

LOS PROCESOS DE EROSIÓN COSTERA EN PLAYA UNIÓN

Donini, Hugo J.

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Facultad de Ingeniería. Sede Trelew.
E-mail: hugo.donini@gmail.com

Resumen

El artículo efectúa un análisis retrospectivo de las modificaciones de la línea de playa correspondientes a Playa Unión, identificando etapas marcadas por hechos naturales o acciones antrópicas que incidieron en su dinámica. Para ello, se observó la variación de las líneas batimétricas en los períodos correspondientes a la construcción de la infraestructura portuaria como obras de abrigo y de protección costera. Con el análisis de los resultados obtenidos se detectó que el sector superior del perfil de mayor granulometría tiene mayor susceptibilidad espacial a la erosión marina ante la presencia de elevadas carreras de marea y con elevadas alturas de ola en condición de rotura (tormentas y marejadas), pero con una leve tendencia a la recuperación del material con el transcurso del tiempo posteriormente a dichos eventos. Por otro lado, el sector inferior del perfil compuesto por arenas se ve afectado por la erosión marina tanto en presencia de marejadas como en condición de bajamar y con reducidas alturas de ola hasta una cota batimétrica entre -7 y -9 (referida al cero del MOP). Esto evidencia un retroceso gradual pero constante en el tiempo de las líneas batimétricas asociadas con el material de menor granulometría. Se concluye indicando la necesidad de establecer prioridades enfocadas a un plan de acción y manejo integral que involucre a todos los actores implicados en el espacio litoral y no sólo a la ejecución de obras de protección costera.

Palabras clave: Playa Unión – Erosión costera – Geohistoria – Cambio climático

Abstract

The article makes a retrospective analysis of the modifications of the beach line corresponding to Playa Unión, identifying stages marked by natural events or anthropic actions that influenced its dynamics. To this end, the variation of bathymetric lines was observed in the periods corresponding to the construction of port infrastructure such as rubble mound and coastal protection works. With the analysis of the results obtained, it was detected that the upper sector of the profile with greater granulometry has greater spatial susceptibility to marine erosion in the presence of high tidal races and with high wave heights in a condition of rupture (storms and swells), but with a slight tendency to recover the material over time after these events. On the other hand, the lower sector of the profile composed of sands is affected by marine erosion both in the presence of swells and in low tide condition and with reduced wave heights up to a bathymetric level between -7 and -9 (referring to the zero of the MOP). This shows a gradual but constant regression in time of the bathymetric lines associated with the material of lower granulometry. It concludes by indicating the need to establish priorities focused on an action plan and comprehensive management that involves all the actors involved in the coastal space and not only the execution of coastal protection works.

Recibido: 23/09 - Aceptado:30/11

Keywords: Playa Unión – Coastal erosion - Geohistory - Climate change.

Introducción general

Marco conceptual

El enfoque geohistórico se desprende de la propia concepción geográfica, que entiende el espacio como un producto concreto o síntesis de la acción de los grupos humanos sobre su ambiente para su necesaria conservación y reproducción sujeto a condiciones históricas determinadas (Tovar, 1996, p. 38). El enfoque geohistórico es definido como el estudio de la comunidad desde una perspectiva social, económica y cultural del espacio geográfico. Con él, se muestran las relaciones espaciales que surgen entre los grupos humanos en sociedad (Barrios, 2000). El análisis retrospectivo es un complemento del enfoque geohistórico a los efectos de obtener resultados a partir de los insumos generados por los trabajos de campo, las fuentes documentales y recopilación de fuentes primarias.

Los procesos naturales y los de origen antrópico modifican o alteran el paisaje de los espacios litorales hasta llegar a la configuración actual de acuerdo con su dinámica y a los procesos de ordenación del espacio urbano litoral.

La ruptura del equilibrio dinámico a que tiende el sistema costero obedece a las intervenciones antrópicas sectoriales, sin la debida consideración de un manejo integrado del medio natural y cuyos efectos trascienden en el espacio y en el tiempo en cada interferencia” (Veneziano y García, 2014, p. 2).

El análisis retrospectivo, ligado al concepto de impacto acumulativo rastrea y organiza en espacio y tiempo los eventos ecológicos y sociales en un determinado espacio de interés (Sadar, 1997). En él se emplea el principio de comenzar por el presente volviéndose hacia atrás, hacia el pasado solo en tanto – y tan frecuentemente – como sea necesario para lograr la mejor ilustración de la escena contemporánea (Newcomb, 1976). El principal objetivo de este análisis radica en comprobar una hipótesis, es decir, la relación entre un efecto de carácter sospechoso y su causa. Su desarrollo comienza desde el efecto en el presente, a la causa que lo originó, en el pasado. Este análisis se basa en:

- 1) Una actitud o propósito de hilvanar coherentemente los hechos del pasado.
- 2) El reconocimiento de que tales rastros se presentan dispersos en “historias individuales”, que formalmente pueden pertenecer a diferentes disciplinas (Escofet, 2007, p. 5).

El análisis cuantitativo de los cambios morfológicos de una playa es fundamental para interpretar los agentes causales y las medidas para mitigarlos. Las playas y sus costas

constituyen una zona de transferencia de energía entre los materiales que las conforman y las olas. El medio terrestre costero se deforma y evoluciona en un entorno en constante movimiento, el mar (Donini, 2016). Estos efectos sobre la playa afectan al espacio litoral y lo modifican. Las modificaciones traen aparejadas consecuencias en el desarrollo histórico y urbano de una ciudad.

Cada zona costera se constituye en un espacio diferente que debe ser capaz de satisfacer las demandas para el urbanismo como soporte de sus actividades, así como para la producción y la disponibilidad de sus recursos. El mantenimiento de un equilibrio permite el uso racional de ese ecosistema. La imposición de modificaciones impuestas por el hombre y las transformaciones ambientales sufridas a causa de la introducción de elementos ajenos genera consecuencias ambientales que alteran el equilibrio inicial y suelen impactar en la disponibilidad de superficies para el desarrollo y ordenamiento urbano. Las zonas costeras están bajo una doble presión; desde el lado de la tierra, por el crecimiento de la población y la pérdida de los humedales costeros que se destinan a la agricultura y la expansión urbana, y desde el océano, por las inundaciones progresivas que erosionan la costa (Vörösmarty et al., 2009). La inclusión de las actividades portuarias en zonas urbanas, producen procesos de exclusión como resultado de la lucha por el reposicionamiento de los puertos en la articulación del nuevo orden comercial (Granda, 2005).

El rastreo bibliográfico, cartográfico, aerofotográfico y documental, priorizando las modificaciones registradas en la línea de costa y las áreas adyacentes inmediatas, permiten encarar estos estudios. El análisis de la información obtenida puede identificar cambios y alteraciones más significativos, determinando el origen natural o antrópico de dichas transformaciones de modo de evaluar los efectos ambientales más relevantes. Los registros bibliográficos, la interpretación de las imágenes aéreas y satelitales, testimonios documentales e imágenes históricas permiten cualificar los cambios, diseñar cartografía, matrices y establecer correlaciones con los procesos de mayor trascendencia para la evolución de la franja costera.

Como objetivo se plantea evaluar la evolución morfodinámica de Playa Unión frente a los procesos de erosión costera durante el período comprendido entre 1976 a 2014, identificando hechos naturales o acciones antrópicas que incidieron en su dinámica.

