

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

ESTUDIO DE LA ZONA COSTERA DEL BALNEARIO PIRIÁPOLIS

Rodrigo Mosquera, Guillermo López Méndez y Luis Teixeira

IMFIA, Facultad de Ingeniera, Universidad de la República, Uruguay, rmosquer@fing.edu.uy

IMFIA, Facultad de Ingeniera, Universidad de la República, Uruguay, glopez@fing.edu.uy

IMFIA, Facultad de Ingeniera, Universidad de la República, Uruguay, luistei@fing.edu.uy

RESUMEN:

Piriápolis es uno de los centros turísticos de mayor importancia en la costa uruguaya, habiendo sido concebido desde sus orígenes como tal. Se encuentra al oeste del departamento de Maldonado y dista 90 km de Montevideo. A lo largo de décadas la costa ha sufrido un proceso erosivo, por lo que actualmente, la playa resulta angosta para satisfacer las necesidades recreativas del balneario, estando casi totalmente cubierta por el mar en crecidas ordinarias. Este artículo presenta los principales aspectos del estudio realizado para establecer el diagnóstico de las causas de la pérdida de la playa de Piriápolis, y el análisis de las posibles líneas de acción tendientes a revertir el proceso de pérdida de playa y asegurar la estabilidad del sistema costero. La pérdida de playa se debe principalmente a la falta de material sedimentario en el sistema, determinado por la construcción del muro costanero por delante de la primera línea de dunas. En los últimos años los cambios observados en la playa son la respuesta del sistema costero a la ampliación del puerto aledaño. Como medida de intervención directa se recomienda la implementación de un relleno artificial con arena. La acción recomendada tiene duración mediana y con bajo potencial de impacto ambiental.

ABSTRACT:

Piriápolis is one of the most important tourist centers in the Uruguayan coast, which has been conceived from its origins as a resort. Piriápolis is located at west of the department of Maldonado and it is 90 km from Montevideo. At the present the beach is narrow to meet the recreational activities being almost entirely covered by the sea in ordinary floods. This article presents the main aspects of the study to establish the diagnosis of the loss of beach in Piriápolis, and analysis of the possible action aimed at reversing the process of loss of beach and ensures the stability of the coastal system. The retreat of the beach is mainly due to the lack of sedimentary material in the system, given by the construction of sea wall ahead of the first line of dunes. In recent years, the change observed on the beach is the response of the coast to the port expansion. An artificial beach nourishment is recommended as a direct intervention. This intervention has median and low environmental impact.

PALABRAS CLAVES:

Erosión de costa. Recuperación de playas.

INTRODUCCIÓN

Piriápolis es uno de los centros turísticos de mayor importancia en la costa uruguaya. Habiendo sido concebido como tal desde sus orígenes. Se encuentra al oeste del departamento de Maldonado y dista 90 km de Montevideo. A lo largo de décadas la costa ha sufrido un proceso erosivo, por lo que actualmente la playa resulta angosta para satisfacer las necesidades recreativas del balneario, estando casi totalmente cubierta por el mar en crecidas ordinarias. Su ubicación se presenta en la Figura 1.

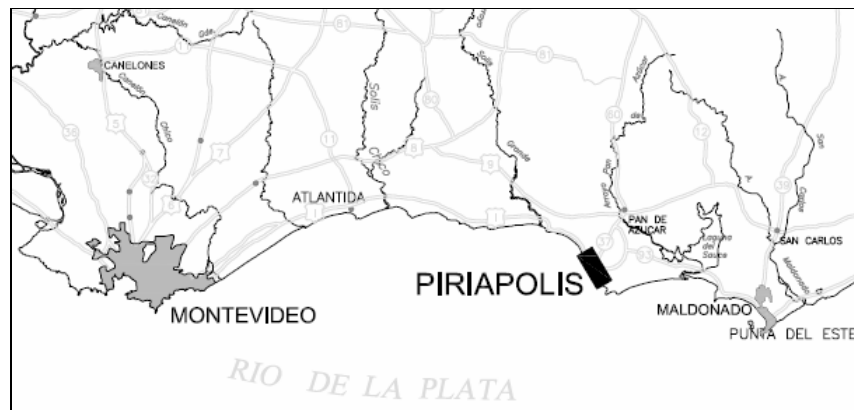


Figura 1.- Ubicación de Piriápolis.

El arco de playa que incluye a Piriápolis tiene una longitud superior a 3 km y se orienta en dirección NE-SW y NW-SE. Es parte de una sucesión de arcos que existen desde la playa mansa de Punta del Este hasta la playa Carrasco en Montevideo. La morfología de estos arcos está determinada por la presencia de salientes rocosas, testigos de la formación Zócalo del Río de la Plata.

Las características morfológicas del tramo en estudio están determinadas por la presencia de la punta Imán, punta Negra y punta Rasa en el extremo Este, la punta de los Burros en el extremo Oeste, así como por las distintas intervenciones antrópicas que se han realizado a lo largo de todo el arco de playa. Se destacan, en ese último sentido la construcción del muro costanero, del campo de espigones y la construcción y posterior ampliación del puerto.

