la heterogeneidad de los pescadores, se podría atribuir a cada pescador (para los cuales exista una suficiente cantidad de datos), un efecto aleatorio en el proceso de modelación en adición al efecto de la temporada de pesca (Venables & Dichmont 2004; Helser et al. 2004; Bolker et al. 2008). De esta forma, se podría

disminuir la variabilidad inter-pescador que sea importante capturar en la modelación y que no haya sido tomada en cuenta en el presente estudio. Asimismo, se modelaría de forma explícita la no independencia de los eventos de pesca correspondientes a un mismo pescador, por lo cual este enfoque resulta de particular interés.

Las técnicas estadísticas utilizadas en este trabajo asumen una respuesta lineal entre las variables estudiadas y las explicativas. Sin embargo, es posible que los procesos de toma de decisiones se asemejen más a una respuesta del tipo umbral que a una del tipo gradual. En este sentido, el uso de modelos no-lineales (e.g. árboles de clasificación, random forest) pueden ser más adecuados para modelar procesos de decisión. Más aún, en estas técnicas no existen restricciones en la forma de la relación entre variables predictoras (potencialmente más apropiado al modelar la toma de decisiones), a diferencia de los métodos aplicados en este estudio los cuales consideran relaciones aditivas o multiplicativas entre variables predictoras. Adicionalmente, algunos modelos no-lineales proveen representaciones esquemáticas de procesos secuenciales de decisión que son fácilmente entendibles por personas no especializados en aspectos estadísticos (Crisci et al. 2012). Sin embargo, estos métodos tampoco están exentos de limitaciones dado que las versiones clásicas de estas técnicas no pueden considerar autocorrelación temporal en los datos ni tampoco la existencia de una dependencia estructural de la base de datos (ver Stojanova 2012 por excepciones particulares), tal como es el caso de este estudio (i.e. datos provenientes de varias temporadas de pesca separadas en el tiempo).

Una de las ventajas que tienen los modelos mixtos, técnica utilizada en este trabajo, es la capacidad de considerar una dependencia estructural en observaciones lo cual le permitió a este estudio aprovechar un set de datos en ocasiones desbalanceado y fragmentado en el tiempo, característica muy común en los estudios pesqueros (Venables & Dichmont 2004). Por otra parte, en el caso de que la temporada de pesca fuese incluida en los modelos como un efecto fijo, no sería posible realizar ninguna predicción para una temporada de pesca futura, ya que no se pueden extrapolar estimaciones de los efectos fijos a un nuevo grupo de datos (Venables & Dichmont 2004; Bolker et al. 2008). Por lo tanto, la importancia de la inclusión de la temporada como efecto

aleatorio radica en la capacidad de realizar, de forma apropiada, predicciones más allá de las temporadas de pesca consideradas en el presente estudio.

El aumento en la devianza explicada gracias a la inclusión del efecto aleatorio en los modelos ajustados fue leve en el caso de la modelación de la presencia/ausencia de eventos de pesca y en la captura acumulada diaria entre todos los pescadores. Sin embargo, en el caso de la modelación de la CPUE, la inclusión de la temporada de pesca como efecto aleatorio determinó una importante mejora en la devianza explicada. Esto sugiere que, más allá de la influencia de los efectos fijos ajustados para modelar la CPUE, cada temporada de pesca presenta características intrínsecas, como puede ser la biomasa anual del recurso, que son determinantes fundamentales en los niveles de CPUE observados a escala individual. Al analizar los distintos niveles del efecto aleatorio “temporada de pesca” (Fig. S8) se observó que los niveles que están por encima del intercepto promedio son coincidentes con temporadas de pesca en donde se registró una mayor biomasa comercial de almejas (Gianelli 2014; Gianelli et al. 2015). Este patrón sería esperable ya que, en el contexto clásico de teoría pesquera, existe una dependencia proporcional de la CPUE con la biomasa disponible dada por la ecuación de capturabilidad de cada recurso (Hilborn & Walters 1992).

Por último, el carácter voluntario del programa de colecta de datos lo hace susceptible a un posible sesgo en el cual los pescadores pueden sub-reportar la actividad pesquera. De todas formas, la información proveniente de los cuadernos de pesca se comparó con las facturas provistas por la planta de procesamiento y con los partes de pesca oficiales de DINARA, observándose un buen nivel de coincidencia entre ambas fuentes de información.

5.5 Implicancias para el manejo de la pesquería de la almeja amarilla

Las implicancias de este estudio para el manejo de la pesquería de la almeja amarilla son varias. En primer lugar, se puede concluir que los usuarios no presentan un comportamiento de maximización dentro de la pesquería y hacen uso de una estrategia racional en concordancia con la demanda del producto y con la normativa vigente. En este sentido, tanto las cuotas individuales