Ubicación geográfica

A 4 km de la ciudad de Rawson se halla el balneario de Playa Unión, objeto del presente estudio, el cual pertenece al ejido de la capital de la provincia del Chubut. Se encuentra emplazado en la Bahía Engaño sobre un mar abierto, formando un conjunto

indivisible con Puerto Rawson. Es por ello que constituye la villa balnearia de las localidades que conforman el Valle Inferior y es visitada por los habitantes de toda la Patagonia, el sur de Chile y paulatinamente por el resto del país. La ciudad de Rawson, capital de la provincia del Chubut se encuentra localizada en el departamento de igual nombre, a los $43^{\circ} 20' S$ y $64^{\circ} 04' O$, en el curso inferior del Río Chubut, a 8 km de su desembocadura en forma de estuario en el Océano Atlántico (Figura 1). El puerto de Rawson es de características fluvio – marítimas y se localiza en la ribera norte del Río Chubut inferior, a unos 600 m aguas arriba de la desembocadura.

Figura 1. Ubicación general del área de estudio)

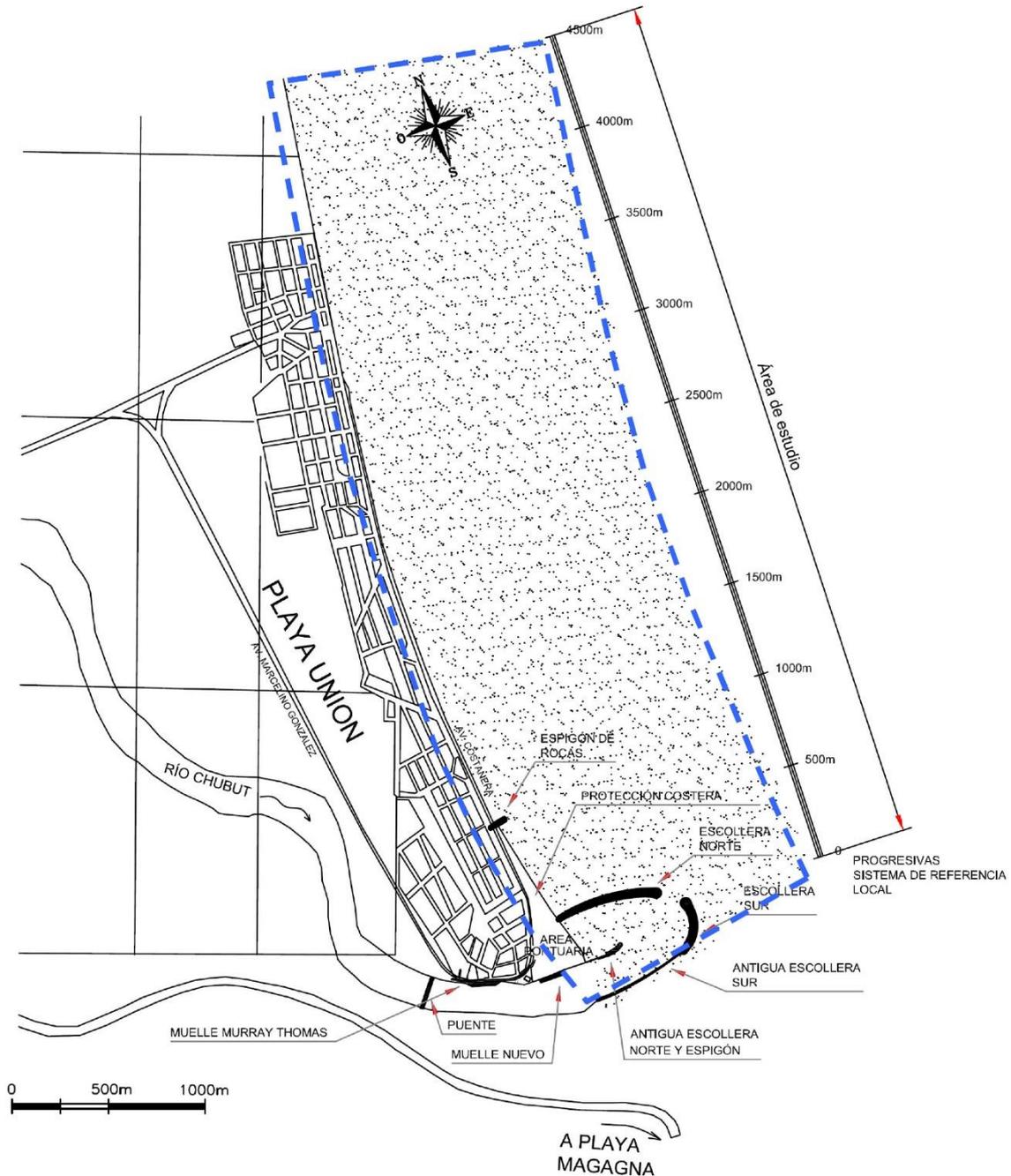


Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos

El área particular de estudio del presente artículo está circunscripta al sur por la desembocadura del Río Chubut en confluencia con la escollera norte considerada como progresiva 0 para el sistema de referencia local, hasta Playa de los Médanos alcanzando la progresiva de 4500 m medidos hacia el norte (ver al respecto la Figura 2). En sentido este-oeste, corresponde a una franja de aproximadamente 1400 m que comprenden los niveles

máximos y mínimos de mareas (astronómica y meteorológica), hasta las cotas mínimas de los perfiles obtenidos por diversos relevamientos.

Figura 2. Playa Unión



Fuente: elaboración propia a partir del plano municipal

Introducción específica

Ascenso del nivel del mar y el cambio climático

Un aspecto relevante para el área de estudio es el ascenso del nivel del mar y el cambio climático como modificación geológica. Si bien dicho estudio excede la escala temporal en la que se enmarca el presente artículo, es necesario efectuar una mención especial al mismo y su posible influencia erosiva sobre Playa Unión. El ascenso del nivel del mar conlleva varios efectos geomorfológicos, ecológicos y socioeconómicos. Los más significativos son la modificación y/o desaparición de humedales, destrucción de viviendas y de obras costeras (Figura 3), como asimismo la afectación del turismo, el cual puede desaparecer (Codignotto, 2005).

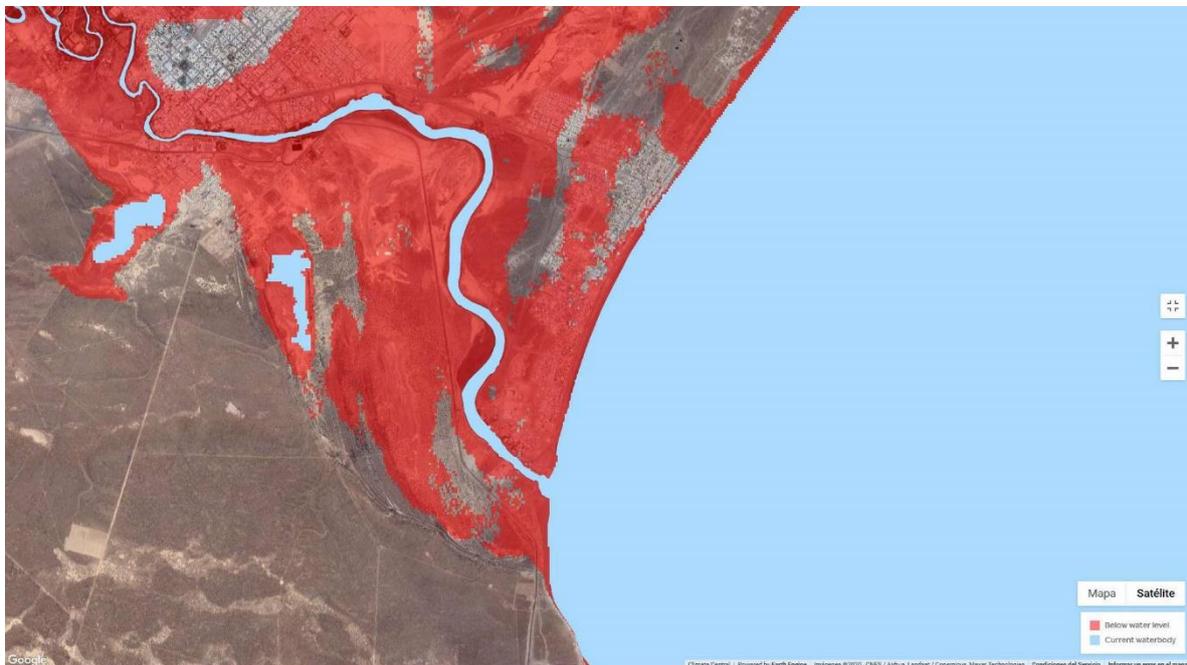
Figura 3. Destrucción del murete costero por efectos de la marejada sobre Playa Unión en septiembre de 2020