La batimetría de las puntas rocosas reduce prácticamente en su totalidad el transporte de sedimentos desde y hacia fuera del arco. Es decir que el arco de playa de Piriápolis puede considerarse como una unidad fisiográfica.

Se trata de un arco con evidencias históricas de pérdida de playa, resultando angosta para satisfacer las necesidades recreativas del balneario. En la actualidad se encuentra casi totalmente cubierta por el mar en crecidas ordinarias. La Figura 2 muestra las características del tramo de costa en estudio.

Se trata de un tramo de costa que ha sufrido fuertes intervenciones antrópicas desde el año 1920. A continuación se presenta un resumen de las mismas (PNUD-UNESCO, MTOP. 1978):

- En el año 1920 se inauguran el puerto de Piriápolis y la rambla costanera delimitada por un muro vertical de contención próximo a la costa. Tanto el muro costanero como las primeras líneas urbanizadas hacia el interior del territorio se han construido por delante y sobre el primer cordón de dunas, afectando la línea de playa y su estabilidad en planta y perfil.
- Con el objetivo de detener este proceso, la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH) dispuso la construcción de una batería de nueve espigones en el plan de obras de 1944.

Esos espigones tenían una longitud entre 30 y 40 metros y una separación del orden de 200 metros. Si bien estos espigones eran muy cortos, provocaron una acumulación de arena con el correspondiente avance en la línea de costa.

- Entre 1960 y 1961 se construyó un nuevo espigón en el extremo Sureste y se realizó una prolongación de casi todos los espigones existentes hasta unos 80 m aproximadamente. Estas obras provocaron avance menor en la línea de costa.

En 1997 se inauguró la remodelación y ampliación del puerto de Piriápolis produciéndose un reacomodo del sedimento presente en la playa. Luego de esta ampliación se ha percibido una disminución de la playa en la zona central y un incremento de su ancho en la zona SE.

En la Figura 2 se presenta la ubicación de las distintas intervenciones realizadas en este tramo de costa.

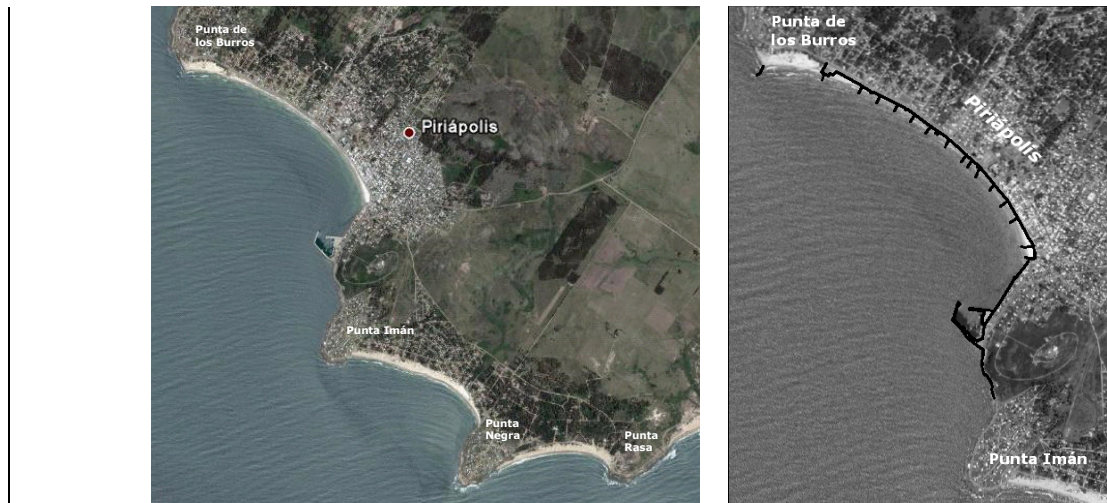


Figura 2.- Tramo de costa de interés (izquierda) y ubicación de las distintas intervenciones realizadas para el control de pérdida de playa (derecha).

Este artículo presenta los principales aspectos del estudio realizado para establecer el diagnóstico de las causas de la pérdida de la playa de Piriápolis, y el análisis de las posibles líneas de acción tendientes a revertir el proceso de pérdida de playa y asegurar la estabilidad del sistema costero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consistió en el análisis de las variables medioambientales que condicionan la evolución del sistema costero, el diagnóstico de los procesos en desarrollo y la determinación de las medidas necesarias para detener el proceso de pérdida y recuperar la playa. La metodología empleada implicó la determinación del clima de oleaje, el análisis de la evolución de la costa en distintas escalas temporales (estudio de la estabilidad en planta del arco de costa, la comparación de fotos aéreas de distintos años) y la implementación de un modelo numérico de evolución de la línea de costa.

Antecedentes e información de base

Los antecedentes recopilados y la información utilizada se resume en: 17 estudios previos realizados por distintos organismos estatales, técnicos nacionales y consultores extranjeros; información geológica y geomorfológica; cartas batimétricas del Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA); cartas topográficas del Servicio Geográfico

Militar (SGM); datos de viento de estaciones ubicadas en Pontón Recalada y Punta del Este; datos de oleaje de una boya situada en el Río de la Plata; datos de marea de la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH); datos sedimentológicos del proyecto PNUD-UNESCO con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO); fotografías aéreas de la Fuerza Aérea Uruguaya (FAU). La información batimétrica, topográfica y sedimentológica fue complementada con un relevamiento realizado en el marco del estudio.