como la duración de la temporada de pesca son herramientas de manejo que pudieron contribuir al fenómeno observado. Sin embargo, muchos pescadores presentan una importante subutilización de la cuota individual asignada (observación personal). Adicionalmente, si se considera que actualmente ésta es la única pesquería artesanal del Uruguay para la que se estima, a través de evaluaciones independientes, una CTP y que ésta no ha superado para ningún año más del 40% del total permitido (Gianelli et al. 2015), se puede inferir que existe una importante ineficiencia económica en el sistema pesquero. El efecto negativo de las vedas por marea roja y por condiciones ambientales desfavorables sobre la actividad pesquera puede ser parcialmente responsable de este fenómeno. Sin embargo, este fenómeno también puede darse por una CTP mayor a la demanda real por el producto en el mercado local o por falta de incentivo de los pescadores en dedicar mayor tiempo a la actividad pesquera. Desentrañar la importancia relativa de cada uno de estos factores puede ser una tarea difícil. En este sentido, los modelos de frontera de producción estocástica son herramientas útiles ampliamente utilizadas en bioeconomía pesquera (e.g. Sharma & Leung 1998; García del Hoyo et al. 2004; Tingley et al. 2005; Oliveira et al. 2016) para estimar ineficiencia económica generada tanto por factores técnicos intrínsecos de la flota como por factores exógenos al sistema pesquero. La implementación de estos modelos en la pesquería de la almeja amarilla puede proporcionar una perspectiva complementaria a este trabajo y confirmar si los forzantes externos analizados son los principales responsables de la importante ineficiencia económica observada en el sistema. De forma paliativa, el establecimiento de un costo razonable por solicitar un permiso de pesca, de acuerdo a la rentabilidad de la actividad pesquera, podría ser una estrategia útil, tanto para mejorar la utilización de la cuota global como para eliminar pescadores ociosos del registro pesquero que contribuyen a la ineficiencia económica de la pesquería y disminuyen las oportunidades económicas de otros miembros de las comunidades locales. Si bien esto no está contemplado en el marco legal vigente (Ley de Pesca 19.175), podría ser viable en el mediano a largo plazo. En resumen, los resultados de este estudio, tomados en conjunto con los resultados mostrados por Gianelli et al. (2015), denotan una pesquería ineficiente en términos económicos si se asume que toda la captura potencial, representada por el límite superior de la CTP en cada temporada, pudiese ser enteramente comercializada en el mercado local. Si bien en términos

económicos se observa la situación descrita anteriormente, en términos ecológicos, las bajas tasas de explotación observadas en los últimos años generaron una menor presión pesquera (Gianelli et al. 2015), la cual debiera haber repercutido positivamente en la población de almejas y en otros componentes del ecosistema.

La importancia del género y la edad en la explicación de tendencias de la CPUE denota la necesidad de considerar en forma especial a mujeres involucradas en la actividad, ya que éstas representan un 40% del total de pescadores y presentan un menor poder de pesca frente a sus pares masculinos. Asimismo, es probable que la expedición de nuevos permisos de pesca impacte en la eficiencia económica neta de la pesquería, dada la menor experiencia y eficacia de pescadores jóvenes en comparación a pescadores con larga trayectoria en la actividad. Por otra parte, la pesquería de la almeja amarilla resulta en una alternativa de empleo para jóvenes y mujeres de las comunidades locales que resulta fundamental y no debiera ser cuestionada en función de la eficiencia de cada clase de edad o género de los pescadores. En este sentido, la asignación diferencial de cuota individual de pesca de acuerdo a la experiencia y a la tradición pesquera de cada usuario resulta de particular importancia en este SES.

Las características intrínsecas de este SES (Ostrom 2009), tales como: (i) pequeño tamaño del sistema, (ii) número reducido de usuarios; y (iii) desarrollo de la actividad pesquera en una zona de interfase entre el mar y la tierra, lo hace un buen sistema modelo para poner a prueba distintas hipótesis. Entre ellas, evaluar el efecto de los distintos escenarios futuros de variabilidad y cambio climático en pesquerías artesanales cobra vital importancia. En este sentido, las predicciones realizadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) para la costa del Río de la Plata y costa Atlántica del Uruguay estiman que en las próximas décadas se dará un incremento en eventos de viento fuerte de componente sudeste (IPCC 2007). Por tanto, estos eventos tendrían un fuerte impacto en zonas bajas, como lo son las playas arenosas disipativas, dada la alta vulnerabilidad de estos ambientes al aumento en el nivel del mar (IPCC 2007). Ortega et al. (2013) reportaron para el área del estudio un incremento de largo plazo en la frecuencia y duración de vientos de componente sur. Considerando estos escenarios, y la

importancia que tienen las condiciones de viento para la dinámica de la pesquería analizada, es altamente probable que este SES sea perjudicado por la intensificación de este forzante para la zona. El impacto económico real que tiene este factor sobre la pesquería debiera ser estudiado para disminuir la incertidumbre con respecto al comportamiento de los usuarios (Fulton et al. 2011) y buscar estrategias de mitigación frente al efecto del mismo.