Fuente: diario El Chubut y diario Jornada accesorios el 13/09/20

Según recientes publicaciones como *New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding* (Kulp y Strauss, 2019), dan cuenta que alrededor del mundo unos 300 millones de personas podrían verse afectadas por fenómenos de ascenso del nivel del mar y las consecuentes inundaciones para 2050. Playa Unión no queda exenta de estas amenazas climáticas según la Figura 4 donde se observan las áreas por debajo del nivel del agua modeladas para 2050 según Coastal Risk Screening Tool. El modelo empleado para la imagen utiliza varios escenarios con la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la velocidad de los deshielos.

Figura 4. Áreas debajo del nivel del agua (en rojo) para Playa Unión y zona de influencia según predicción para 2050



Fuente: imagen tomada de Coastal Risk Screening Tool

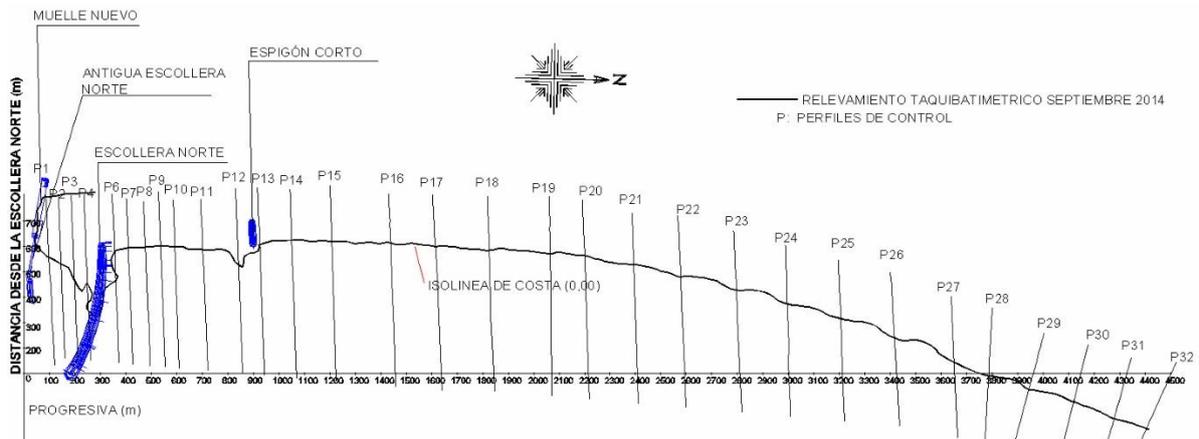
Caracterización morfológica del perfil de Playa Unión

A partir de los datos batimétricos recabados de la Dirección General de Infraestructura Portuaria del Chubut (DGIP) para el año 2008 y 2014 y de la ubicación de los perfiles de playa comparados (Figura 5) se representó en la Figura 6 (Donini y del Valle, 2010; Donini, 2018, Donini, 2021a) los perfiles de playa en distintas progresivas y hasta los 4500 m de la zona de estudio, ajustados mediante la metodología de Dean (1977) y Moore (1982). El perfil 7 se encuentra en la progresiva 450 m, llegando al perfil 32 con una progresiva 4500 m. En la misma figura se representaron los niveles de máximos de pleamar (NMP), niveles de pleamares máximas sumados a mareas meteorológicas (NMPM) y niveles de bajamar mínima (NMB). Todas las cotas se encuentran referidas al nivel cero del ex – Ministerio de Obras Públicas (ex-MOP). De los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta las características particulares observadas directamente del perfil real de Playa Unión, se descompuso al mismo en tres sectores (Donini y del Valle, 2010; Donini, 2018, Donini, 2021a):

- 1) Un sector superior, comprendido entre las cotas 0,00 y +7,00 MOP (rojo en la Figura 6).
- 2) Un sector intermedio, con una pendiente algo superior al anterior, entre las cotas -1,00 y 0,00 MOP, donde se produce el cambio brusco de pendientes (azul en la Figura 6).

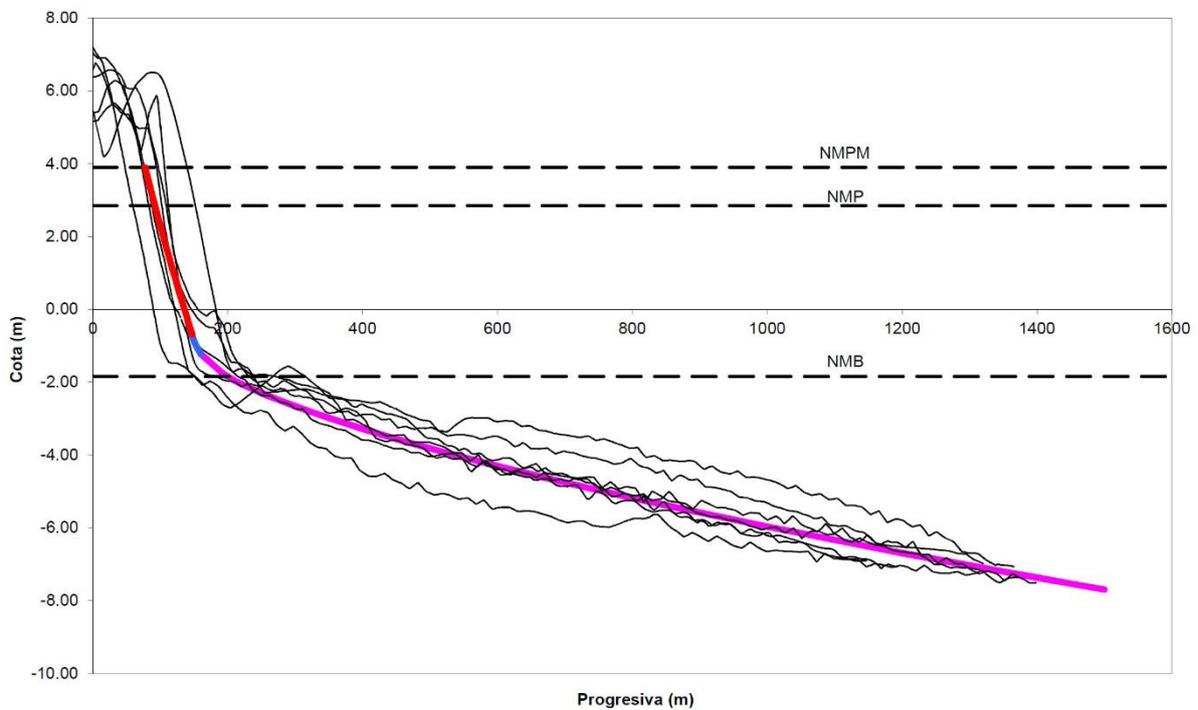
3) Un sector inferior comprendido entre las cotas -7,00 y -1,00 MOP (que coincide prácticamente con el NMB), caracterizado por un perfil disipativo y una pendiente suave con materiales de granulometría fina (de color magenta en la Figura 6).