Variables físicas

Se analizaron aspectos de: geología y geomorfología, batimetría, sedimentología, vientos, oleaje, marea, transporte litoral, transporte fluvial y transporte eólico.

La información de vientos utilizada para la caracterización del clima de vientos corresponde a registros tri-horarios de vientos registrados en la estación Pontón de Recalada, para el período 1997-2001. Esa estación se encuentra ubicada en el Río de la Plata en las coordenadas 35 ° 02 ' S, 55 ° 51 ' W, es decir aproximadamente a 30 km al Sur-Este de Montevideo. Por otro lado, se evaluó la correspondencia de los registros de Pontón Recalada con la estación Punta del Este. La estación de Punta del Este se encuentra ubicada en el aeropuerto de dicha ciudad y posee un anemómetro instalado desde 1940 por la Dirección Nacional de Meteorología (DNM).

Para la determinación del clima de oleaje hay que tener en cuenta que en la zona de Piriápolis coexisten dos tipos de oleaje: El oleaje producido por la acción del viento sobre la superficie del Río de la Plata, denominado “Sea” u oleaje de viento y el oleaje de mar de fondo o “swell”. La generación del “sea” en esta zona tiene la particularidad de producirse en condiciones de aguas limitadas en profundidad, razón por la cual la generación ocurre simultáneamente con otros procesos, como ser la refracción-difracción y el amortiguamiento. El “swell” u oleaje de mar de fondo es generado en aguas profundas en el océano Atlántico y se propaga hacia el interior del estuario del Río de la Plata. El oleaje de mar de fondo va perdiendo energía a medida que ingresa en el estuario, debido a las condiciones de aguas poco profundas (menores a 20 m en su gran mayoría). Es por esto que en el tramo de costa en estudio, el oleaje que registra mayores alturas es generado por la acción del viento.

El clima de olas se obtuvo sobre la base de los datos de medición de oleaje recopilados y del cálculo del oleaje mediante un modelo numérico de generación y propagación (SWAN). El modelo genera el oleaje a partir de los datos de viento, tomando en cuenta la interacción con el fondo.

Se emplearon datos de olas medidos por la empresa HIDROVIA mediante una boya ubicada en la boca del Río de la Plata, en la mitad del segmento imaginario que une Punta del Este con San Clemente, como se indica en la Figura 3. Los datos de oleaje registrados por la Boya van desde junio de 1996 a noviembre de 2001.

Para el cálculo del oleaje de viento mediante el modelo SWAN se utilizaron datos tri-horarios de viento, registrados en la estación Pontón de Recalada. La velocidad y dirección de viento son registradas cada tres horas desde 1997, siendo una base de datos representativa de la zona central del Río de la Plata. En la Figura 3 se muestra la ubicación de la estación Pontón de Recalada y de la boya de HIDROVIA.

Para generar el régimen medio de oleaje se utilizó en forma conjunta el oleaje local calculado a partir de la estadística de vientos de Pontón de Recalada, junto con los datos de ola medidos en la boya de la empresa HIDROVIA

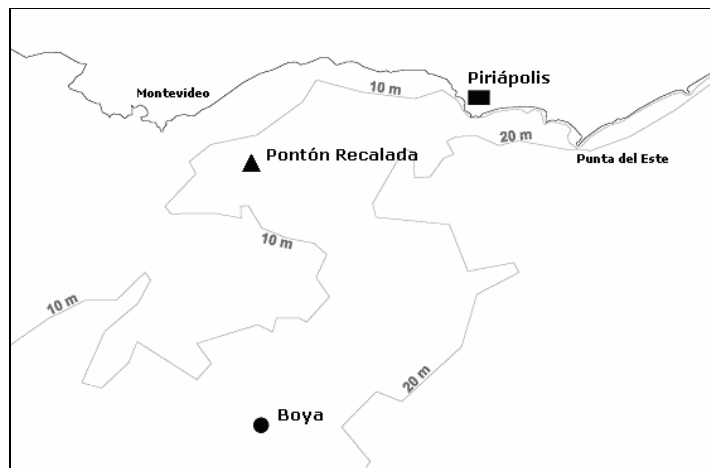


Figura 3.- Ubicación de la Boya de HIDROVIA.

La caracterización del nivel del mar se realizó a partir de la información mareométrica de la estación de Piriápolis brindada por el Departamento de Hidrología de la Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (DINASA). Esta información abarca el período 1971-2007.

Análisis de la evolución de la costa

La caracterización de la costa en la zona de estudio se realizó para diferentes escalas temporales. Este análisis se ha utilizado como base del diagnóstico de los procesos en desarrollo, así como para el análisis de distintas acciones correctivas. El análisis de la evolución de la costa se realizó mediante la aplicación de diversas herramientas conceptuales combinadas con modelos numéricos.