Gran parte de los trabajos que abordan los procesos de toma de decisiones en pesquerías, tanto de pequeña escala como industriales, han puesto en relevancia diversos aspectos económicos (e.g. capital invertido, costos de viajes de pesca, retornos esperados) como determinantes fundamentales de la dinámica de corto plazo (Salas & Gaertner 2004; Pascoe & Mardel 2005; van Putten et al. 2011). Sin embargo, un elemento económico característico de la pesquería de la almeja amarilla es que el costo de participación en la actividad es casi nulo ya que no implica costos fijos ni de depreciación de capital, y al mismo tiempo supone costos variables ínfimos. Este hecho significa que, más allá del costo de oportunidad (valor de la mejor alternativa económica posible a la que se renuncia para llevar a cabo actividades pesqueras), prácticamente no existe un nivel mínimo de captura necesario para costear la participación en la actividad pesquera. Adicionalmente, la naturaleza sedentaria del recurso y la relativamente buena accesibilidad en condiciones ambientales favorables, hace que cada pescador, en general, pueda capturar la cantidad de recurso que considere necesaria por evento de pesca. Por tanto, la ausencia de factores económicos limitantes que guíen el comportamiento de corto plazo en este SES aumenta la incertidumbre asociada a las decisiones de los pescadores, y dificulta la adopción de un marco conceptual claro para modelar el comportamiento de los mismos (e.g. Hilborn 2007; van Putten et al. 2011). En este sentido, este trabajo aporta uno de los pocos casos a la literatura de la “modelación comportamental de pescadores” y de la dinámica de flotas pesqueras, en el cual los factores económicos no son los principales determinantes del comportamiento de los pescadores en el corto plazo (ver Salas et al. 2004; Pascoe & Mardle 2005; Branch et al. 2006; Chollet et al. 2014; van Putten et al. 2011). Asimismo, los resultados de este trabajo apoyan las objeciones planteadas anteriormente sobre la

validez de la adopción del enfoque micro-económico y el uso del supuesto de maximización económica en pesquerías de pequeña escala.

6 Conclusiones

Este trabajo identificó y evaluó el efecto de factores relevantes que inciden en la regulación de la dinámica de corto plazo de la pesquería de la almeja amarilla. Entre ellos se destacó la presencia de veda por marea roja y las condiciones de viento imperantes en el día en que se la actividad pesquera. Los resultados de este trabajo concuerdan con la percepción de la comunidad de pescadores en cuanto a la disminución sostenida de días de pesca a través del tiempo en respuesta a vientos hacia la costa de mayor intensidad y frecuencia. Reconocer e integrar los distintos tipos de conocimientos de actores diversos contribuiría a entender de forma holística la dinámica y procesos actuando en la pesquería de la almeja amarilla. En este sentido, además de valor *per se* que tiene el conocimiento local de los SES, éste también puede actuar como desencadenante para plantear y poner a prueba distintas hipótesis bajo estrictos métodos científicos (Johannes et al. 2000; Moller et al. 2004).

Este trabajo brinda una perspectiva mecanicista, a través de un enfoque estadístico sólido, que permite entender parte de la variación observada en cada variable analizada (i.e. ocurrencia de eventos de pesca, captura diaria y CPUE) y vincula los resultados obtenidos a una escala diaria a observaciones interanuales en este SES pesquero (Defeo et al. 2013; Gianelli 2014; Gianelli et al. 2015). De esta forma, este trabajo apoyó hipótesis planteadas en estudios previos sobre el rol del viento como responsable parcial de la pérdida de días de pesca a través del tiempo, al relacionar las condiciones ambientales imperantes y la dinámica de corto plazo de esta pesquería. Por lo tanto, el enfoque utilizado en este trabajo permitió comprender algunos de los mecanismos que operan a escala diaria y que subyacen a los patrones de largo plazo observados en la pesquería de la almeja amarilla. Por último, este trabajo incluyó información diaria de la totalidad de pescadores involucrados para cinco temporadas de pesca, representando una de las pocas excepciones de estudios de dinámica de corto plazo con tal grado de detalle en pesquerías de pequeña escala en general, y en pesquerías intermareales en particular.

Referencias

- Barton, K. 2014. MuMIn: multi-model inference. R package version 1.10.5. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/>.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. 2015. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1–7. 2014. Institute for Statistics and Mathematics of WU website. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>. Accessed March, 18.
- Bastardie, F., Nielsen, J.R., Andersen, B.S., Eigaard, O.R. 2013. Integrating individual trip planning in energy efficiency—Building decision tree models for Danish fisheries. *Fish Res* 143, 119–130.
- Béné, C., Tewfik C. 2001. Fishing effort allocation and fishermen's decision making process in a multi-species small-scale fishery: analysis of the conch and lobster fishery in Turks and Caicos Islands. *Hum Ecol* 29, 157–185.
- Branch, T.A., Hilborn, R., Haynie, A.C., Fay, G., Flynn, L., Griffiths, J., Marshal, K.N., Randall, J.K., Scheuerell, J.M., Ward, E.J., Young, M. 2006. Fleet dynamics and fishermen behavior: lessons for fisheries managers. *Can J Fish Aquat Sci* 63, 1647–1668.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.S.S. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends EcolEvol* 24, 127–135.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Second edn. Springer-Verlag, New York.
- Cabrera, J.L., Defeo, O. 2001. Daily bioeconomic analysis in a multispecific artisanal fishery in Yucatan, Mexico. *Aquat Living Resour* 14, 19–28.
- Caddy, J.F., Defeo, O. 2003. Enhancing or restoring the productivity of natural populations of shellfish and other marine invertebrate resources. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 448. Rome, FAO. 159 p.
- Castilla J.C., Defeo, O. 2001. Latin American benthic shellfisheries: emphasis on co-management and experimental practices. *Rev Fish Biol Fisher* 11, 1–30.
- Chollett, I., Canty, S.W.J., Box, S.J., Mumby, P.J. 2014. Adapting to the impacts of global change on an artisanal coral reef fishery. *Ecol Econ* 102, 118–125.
- Crisci, C., Ghattas, B., Perera, G. 2012. A review of supervised machine learning algorithms and their application to ecological data. *Ecol Model* 240, 113–122.