Figura 5. Ubicación de los perfiles comparados en Playa Unión



Fuente: Donini, 2021a

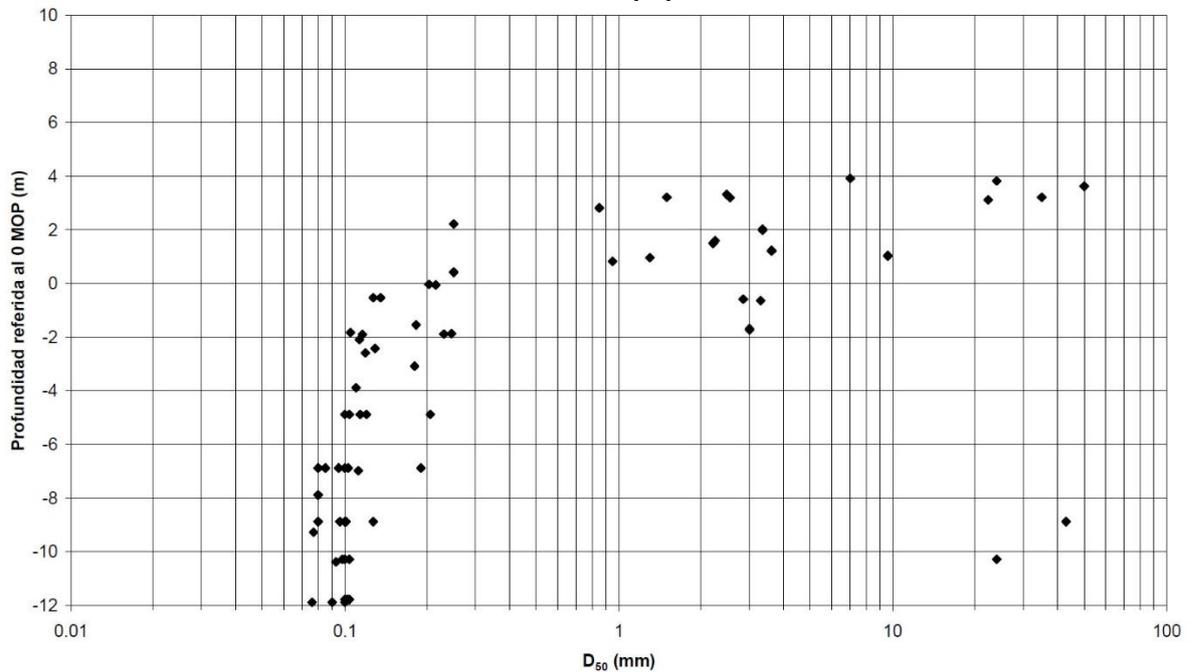
Figura 6. Perfil de Playa Unión ajustado a partir de datos de junio de 2008 de los perfiles P7, P12, P16, P21, P26, P30 y P32 medidos desde la desembocadura del Río Chubut



Fuente: Donini, 2018

Esta composición del perfil de la playa coincide con la observación y el D_{50} ajustado con las más de 70 muestras recopiladas de diversas fuentes y graficadas en la Figura 7, donde se representa la relación entre el tamaño de las partículas y la profundidad de la playa referida al cero del ex-MOP (Donini, 2021a). En la mencionada figura se aprecia la gradación de tamaños según la profundidad del perfil de playa, lo que valida la bimodalidad de los sedimentos y la diferencia de sus pendientes. De la observación directa in situ, en el tramo sur el transporte de sedimentos finos disminuye de sur a norte, en tanto el transporte de sedimentos gruesos responde a un patrón opuesto.

Figura 7. Relación entre el tamaño de partículas D_{50} (mm) y la profundidad referida al 0 MOP (m)

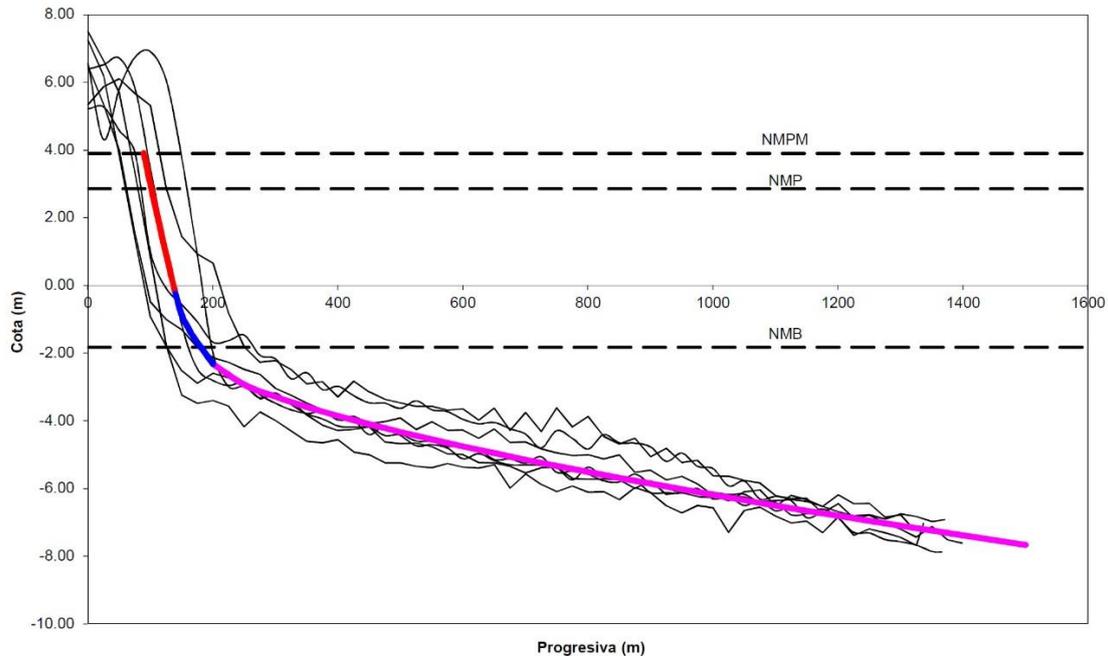


Fuente: Donini 2021a

En las figuras anteriores se destaca la bimodalidad del comportamiento de la playa, por un lado, disipativa, y por otro, reflectiva según la clasificación propuesta por Masselink y Short (1993). Ello genera una desigualdad de la granulometría de los sedimentos emplazados en cada sector del perfil de playa, y por la diferencia entre las pendientes observadas. De igual forma a lo desarrollado en la Figura 6 los perfiles de Playa Unión fueron ajustados pero según los datos batimétricos de abril-mayo de 2014 proporcionados por la Dirección General de Infraestructura Portuaria (Figura 8) (Donini, 2018), lo que permite efectuar comparaciones