Para determinar la evolución de la costa en el largo plazo se estableció la curva de equilibrio estático en planta y el perfil transversal de equilibrio. La curva de equilibrio en planta fue determinada utilizando la ecuación propuesta por Hsu y Evans. Se consideraron como posibles puntos de difracción la punta Imán y la punta de la escollera del puerto.

La evolución de la costa en el mediano plazo se determinó utilizando las fotos aéreas y la implementación del software GENESIS. El modelo fue implementado para simular la evolución histórica observada en las fotos aéreas. La serie de olas utilizada fue determinada a partir del clima de olas.

A partir de la superposición de las fotos aéreas y satelitales de los años: 1942, 1966, 1978, 1980, 1995, 2001, 2004, 2006 y 2008, se evaluó la evolución histórica que ha experimentado la línea de playa en todo el tramo de costa del balneario.

Se estudió la evolución en el corto plazo de distintos eventos de tormenta. Este estudio abarcó el análisis de la respuesta del perfil transversal de playa y los patrones de corrientes litorales de dichos eventos.

Modelación de la evolución de la línea de costa

Se implementó el modelo numérico GENESIS, desarrollado por el Coastal Engineering Research Center (CERC) de la Armada de Estados Unidos. Este modelo permite estudiar la evolución de la línea de costa y su afectación por distintas obras. El objetivo de este modelo es obtener una descripción del comportamiento de la playa de Piriápolis y en particular analizar la influencia de las obras y las posibles medidas a implementar en el control de la pérdida de playa.

Diagnóstico general y medidas de control de la pérdida de playa

A partir de la integración de los resultados de las distintas metodologías empleadas se desarrolló el diagnóstico de la problemática de pérdida de playa y su relación con las intervenciones antrópicas existentes. Asimismo se analizó el efecto de las medidas de control recomendadas para el tramo de costa en estudio.

RESULTADOS

Resumen del clima de ola

El clima de olas de la zona de Piriápolis es una combinación de olas locales generadas por la acción local del viento y de olas de mar de fondo. La Figura 3 muestra los resultados gráficos de la distribución por altura (H_{mo}), por dirección y por período pico (T_p) del clima de oleaje medio.

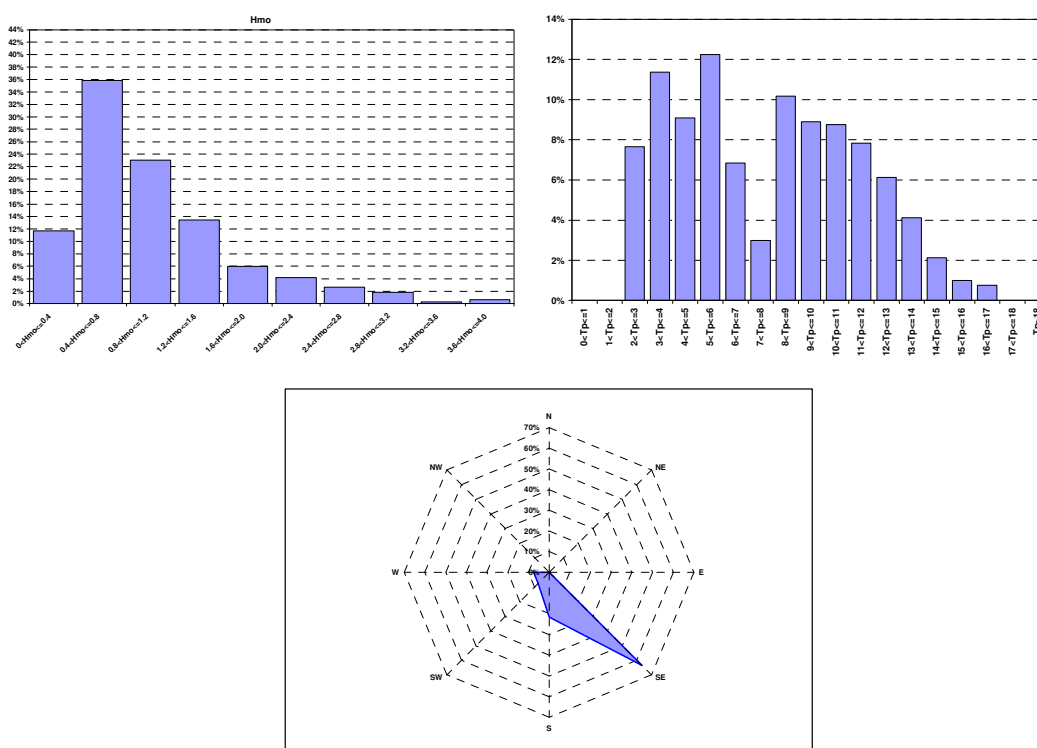


Figura 3.- Distribución del clima de oleaje medio para la zona de Piriápolis por altura de ola (H_{mo}), por período pico (T_p) y por dirección.

Los resultados muestran que prácticamente el 84 % de las olas tiene altura menor a 1,6 m y que la mitad de las alturas de olas en la zona de Piriápolis son menores a 0,8 m. El oleaje proviene prácticamente en su totalidad (93 %) del cuadrante formado por la dirección SW y SE, entre ellas las direcciones predominantes son SE (64 %) y S (22 %). A su vez, se observa la presencia del oleaje producido por la acción local y del oleaje de mar de fondo. El oleaje producido por la acción del viento local está asociado a un período pico de entre 3 y 7 segundos, mientras que al oleaje de mar de fondo está asociado a un período pico de entre 8 y 14 segundos. Los resultados indican que los dos tipos de oleaje se presentan prácticamente con la misma frecuencia.