- Crona, B., Nyström, M., Folke, C., Jiddawi, N. 2010. Middlemen, a critical social-ecological link in coastal communities of Kenya and Zanzibar. *Mar Policy* 34, 761–771.
- de la Rosa, A. 2016. Caracterización socioecológica de la pesquería artesanal de almeja amarilla y uso del conocimiento ecológico tradicional para su manejo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.
- Defeo, O. 2015. Enfoque ecosistémico pesquero: Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, FAO, Roma. 84 pp.
- Defeo, O., Castilla, J.C. 1998. Harvesting and economic patterns in the artisanal *Octopus mimus* (Cephalopoda) fishery in a northern Chile cove. *Fish Res* 38, 121–130.
- Defeo, O., Castrejón, M., Ortega, L., Kuhn, A.M., Gutiérrez, N.L., Castilla, J.C. 2013. Impacts of climate variability on Latin American small-scale fisheries. *Ecol Soc* 18(4), 30.
- Defeo, O., Castrejón, M., Pérez-Castañeda, R., Castilla, J.C., Gutiérrez, N.L., Essington, T.E., Folke, C. 2016. Co-management in Latin American small-scale shellfisheries: assessment from long-term case studies. *Fish Fish* 17, 176–192.
- Defeo, O., Seijo, J.C., Euan, J., Liceaga, M. 1991. Spatial dynamics of fishing effort in an artisanal fishery of the Uruguayan Atlantic coast. *Invest Pesq* 36, 17–25.
- Defeo, O., Jaramillo, E., Lyonnet, A. 1992. Community structure and intertidal zonation of the macroinfauna on the Atlantic coast of Uruguay. *J Coastal Res* 8, 830–839.
- Dyson, K., Huppert, D. D. 2010. Regional economic impacts of razor clam beach closures due to harmful algal blooms (HABs) on the Pacific coast of Washington. *Harmful Algae* 9, 264–271.
- Fulton, E.A., Smith, A.D., Smith, D.C., van Putten, I.E. 2011. Human behaviour: the key source of uncertainty in fisheries management. *Fish Fish* 12, 2–17.
- García del Hoyo, J.J., Castilla Espino, D., Jiménez Toribio, R. 2004. Determination of technical efficiency of fisheries by stochastic frontier models: a case on the Gulf of Cádiz (Spain). *ICES J Mar Sci* 61, 416–421.
- Gianelli, I. 2014. Impacto del co-manejo en la pesquería de la almeja amarilla de Uruguay, en base a indicadores bioeconómicos. Tesis de grado. Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.
- Gianelli, I., Martínez, G., Defeo, O. 2015. An ecosystem approach to small-scale co-managed fisheries: the yellow clam fishery in Uruguay. *Mar Policy* 62, 196–202.

- Green, D.P., Shapiro, I. 1994. *Pathologies of Rational Choice Theory: A Critique of Applications in Political Science*. Yale University Press.
- Hilborn, R. 1985. Fleet dynamics and individual variation: why some people catch more fish than others. *Can J Fish Aquat Sci* 42, 2–13.
- Hilborn, R., Walters, C. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. Springer Science & Business Media.
- Hilborn, R. 2007. Managing fisheries is managing people: what has been learned? *Fish Fish* 8, 285–296.
- Helser, T.E., Punt, A.E., Methot, R.D. 2004. A generalized linear mixed model analysis of a multi-vessel fishery resource survey. *Fish Res* 70, 251–264.
- Hoagland, P., Anderson, D.M., Kaoru, Y., White, A.W. 2002. The economic effects of harmful algal blooms in the United States: estimates, assessment issues, and information needs. *Estuar Coasts* 25, 819–837.
- Hoagland, P., Scatasta, S. 2006. The economic effects of harmful algal blooms. In: *Ecology of harmful algae* (ed. Turner J.T.) Springer Berlin Heidelberg. pp. 391–402.
- Holland, D.S., Sutinen, J.G. 2000. Location choice in New England trawl fisheries: old habits die hard. *Land Econ*, 133–149.
- Huppert, D.D., Trainer, V.L. 2014. Economics of razor clam fishery closures due to harmful algal blooms in Washington State. *PICES Scientific Report*, (47), 59.
- IRI/LDEO (International Research Institute/Lamont-Doherty Earth Observatory), 2013. *Climate Data Library*. <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
- Johannes, R.E., Freeman, M.M., Hamilton, R.J. 2000. Ignore fishers' knowledge and miss the boat. *Fish Fish* 1, 257–271.
- Johnson, J.B., Omland, K.S. 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends Ecol Evol* 19, 10–108.
- Kleiber, D., Harris, L.M., Vincent, A.C. 2015. Gender and small-scale fisheries: a case for counting women and beyond. *Fish Fish* 16, 547–562.
- Lopes, P.F.M., Begossi, A. 2011. Decision-making processes by small-scale fishermen on the southeast coast of Brazil. *Fisheries Manag Ecol* 18, 400–410.

- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre C., Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (Eds.)Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581–615.
- Macfadyen, G., Huntington, T., Cappell, R. 2009. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 523. FAO, Rome. 115 pp.
- Moller, H., Berkes, F., Lyver, P.O., Kislalioglu. M. 2004. Combining science and traditional ecological knowledge: monitoring populations for co-management. *Ecol Soc* 9(3): 2.
- Nakagawa, S., Schielzeth, H. 2013. A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods Ecol Evol* 4, 133–142.
- Oliveira, M.M., Camanho, A.S., Gaspar, M.B. 2015. The phycotoxins' impact on the revenue of the Portuguese artisanal dredge fleet. *Mar Policy* 52, 45–51.
- Oliveira, M.M., Camanho, A.S., Walden, J.B., Gaspar, M.B. 2016. Evaluating the influence of skipper skills in the performance of Portuguese artisanal dredge vessels. *ICES J Mar Sci* 73, 2721–2728.
- Ortega, L., Celentano, E., Finkl, C., Defeo, O. 2013. Effects of climate variability on the morphodynamics of Uruguayan sandy beaches. *J Coastal Res* 29, 747–755.
- Ostrom, E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325, 419–422.
- Pascoe, S., Mardle, S. 2005. Anticipating fisher response to management: can economics help. CEMARE, University of Portsmouth.
- Pedroza, C. 2013. Middlemen, informal trading and its linkages with IUU fishing activities in the port of Progreso, Mexico. *Mar Pol* 39, 135–143.
- Pfeiffer, L., Gratz, T. 2016. The effect of rights-based fisheries management on risk taking and fishing safety. *Proc Natl Acad Sci USA* 113, 2615–2620.
- R Development Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria : the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.
- Robinson, G. K. 1991. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. *Stat Sci* 6, 15–

- Rodríguez, G.R., Villasante, S., do Carme García-Negro, M. 2011. Are red tides affecting economically the commercialization of the Galician (NW Spain) mussel farming? *Mar Policy* 35, 252–257.
- Salas, S., Gaertner, D. 2004. The behavioural dynamics of fishers: management implications. *Fish Fish* 5, 153–167.
- Salas, S., Sumaila, U.R., Pitcher, T. 2004. Short-term decisions of small-scale fishers selecting alternative target species: a choice model. *Can J Fish Aquat Sci* 61, 374–383.
- Seijo, J.C., Defeo, O. 1994. Dynamics of resource and fishermen behavior in coastal invertebrate fisheries. In: Antona, E., Catanzano, J., Sutinen, J.G. (Eds.) *Proceedings of the Sixth Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*. p 209–222.
- Sharma, K.R., Leung, P. 1998. Technical efficiency of the longline fishery in Hawaii: an application of a stochastic production frontier. *Mar Resour Econ* 13, 259–274.
- Stobart, B., Mayfield, S., Carroll, J. 2016. Influence of Wind and Swell on catch Rates in a Dive Fishery: A Case Study from the South Australian Abalone Fishery. *J Shellfish Res* 35, 685–694.
- Stojanova, D. 2013. Considering autocorrelation in predictive models. Doctoral Dissertation. Ljubljana, Slovenia, December 2012. 171 pp.
- Tingley, D., Pascoe, S., Coglan, L. 2005. Factors affecting technical efficiency in fisheries: stochastic production frontier versus data envelopment analysis approaches. *Fish Res* 73, 363–376.
- vanPutten, I.E., Kulmala, S., Thébaud, O., Dowling, N., Hamon, K. G., Hutton, T., Pascoe, S. 2012. Theories and behavioural drivers underlying fleet dynamics models. *Fish Fish* 13, 216–235.
- Venables, W.N., Dichmont, C.M. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. *Fish Res* 70, 319–337.
- Zuur, A., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M. 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York, USA, Springer. 574 pp.

Material suplementario – Gianelli 2017

Tabla S1. Descripción de las variables predictoras y detalle de la notación utilizada en la modelación. Las variables se encuentran agrupadas en categorías para mejor interpretación.