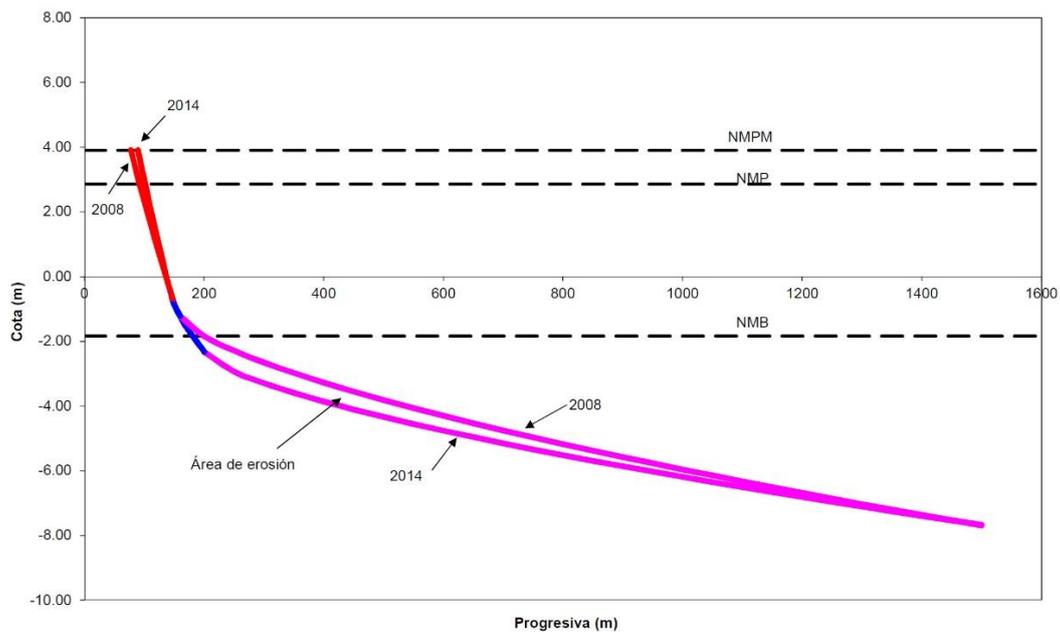
y evaluar las tendencias actuales de la playa en la Figura 9. Destáquese en esta última representación, la erosión del sector del perfil de color magenta.

Figura 8. Perfil de Playa Unión ajustado a partir de datos de abril-mayo de 2014 de los perfiles P7, P12, P16, P21, P26, P30 y P32 medidos desde la desembocadura del Río Chubut



Fuente: Donini, 2018

Figura 9. Comparación de los ajustes de perfiles de playa según Dean (1977) y Moore (1982) para relevamientos de junio de 2008 y abril-mayo de 2014



Fuente: Donini 2021a

Materiales y métodos

Se empleará un análisis retrospectivo para rastrear y organizar en espacio y tiempo, los eventos ecológicos en el espacio de interés. En este caso, el período de análisis quedará enmarcado por la disponibilidad de datos batimétricos de la playa, correspondientes al período 1976-2014, retrocediendo en el tiempo hasta 1976 para analizar las causas de la ruptura del equilibrio del medio natural por las intervenciones antrópicas. Para este estudio se emplearán geoindicadores, los cuales ofrecen criterios científicos para detectar y monitorear variaciones en las condiciones de los ambientes naturales. Cuantifican magnitudes, frecuencias, tasas y tendencias de procesos ambientales activos (Berger e Iams, 1996). Como geoindicadores de medición se recurrirá al análisis de tendencias históricas de las líneas batimétricas de la playa, la interpretación y comparación de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Para el análisis de la evolución de la erosión se adoptará como línea de base convencional y corte de situación, los datos de nivel batimétrico del año 1976 a partir del cual se dispone de datos referidos a perfiles de playa y batimetrías, así como registros de granulometrías del material de la costa. Toda la información empleada para estas actividades ha sido solicitada por nota a la Dirección de Infraestructura Portuaria de la provincia del Chubut. Finalmente se realizará un análisis y discusión de los resultados obtenidos. La información utilizada para este desarrollo se detalla a continuación.

Muestreos granulométricos de playa:

- Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI). (1996). Estudio granulométrico de Playa Unión.
- Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI). (1997), (2000). Mediciones granulométricas en Playa Unión. Universidad de la Patagonia-Facultad de Ingeniería.
- DYOPSA & Taylor Engineering Inc. & Reca Consultores S.R.L. (2003). Análisis de Alternativas de Protección de Costas en Playa Unión. Informe Técnico.
- CCyA Ingeniería. (2015). Estudio de Impacto Ambiental de las Obras de Protección contra la Erosión en Playa Unión.

Relevamientos topobatimétricos:

- Junio 1976: en perfiles iniciales de la playa y hasta una profundidad de -0,60 m MOP.
- Diciembre 1996: sólo de determinadas profundidades. Serman & Asociados S.A. (mayo 1997). Estudio de la Factibilidad de la Remodelación del Puerto de Rawson.
- Junio 2000. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.

- Agosto 2001. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Febrero 2002. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Junio 2002. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Septiembre 2002: se cuenta con datos sólo a partir del perfil denominado P6 Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Enero 2003. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Julio 2003. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Diciembre 2003. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Septiembre 2004: se cuenta con datos sólo a partir del perfil denominado P6. Dirección de Infraestructura Portuaria. (2005). Comparaciones de relevamientos batimétricos de Playa Unión.
- Septiembre 2008. DGIP-EVARSA. (septiembre 2008). Relevamiento batimétrico de Puerto Rawson.
- Septiembre 2010. Estudios y Proyectos SRL. Consejo Federal de Inversiones (CFI). (2011). Estudio de Protección de Costas Playa Unión, Chubut, Argentina.
- Abril-mayo 2014. DGIP-EVARSA. (julio de 2014). Relevamiento batimétrico de Puerto Rawson.
- Septiembre 2014. DGIP-EVARSA. (julio de 2014). Relevamiento batimétrico de Puerto Rawson.

Imágenes satelitales:

- Imágenes satelitales Google Earth 2003 a 2017.

Para el procesamiento de los datos de emplearon los siguientes softwares:

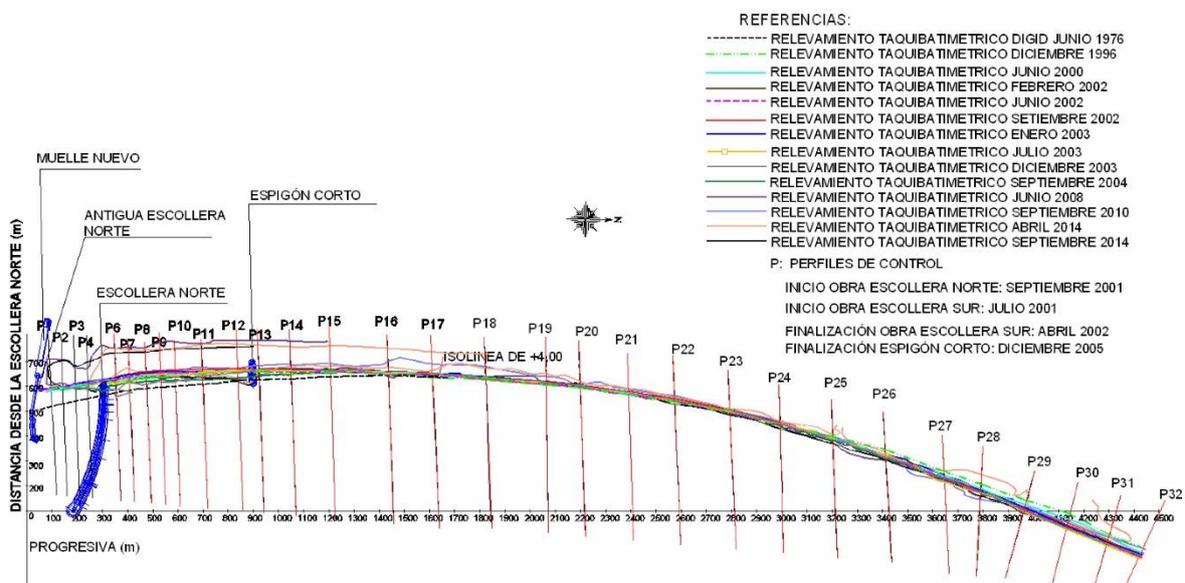
- AutoCAD.
- Excel Office.
- Golden Software Surfer.
- Visual Basic aplicado a Excel.