La dirección predominante del oleaje queda de manifiesto con la dirección de la resultante del flujo de energía. En la zona de Piriápolis esta dirección forma un ángulo de 108 ° con la dirección Oeste-Este, como se ilustra en la Figura 4.



Figura 4.- Dirección de la resultante del flujo de energía dado por el clima de olas.

Evolución de la costa a largo y mediano plazo

El método de la parábola de equilibrio fue establecido por Hsu y Evans. Es uno de los métodos más aceptados como herramienta de predicción de la forma de equilibrio estático de una playa. En este caso, se procedió a analizar el tramo de costa situado entre la punta Imán y la punta de los Burros a partir de considerar dos puntos duros o de difracción del oleaje incidente: el puerto de Piriápolis para el tramo de costa cercana al mismo y la punta Imán para el tramo de costa más alejado. En la Figura 5 se observan las parábolas de equilibrio estático del tramo de costa en estudio, trazadas a partir de los dos puntos de difracción considerados.



Figura 5.- Parábola de equilibrio estático del tramo de costa en estudio, con punto de difracción en la punta Imán y en el puerto.

La posición actual de la costa en el tramo central del arco (cercanías del Argentino Hotel) se encuentra delante de las curvas de equilibrio estático. Por lo tanto, este tramo de costa presenta tendencia potencial al retroceso. La parábola de equilibrio muestra un buen ajuste para el resto del arco de playa, indicando que estos tramos se encuentran en una situación muy cercana al equilibrio estático.

El análisis del perfil transversal de playa para todos los sectores del arco de Piriápolis arroja como resultado una coincidencia aceptable entre el perfil teórico (propuestos por Dean) dado por la

granulometría del material presente y el perfil medio. También es posible observar que los perfiles cercanos a punta Imán son más tendidos y están constituidos de material más fino. Esto puede atribuirse a que estos perfiles se encuentran más protegidos del oleaje por el efecto de difracción dado por el puerto. La energía del oleaje incidente será menor pudiendo el perfil de playa adquirir taludes menores, estando constituido por material granular de menor diámetro representativo.

En el estudio a **mediano plazo** se analiza la evolución histórica que ha experimentado la línea de costa en los últimos años a partir de los registros fotográficos. Se implementó un modelo de evolución de la línea de costa capaz de reproducir la evolución observada.

En la Figura 6 se presenta la evolución de la costa entre el 1980 y el 2004 en todo el arco de playa y en particular para los tramos 1 y 2 del extremo Este.

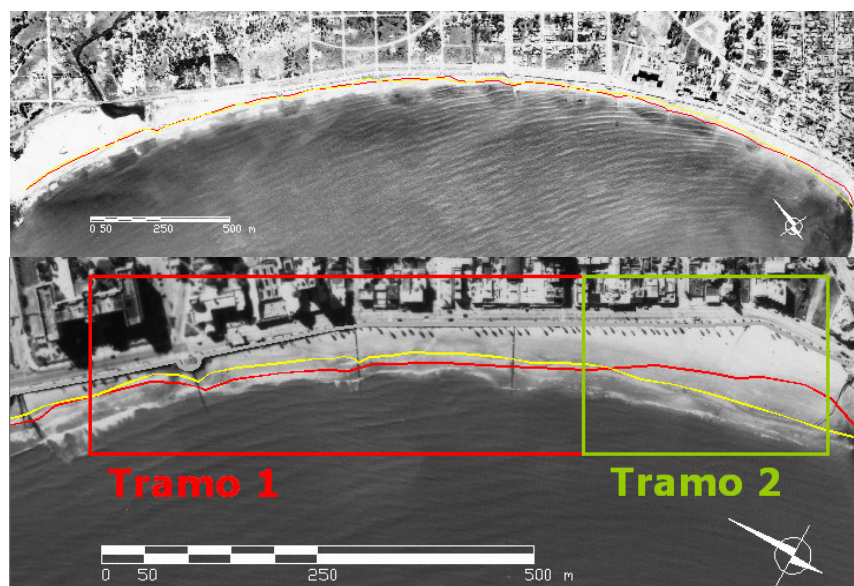


Figura 6.- Evolución de la línea de costa en la zona de estudio. Año 1980 (rojo). Año 2004 (amarillo). Vista general del tramo (arriba). Acercamiento en el tramo central (abajo).

Se puede observar que un marcado retroceso o incremento generalizado en la línea de costa. Los cambios más significativos se observan en los tramos del sector Este, cercanos al puerto (tramo 1 y 2). El tramo 1 tiene una longitud de 600 m y presenta un retroceso de 10 m. En particular frente al Hotel Argentino se observa un retroceso de la playa seca, entre los años 80 y la actualidad, que alcanzan los 8 m. El tramo 2, que es el más cercano al puerto, tiene una longitud de 300 m y presenta una acreción de 25 m. Esta observación se verifica para los últimos 30 años a partir de los restantes registros fotográficos.