Categoría	Variable	Notación	Descripción de la variable
Ambiental	Viento meridional ($m \cdot s^{-1}$)	vie_mer	Variable continua que mide la intensidad del viento en el eje meridional (v). La dirección del viento en el eje meridional está implícita en el signo de las observaciones. Observaciones con signo negativo implican vientos de componente N (<i>offshore</i>), mientras que observaciones con signo positivo implican vientos de componente S (<i>onshore</i>).
	Viento meridional el día anterior ($m \cdot s^{-1}$)	vie_mer_t1	Condiciones de viento meridional en el día anterior. Puede existir un retardo temporal entre las condiciones del viento, el estado de la playa y la accesibilidad al recurso por parte de los pescadores.
	Viento meridional acumulado ($m \cdot s^{-1}$)	vie_mer_cum	Suma del viento meridional en dos días consecutivos. Esta variable refleja si hubo estabilidad en la dirección del viento. Si hubo cambios en la dirección, el signo del viento con magnitud predominante entre ambos días determina el signo de la variable.
	Viento zonal ($m \cdot s^{-1}$)	vie_zon	Variable continua que mide la intensidad del viento en el eje zonal (u). La dirección del viento en el eje zonal está implícita en el signo de las observaciones. Observaciones con signo negativo implican vientos de componente E, mientras que observaciones con signo positivo implican vientos de componente O.
	Viento zonal el día anterior ($m \cdot s^{-1}$)	vie_zon_t1	Condiciones de viento zonal en el día anterior. Puede existir un retardo temporal entre las condiciones del viento, el estado de la playa y la accesibilidad al recurso por parte de los pescadores.
	Viento zonal acumulado ($m \cdot s^{-1}$)	vie_zon_cum	Suma del viento meridional en dos días consecutivos. Esta variable refleja si hubo estabilidad en la dirección del viento. Si hubo cambios en la dirección, el signo del viento con magnitud predominante entre ambos días determina el signo de la variable.
Socio-económica	CPUE en el día anterior ($kg \cdot h^{-1}$)	CPUE_t1	Promedio de la captura por unidad de esfuerzo en todos los eventos de pesca del día anterior.
	Captura del día anterior (kg)	capt_t1	Captura acumulada entre todos los eventos de pesca del día anterior.
	Edad del pescador (años)	edad	Variable continua que refleja la experiencia/ poder de pesca de cada pescador.
	Género del pescador	genero	Variable binaria que considera el género del pescador. Pueden existir diferencias en el poder de pesca en función del género.
Cultural	Día desde el inicio de la temporada de pesca	dia_temp	Variable continua que posiciona cada evento de pesca a lo largo de cada temporada. Esta variable describe de forma implícita la demanda intra-temporada del mercado y el progresivo agotamiento de la CTP a lo largo de cada temporada.
	Día de la semana	dia	Variable categórica con siete niveles equivalentes a cada día de la semana. Esta variable puede dar alguna información sobre la dinámica de la pesquería incluyendo si los pescadores concentran su actividad en días particulares o tienen actividad pesquera en forma independiente al día de la semana.
Normativa	Veda por marea roja	m_roja	Variable binaria que representa la normativa que determina la prohibición de actividad pesquera bajo la presencia de marea roja.

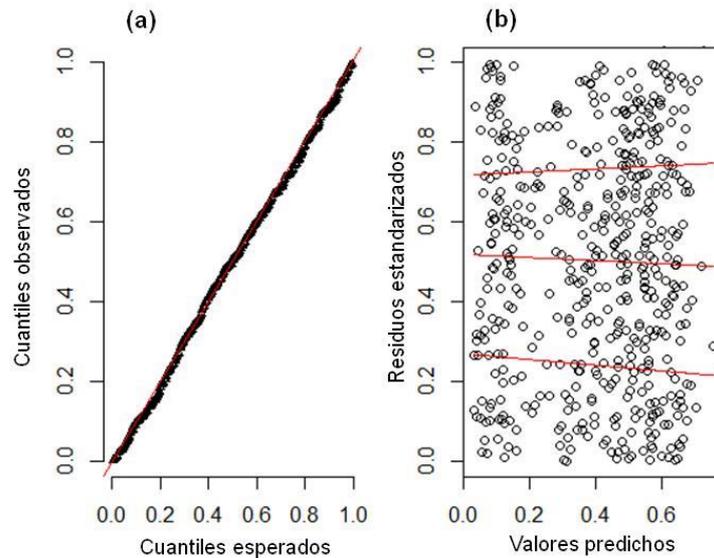


Figura S1. Validación gráfica del GLMM final que modela la ocurrencia/ ausencia de días efectivos de pesca. (a) Gráfico Q-Q de los cuantiles observados contra los cuantiles esperados de una distribución normal; y (b) residuos estandarizados entre valores de 0 a 1 contra valores predichos. Los gráficos de los residuos estandarizados se obtuvieron a través del paquete “DHARMA” del software R. Este paquete utiliza un enfoque basado en simulaciones para proveer residuos escalados (cuantiles) de los modelos lineales generalizados mixtos que resultan fáciles de interpretar. Los residuales resultantes son estandarizados a valores entre 0 y 1 y se interpretan al igual que los de una regresión lineal. El gráfico de la izquierda (gráfico Q-Q) es útil para detectar desviaciones en la uniformidad de los residuos. De este modo, para un modelo correctamente especificado, se espera que los cuantiles observados se ajusten a la línea recta en el gráfico Q-Q. El gráfico de los residuos contra los valores predichos permite detectar uniformidad en la dirección del eje y. Para esto, se pueden mostrar de forma opcional regresiones lineales a lo largo del eje x del gráfico (representadas por las líneas rojas) para los cuantiles 0.25, 0.50 y 0.75. Estas líneas deberían ser rectas paralelas entre sí y horizontales a valores de y de 0.25, 0.50 y 0.75 para un modelo correctamente especificado.