Resultados

Análisis de la evolución de las líneas batimétricas de Playa Unión desde 1976 hasta 2014

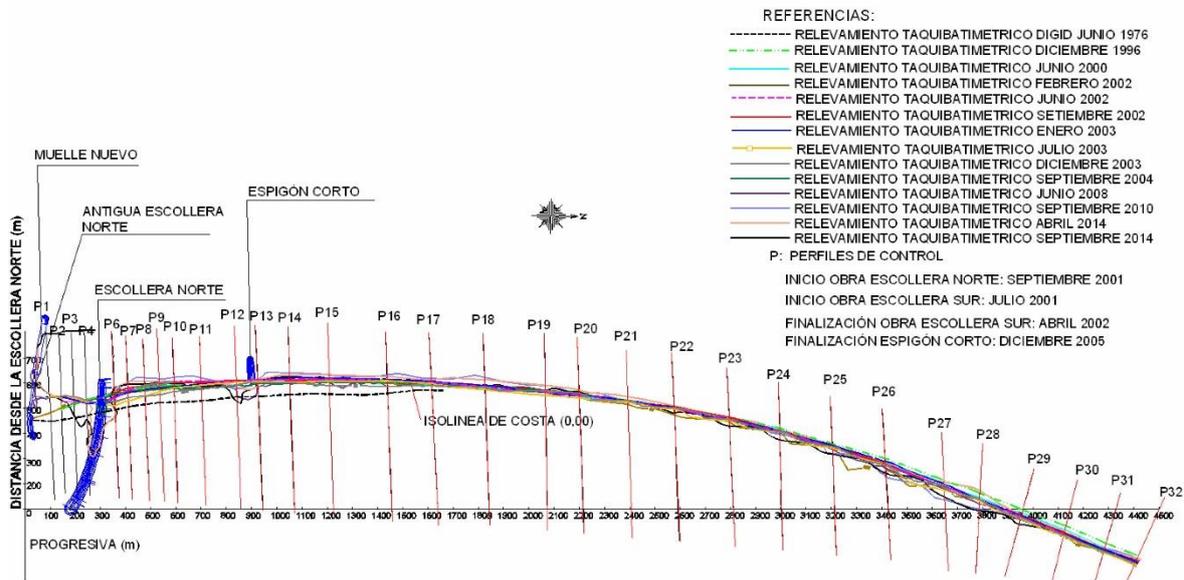
A partir de datos recabados de la Dirección General de Puertos de la provincia del Chubut se efectuó el análisis de la evolución de las curvas batimétricas de Playa Unión desde 1976 (con datos incompletos) hasta el último relevamiento desarrollado a la fecha correspondiente al año 2014. Todas las profundidades fueron reducidas y corregidas al cero MOP, ya que algunos de los relevamientos fueron efectuados respecto del cero del SHN. A dichas curvas se las comparó con los hechos temporales que pudieron generar impactos sobre el transporte de sedimentos. Se compusieron las curvas batimétricas y se identificaron los niveles +4,00, 0,00 y -2,00, los que representan a los sectores superior, intermedio e inferior del perfil de playa según del Valle y Donini (2010). En la Figura 10 se observan las curvas batimétricas del nivel +4,00, en la Figura 11 el nivel 0,00 y en la Figura 12 el nivel -2,00. En cada una se representan todas las líneas batimétricas superpuestas y referenciadas a cada perfil que les dio origen, así como también las principales estructuras existentes en la actualidad. En particular, puede observarse la incidencia de la escollera norte sobre las líneas batimétricas cercanas a la misma y la acumulación de sedimentos que denota el alejamiento de las isolíneas hacia el mar.

Figura 10. Combinación de las curvas batimétricas +4,00 para relevamientos efectuados desde 1976 hasta 2014



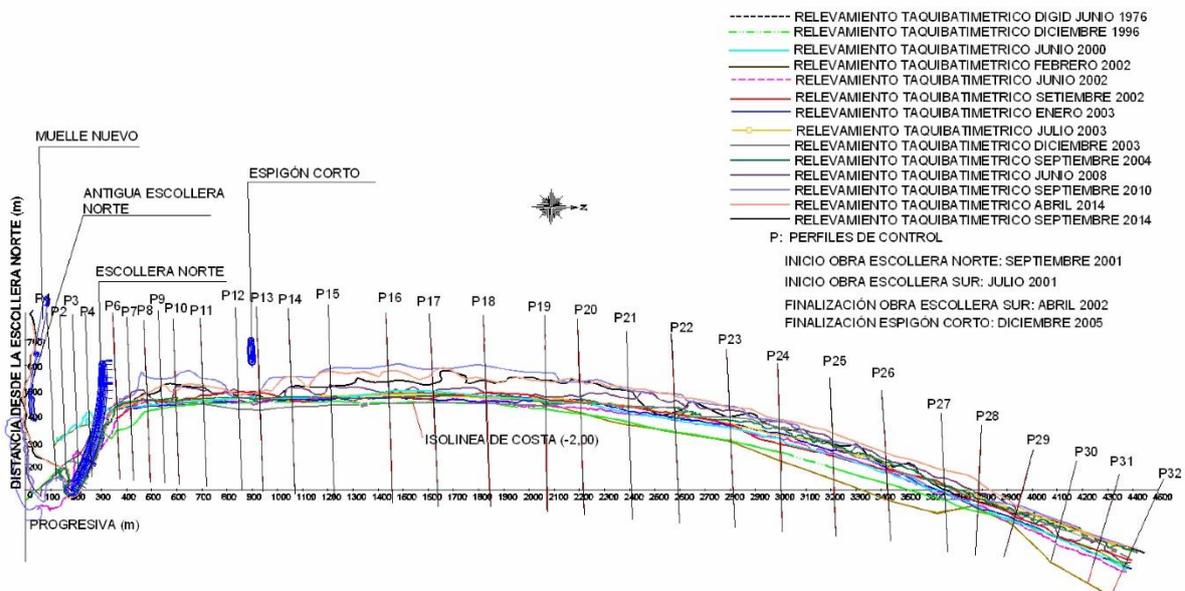
Fuente: elaboración propia

Figura 11. Combinación de las curvas batimétricas 0,00 para relevamientos efectuados desde 1976 hasta 2014



Fuente: elaboración propia

Figura 12. Combinación de las curvas batimétricas -2,00 para relevamientos desde 1976 hasta 2014



Fuente: elaboración propia

Respecto del espigón corto, se observa acumulación de sedimentos para las isolíneas superiores del perfil en las progresivas inmediatas al sur de su posición y erosión al norte. En la Figura 13 que capta este último sector, evidencia la acción del mar con la

consecuente destrucción del murete costero. No existen variaciones en las isolíneas inferiores del perfil de la playa por la presencia de esta obra de protección costera.