El cambio en los tramos referidos del sector Este, puede ser explicado debido a que en 1997 se inauguró la remodelación y ampliación del puerto de Piriápolis. Esta remodelación generó un cambio del patrón de corrientes en las cercanías del puerto que permitió el avance de la costa cercana al mismo (tramo 2). Debido a que la playa de Piriápolis no tiene un aporte significativo de arena de las playas cercanas y dado la falta de arena en el sistema, el avance del tramo 2 se alimenta del retroceso en el tramo 1 (zona cercana al Hotel Argentino).

Como ya fue mencionado, con el objetivo de obtener una descripción del comportamiento de la playa de Piriápolis, se implementó el modelo numérico GENESIS, desarrollado por el Coastal Engineering Research Center (CERC) de la Armada de Estados Unidos. La línea de costa modelada cubre una longitud de más de 7.000 metros. Con el fin de evitar problemas con las condiciones de contorno, el dominio modelado excede el tramo en estudio. En el extremo Este se encuentra el arco

adyacente a la punta Imán y en el Oeste el fin de la playa en la punta de los Burros. El puerto fue modelado como un espigón y un dique exento. También se modelaron los espigones y el muro costero. Las zonas rocosas de las puntas fueron modeladas como espigones, muros costeros y diques exentos, de manera de simular el efecto que estas producen en el oleaje y el transporte. En la Figura 7 se puede observar un esquema del modelo.

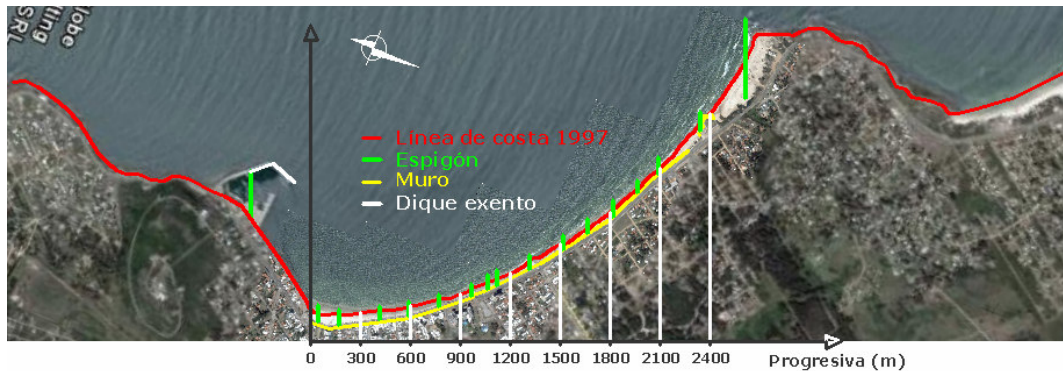


Figura 7.- Implementación del modelo de una línea (GENESIS).

Se modeló el comportamiento de la línea de costa en el periodo 1997 – 2004. La Figura 8 muestra el resultado de la posición de la línea de costa al inicio y final del período analizado. En esta figura se puede apreciar que la línea de costa reproduce de manera aceptable los cambios registrados en las fotos aéreas, en particular el avance de la costa en el tramo adyacente al puerto y el retroceso en el tramo contiguo. El modelo reproduce el reacomodo de la arena observado en la playa de Piriápolis a partir de la ampliación del puerto.

Los resultados del transporte litoral de sedimentos son muy bajos. El máximo del transporte bruto en todo el tramo apenas supera los $10.000 \text{ m}^3/\text{año}$, mientras que la media se encuentra por debajo de los $5.000 \text{ m}^3/\text{año}$. Los resultados de transporte neto a lo largo del tramo muestran que en general el sentido del transporte es en dirección NW – SE. Estas consideraciones coinciden con observaciones del informe de DNH (1989) “Determinación del transporte de arenas en la playa de Piriápolis por la evolución de los parámetros poblacionales”.



Figura 8.- Resultados del modelo GENESIS. Posición inicial y final de la línea de costa para el periodo 1997-2004.

Influencia de las obras en la evolución de la costa

Se evaluaron distintas intervenciones realizadas en este tramo de costa a partir del modelo de evolución de costa de una línea (GENESIS). Las intervenciones evaluadas fueron: la ampliación del puerto, el campo de espigones y el muro costanero.

Para el análisis de la influencia de la **ampliación del puerto** se modeló la evolución de la línea de costa en el período 1997-2004 tanto suponiendo la situación original del puerto, como con su configuración posterior a la ampliación. Los resultados se presentan en la Figura 9.

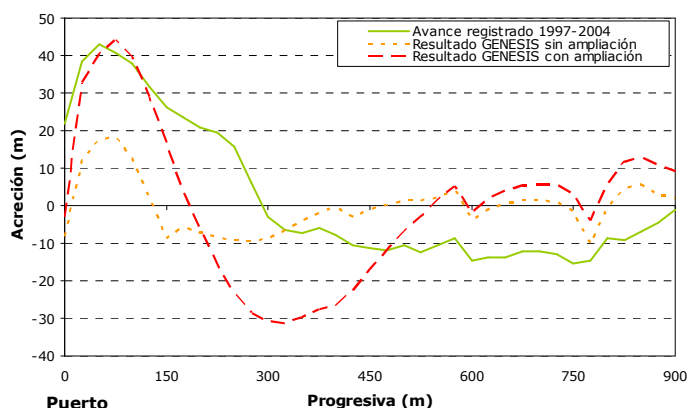


Figura 9.- Comparación de resultados del GENESIS y de la evolución registrada en el período 1997-2004.