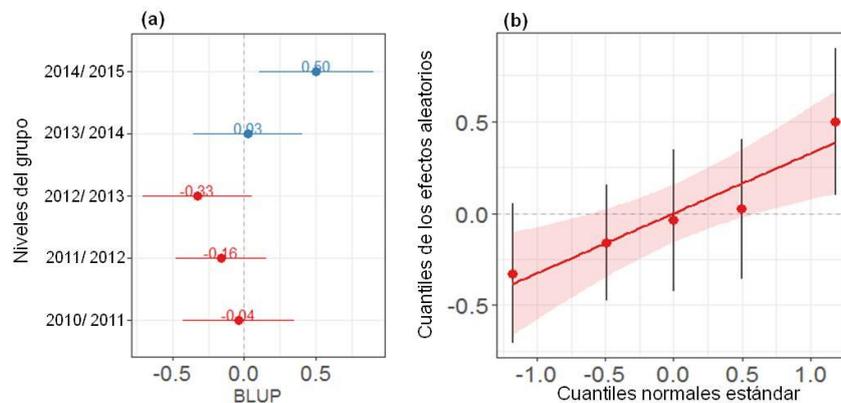


Figura S2. (a) Diferencia en los interceptos de cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca” con respecto al intercepto promedio del GLMM que modela la ocurrencia/ ausencia de días efectivos de pesca. BLUP: mejor predictor lineal no-segado (“*best linear unbiased predictor*”); (b) Gráfico Q-Q de los efectos aleatorios (cuantiles de los efectos aleatorios contra los cuantiles estándar de una distribución normal).

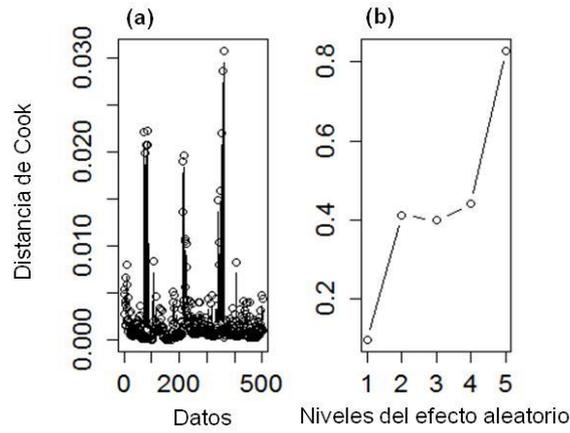


Figura S3. Distancia de Cook de: (a) cada dato utilizado para ajustar el modelo; y (b) cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca”, del GLMM final que modela la ocurrencia/ ausencia de días efectivos de pesca. La distancia de Cook fue estimada a través del paquete “influence.ME” del software R.

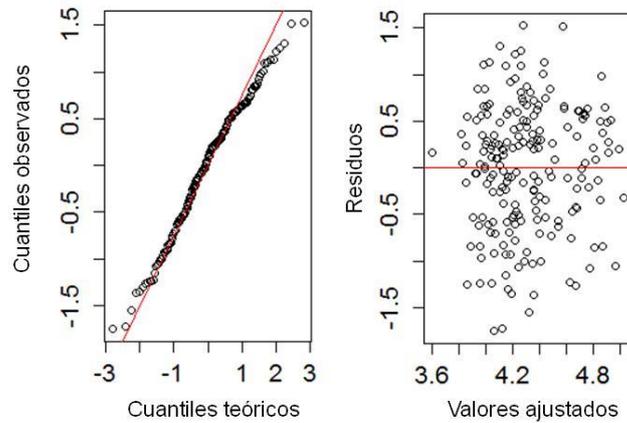


Figura S4. Validación gráfica GLMM final que modela el log (captura acumulada) para un día de pesca dado. (a) Gráfico Q-Q de los cuantiles observados contra los cuantiles teóricos esperados de una distribución normal; y (b) residuos del modelo contra los valores ajustados.

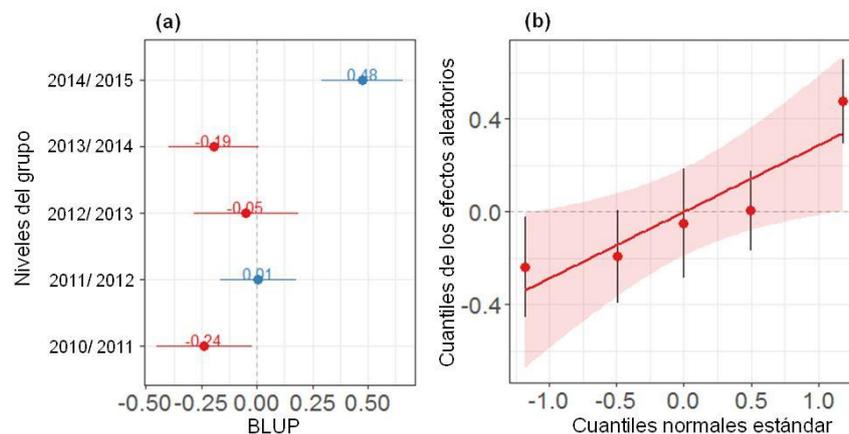


Figura S5. (a) Diferencia en los interceptos de cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca” con respecto al intercepto promedio del GLMM que modela el log (captura acumulada) para un día de pesca dado. BLUP: mejor predictor lineal no-sesgado (“best lineal unbiased predictor”); (b) Gráfico Q-Q de los efectos aleatorios (cuantiles de los efectos aleatorios contra los cuantiles estándar de una distribución normal).