Figura 13. Erosión al norte del espigón corto con la destrucción del murete costero



Fuente: registro propio, septiembre de 2020

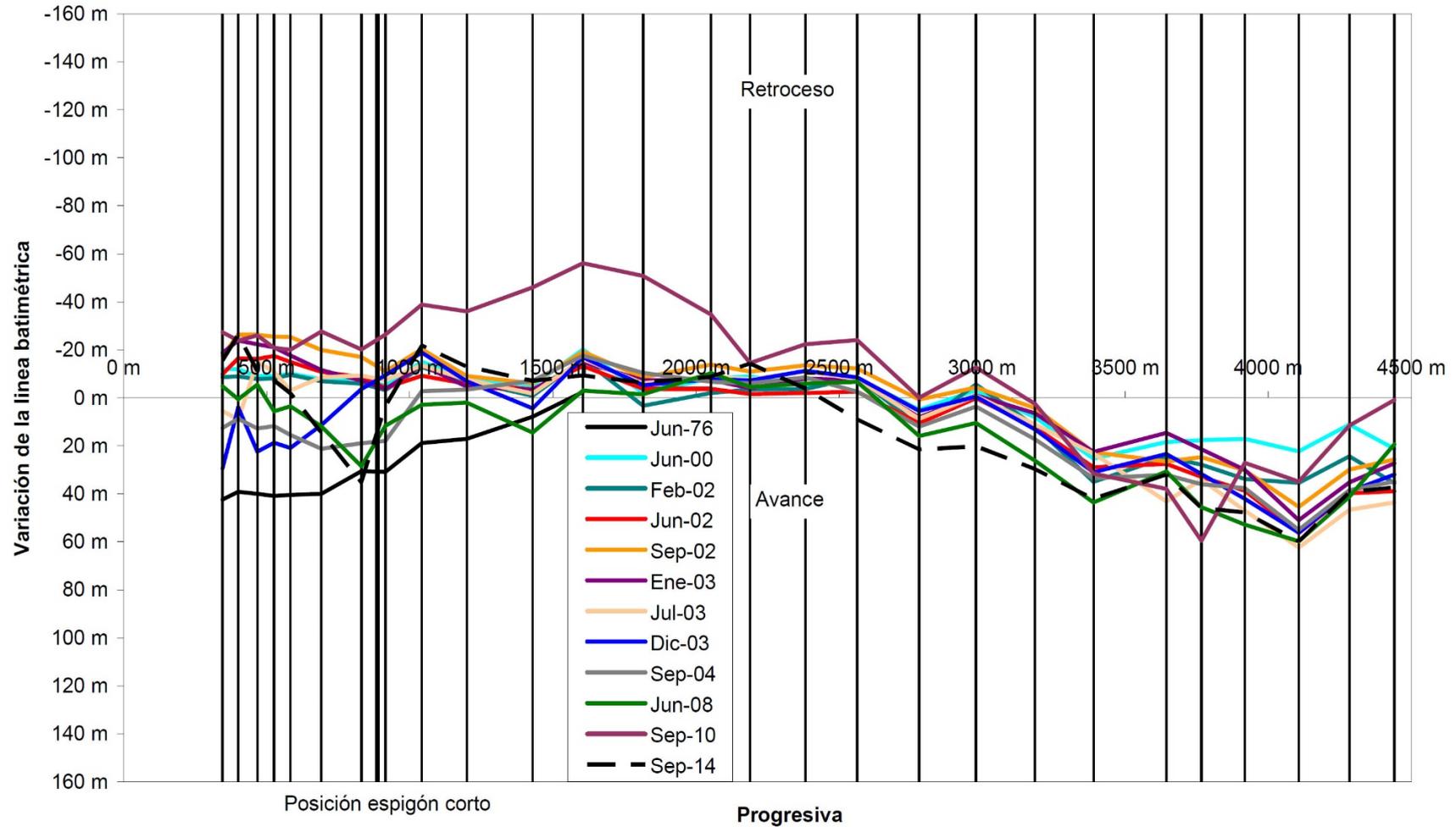
De la comparación y medición de las curvas batimétricas superpuestas, se extrajeron los avances y retrocesos medidos respecto del relevamiento taquibatimétrico de diciembre de 1996, para establecer el comportamiento del transporte a lo largo de la playa (longshore). Cada curva de la Figura 14 a Figura 16 representa los avances y retrocesos de las isolíneas de playa según el mes y año del relevamiento. La Figura 14 muestra una acumulación de sedimentos gruesos ($D_{50} = 2 \text{ mm}$) al norte de Playa Unión y erosiones asociadas a marejadas al norte del espigón corto (ver la curva de septiembre de 2010). La tendencia a la acumulación de sedimentos al sur del citado espigón vuelve a ser evidente en los últimos relevamientos para este tipo de material. La Figura 15 y la Figura 16 indican una paulatina reducción de la tendencia a la acumulación de sedimentos finos ($D_{50} = 0,4 \text{ mm}$ y $D_{50} = 0,2 \text{ mm}$) a medida que nos desplazamos al norte de la playa, e incluso algunos relevamientos que indicaron erosiones localizadas en las progresivas 3000 y 3500.

Para efectuar un análisis temporal de lo ocurrido respecto de la evolución de las líneas batimétricas, en la Figura 17, Figura 18 y Figura 19 se ha elaborado la evolución histórica

promedio de los perfiles. Cada curva representa tres sectores de Playa Unión asociados a las isolíneas +4,00, 0,00 y -2,00 refiriéndolas al relevamiento de diciembre de 1996. Los tres sectores de playa seleccionados para la obtención de la variación media de las isolíneas mencionadas han sido obtenidos de acuerdo a la observación del comportamiento erosivo de los perfiles relevados. En estas figuras resulta apreciable el comportamiento dispar de los sedimentos según la progresiva analizada y el impacto producido sobre ellos por la construcción de las obras de abrigo y el espigón corto. La Figura 17 y la Figura 18 permiten observar la susceptibilidad del sector superior del perfil de la playa a la acción erosiva de las marejadas y la leve recuperación que experimenta posteriormente con el transcurso del tiempo. La Figura 19 demuestra la constante pérdida de sedimentos finos de Playa Unión en las primeras progresivas analizadas y la ineficacia del espigón corto para contenerlos.

En la Figura 20 se ha efectuado un detalle de la evolución de las líneas batimétricas adyacentes a la obra de abrigo norte del Puerto de Rawson comparando los relevamientos de los años 1976, 1996, 2008, 2010 y 2014. Si bien es necesario remarcar que los relevamientos de los años 1996 y 2010 se efectuaron en diciembre y septiembre, respectivamente, y que no es adecuado compararlo con los desarrollados en abril o mayo, se han estudiado considerando el lapso de tiempo transcurrido y lo singular del fenómeno erosivo de 2010. Los resultados de la comparación arrojan un retroceso en el perfil 10 de la línea +0,00 (sector intermedio de la playa) de aproximadamente 70 m entre 1976 y 1996. Entre 1996 y 2008 se observan algunos sectores con acumulaciones debido a la presencia del espigón corto, para luego volver a una tasa erosiva entre 2008 y 2014, en particular para la cota 0,00 afectada por el temporal de 2010.