Los resultados muestran que la ampliación del puerto tuvo un rol importante en el avance de la línea de costa en el tramo cercano al mismo, a partir del cambio en el patrón de corrientes y en el consecuente comportamiento sedimentológico de este tramo de costa. Al no existir un aporte de arena externo al tramo, el sedimento que alimenta el avance mencionado es extraído del tramo adyacente produciendo allí una zona con tendencia al retroceso.

El análisis de la influencia del **campo de espigones** mediante el modelo indica que su rol no ha sido de importancia y en particular que en la actualidad no está jugando un papel significativo en la estabilidad de la línea de costa.

Previo a la construcción de los primeros espigones (período 1920-1944), la existencia del muro costanero era seguramente más relevante en la dinámica costera de lo que es en la actualidad.

Con el objetivo de evaluar el rol del muro costanero en la evolución de un perfil de playa, frente a eventos de tormenta, se implementó el modelo PETRA integrado al Sistema de Modelado Costero, (SMC)¹.

Los resultados de la modelación indican que la presencia del muro determina que el perfil de playa no tenga capacidad de adaptación frente a tormentas. Al no existir la duna que funcione como fuente de sedimento, se imposibilita la formación de una barra que disipe la energía del oleaje y evite la erosión de la línea de costa. El perfil pierde así la capacidad de autodefensa, incrementándose el proceso erosivo al pie del muro, expuesto directamente a la acción del oleaje incidente y reflejado.

¹ El Sistema de Modelado Costero, SMC, es un conjunto de herramientas numéricas de distribución gratuita desarrolladas por la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente de España y la Universidad de Cantabria, con el objetivo de posibilitar un mejor diseño, ejecución y seguimiento de las actuaciones a realizar para la preservación del medio ambiente litoral.

Diagnóstico general del problema

Los estudios realizados parten de la constatación de que la playa de Piriápolis resulta angosta para satisfacer las necesidades recreativas del balneario ya que gran parte se encuentra bajo agua en crecientes ordinarias. La problemática de pérdida de playa es un problema histórico evidenciado por la cantidad de intervenciones realizadas en este sistema.

Los resultados del análisis de largo plazo indican una situación muy cercana a la estabilidad estática en todo el arco, a menos de la zona central, localizada inmediatamente al Oeste del Hotel Argentino, donde existe una potencial tendencia a la erosión.

La pérdida de playa del balneario se debe principalmente a la falta de material sedimentario en el sistema, debido a la construcción del muro costanero por delante de la primera línea de dunas. Las distintas intervenciones antrópicas que se han realizado a lo largo de los años son las responsables de los cambios en la línea de costa. En particular la construcción del paseo marítimo y su muro delante de la duna primera, es determinante del progresivo retroceso y descenso de la playa. A partir de la construcción del campo de espigones se ha observado un pequeño incremento de la playa en las zonas central y Este del balneario. La ampliación del puerto, última intervención efectuada, ha provocado un nuevo reacomodo del sedimento del sistema, acreciendo la playa en la zona Este (al abrigo del puerto) y disminuyendo la playa en la zona Central.

Medidas de control de la erosión

La playa de Piriápolis es una unidad fisiográfica, no existe ingreso y egreso de sedimento de este sistema. En función de esta consideración, y de que este sistema costero tiene una notoria falta de material arenoso, se propone agregar al sistema una cantidad significativa de arena de manera de incrementar el ancho de playa y mejorar la respuesta del perfil frente a eventos de tormenta. La solución recomendada consta de un relleno con arena en un tramo de 1.400 metros de longitud. Este relleno implica un volumen de algo más de 700.000 m³ de arena. La propuesta realizada abarca la metodología constructiva, un cronograma de ejecución, un estimativo del costo y un plan de monitoreo y seguimiento. En la Figura 10 se presenta la línea de costa antes y después de la intervención propuesta.



Figura 10.- Posición de la línea de costa, antes y después de la solución propuesta.

Se modelo la evolución de la línea de costa a partir del relleno propuesto. En la Figura 11 se presenta la distancia de avance del relleno inicial y al final de un periodo de 7 años (modelado), respecto a la línea de costa actual.