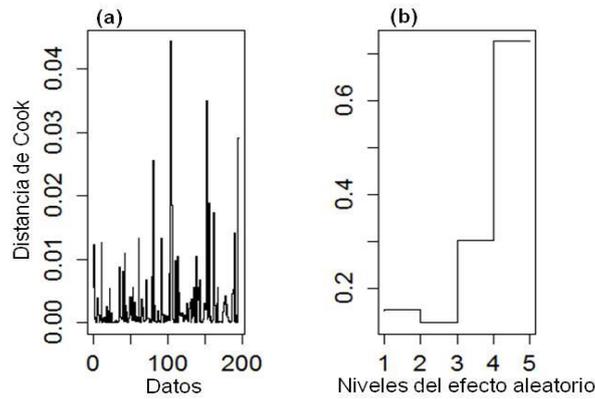


Figura S6. Distancia de Cook de: (a) cada dato utilizado para ajustar el modelo; y (b) cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca”, del GLMM final que modela el log (captura acumulada) para un día de pesca dado. La distancia de Cook fue estimada a través del paquete “HLMdiag” del software R.

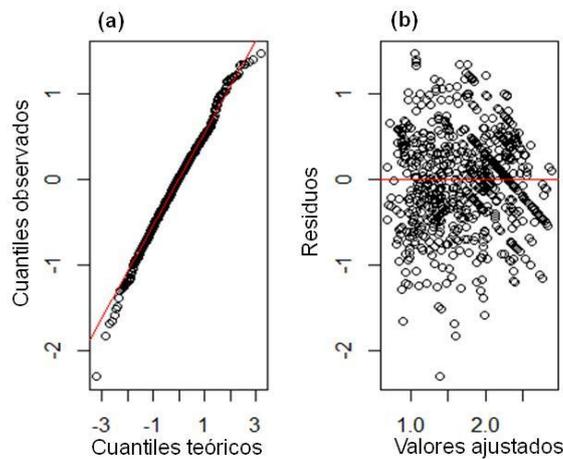


Figura S7. Validación gráfica GLMM final que modela el log (CPUE) para cada evento de pesca individual. (a) Gráfico Q-Q de los cuantiles observados contra los cuantiles teóricos esperados de una distribución normal; y (b) residuos del modelo contra los valores ajustados.

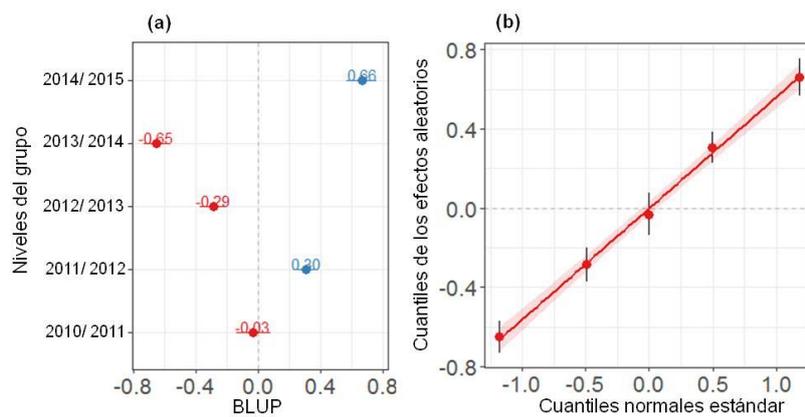


Figura S8. (a) Diferencia en los interceptos de cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca” con respecto al intercepto promedio del GLMM que modela el log (CPUE) para cada evento de pesca individual. BLUP: mejor predictor lineal no-sesgado (“*best lineal unbiased predictor*”); (b) Gráfico Q-Q de los efectos aleatorios (cuantiles de los efectos aleatorios contra los cuantiles estándar de una distribución normal).

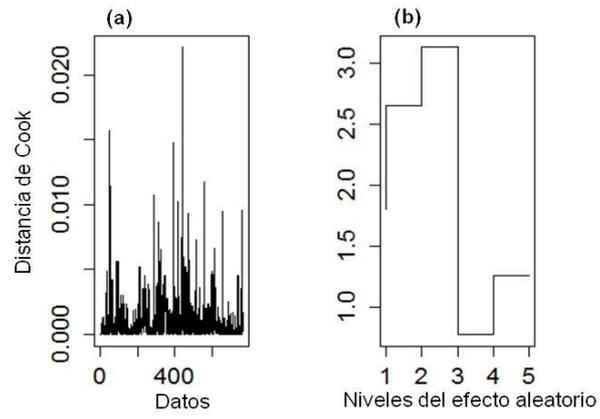


Figura S9. Distancia de Cook de: (a) cada dato utilizado para ajustar el modelo; y (b) cada nivel del efecto aleatorio “temporada de pesca”, del GLMM final que modela el log (CPUE) para cada evento de pesca individual. La distancia de Cook fue estimada a través del paquete “HLMdiag” del software R.