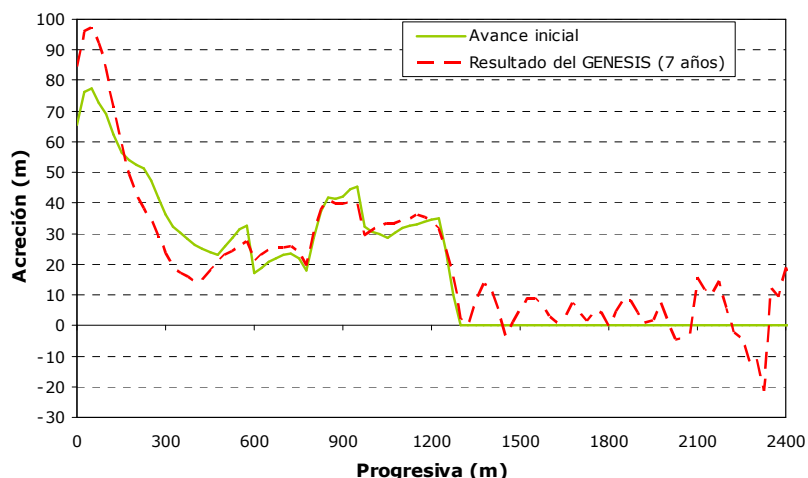


Figura 11.- Distancia a la línea de costa actual del relleno inicial y luego de 7 años.

Los resultados muestran que la evolución de la línea de costa posterior al relleno es estable. Se observa que el relleno se distribuye en todo el arco de playa incluso logrando un avance de la línea de playa, de entre 5 y 10 metros, más allá de la zona intervenida. Como contrapartida ese material distribuido en la zona Oeste produce un pequeño retroceso de la playa seca en la zona rellena.

Los resultados permiten concluir que la medida planteada para la recuperación de la playa resulta eficiente y que la necesidad de mantenimiento del relleno es baja. La medida permite el incremento de la playa seca en la zona intervenida y en menor medida en el tramo Oeste.

La solución propuesta tiene como contrapartida que al agregar arena en el sistema, existirá mayor disponibilidad de material para ser transportada por el viento local y eventualmente retirarla de la playa. Esto puede provocar la necesidad de prever el manejo de la arena por transporte eólico. Esta problemática ya se observa en puntos de la playa cuyas características geométricas actuales son similares a las del relleno proyectado. De manera de disminuir el volumen de arena que puede ser vertido sobre la rambla y en consecuencia, la frecuencia de las medidas de limpieza y mantenimiento necesarias, se propone la construcción de cercas captoras de protección frente al transporte eólico. Las cercas se ubican 6 metros por delante y en forma paralela al muro costanero.

Conclusiones

La playa de Pirlápolis ha sufrido un progresivo proceso de erosión y actualmente resulta angosta para satisfacer las necesidades recreativas del balneario. En este artículo se presenta el diagnóstico del comportamiento actual de esa playa y el rol que las distintas estructuras existentes tienen en la dinámica costera. También se presentan las líneas de acción para el manejo de este tramo de costa, tendiente a asegurar la estabilidad del sistema costero y su uso sustentable.

Los resultados del análisis de largo plazo indican una situación muy cercana a la estabilidad estática en todo el arco, a menos de la zona central, localizada inmediatamente al Oeste del Hotel Argentino, donde existe una potencial tendencia a la erosión.

La pérdida de playa del balneario se debe principalmente a la falta de material sedimentario en el sistema, debido a la construcción del muro costanero por delante de la primera línea de dunas. En los últimos años los cambios observados en la playa (tanto acreción como pérdida) se atribuyen a la respuesta del sistema costero a distintas intervenciones antrópicas, en particular, en las últimas décadas, a la ampliación del puerto. Las distintas intervenciones realizadas con los espigones han tenido poco éxito ya que solamente han logrado ciertos incrementos en la playa a partir del reacomodo del poco material sedimentario presente en el sistema.

Se han definido y evaluado distintos tipos de intervención para el control de la erosión de la playa. Como medida de intervención directa se recomienda la implementación de un relleno artificial con arena. La acción recomendada tiene duración mediana y con bajo potencial de impacto ambiental. El diseño de esta solución toma como hipótesis básicas las principales conclusiones del diagnóstico realizado y los resultados de la modelación de distintas alternativas. El objetivo de la solución propuesta es el aporte de sedimento al sistema identificado como la principal causa de pérdida de playa del balneario Piriápolis.

Los resultados de la modelación de la evolución de la línea de costa del relleno propuesto permiten concluir que la medida planteada para la recuperación de la playa resulta eficiente y que la necesidad de mantenimiento del relleno es baja. La medida permite el incremento de la playa seca en la zona intervenida y en menor medida en el tramo Oeste.

Referencias Bibliográficas

Dean, R. G. and Dalrymple R. (2002). *A. Coastal Processes whit Engineering Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN 0 521 49535 0

Dragani W.C.; Garavento E.; Simionato C.G.; Nuñez, M.N.; Martin, P. and Campos M.I. (2008). "Wave Simulation in the outer Rio de la Plata Estuary: Evaluation of SWAN Model". *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE. September/October 2008.

Gravens, M.B.; Kraus, N.C and Hanson H. (1991). *GENESIS: Generalized Model for Simulated Shoreline Coastal Engineering Research Center CERC*. Departament of the Army. US Army Corps of Engineers.

Kamphius, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., London, UK. ISBN 981 02 3830 4

PNUD-MTOP-UNESCO (1978). *Conservación y Mejora de Playas – URU. 73.007*.

US Army Corps of Engineers (1984). *Shore Protection Manual*.