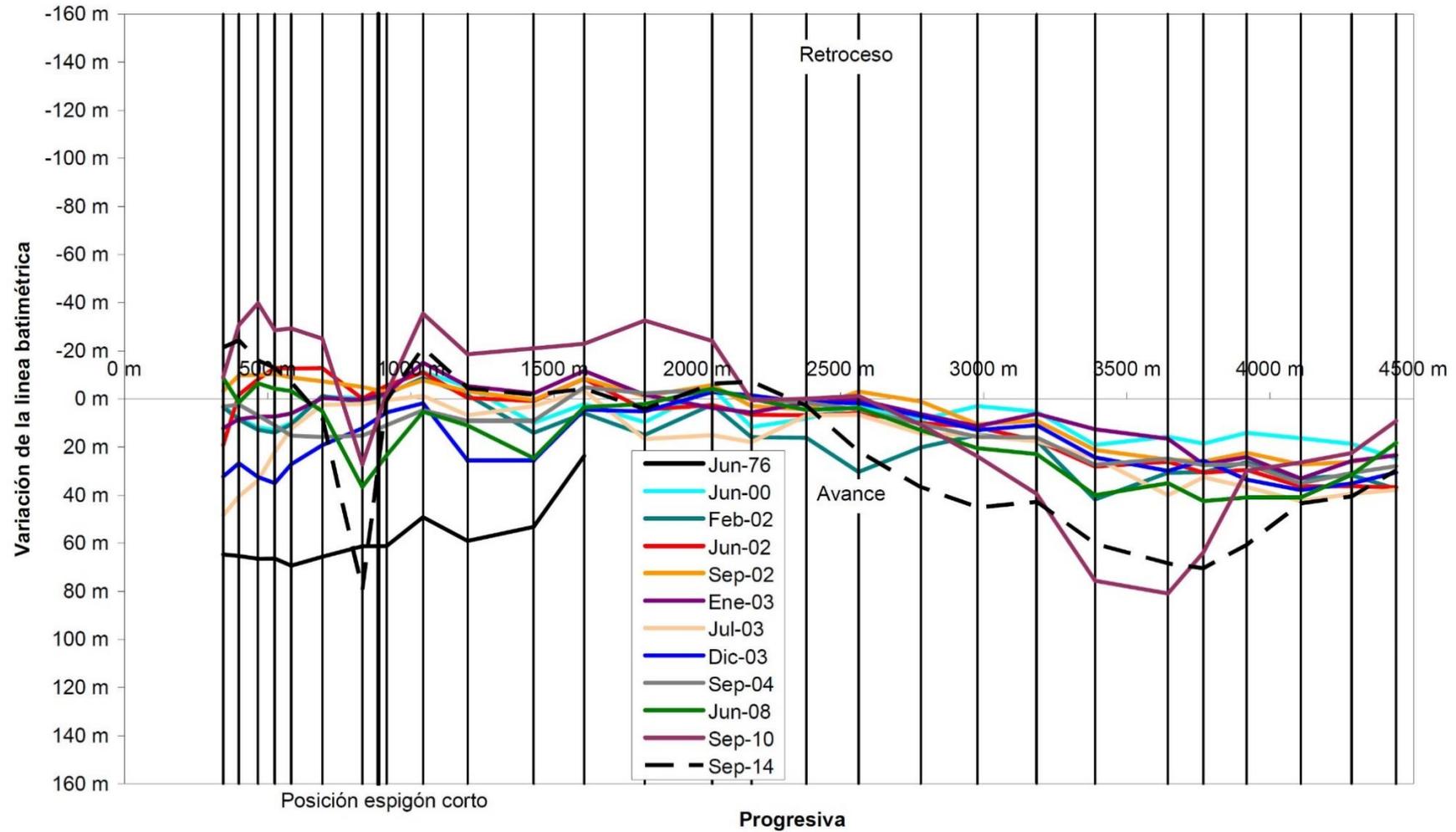
Figura 14. Evolución de la isolínea +4,00 MOP por progresivas referida a diciembre de 1996



Fuente: elaboración propia¹

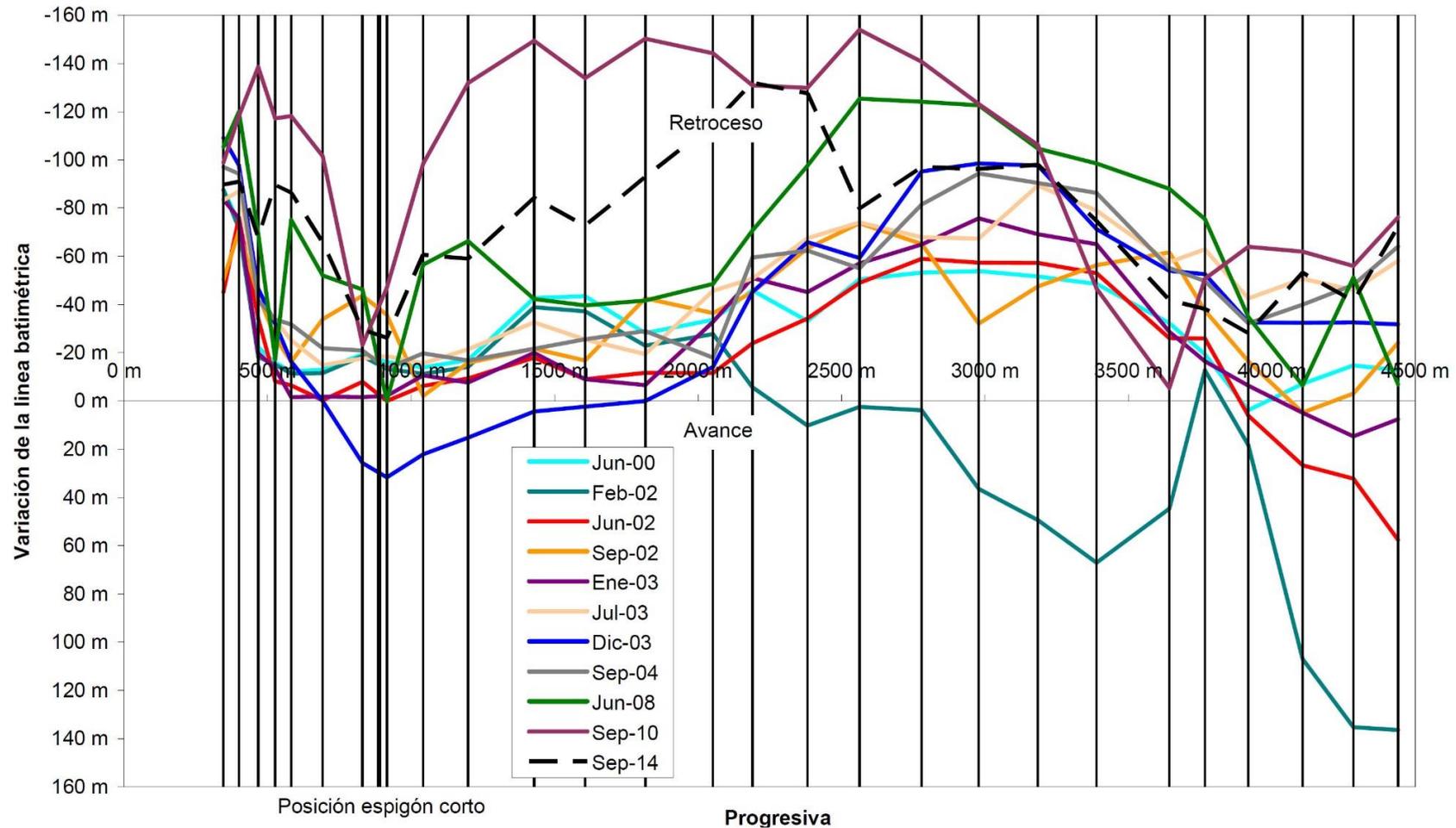
¹ Las líneas verticales al eje de abscisas señalan la posición de los perfiles de relevamiento

Figura 15. Evolución de la isolínea 0,00 MOP por progresivas referida a diciembre de 1996



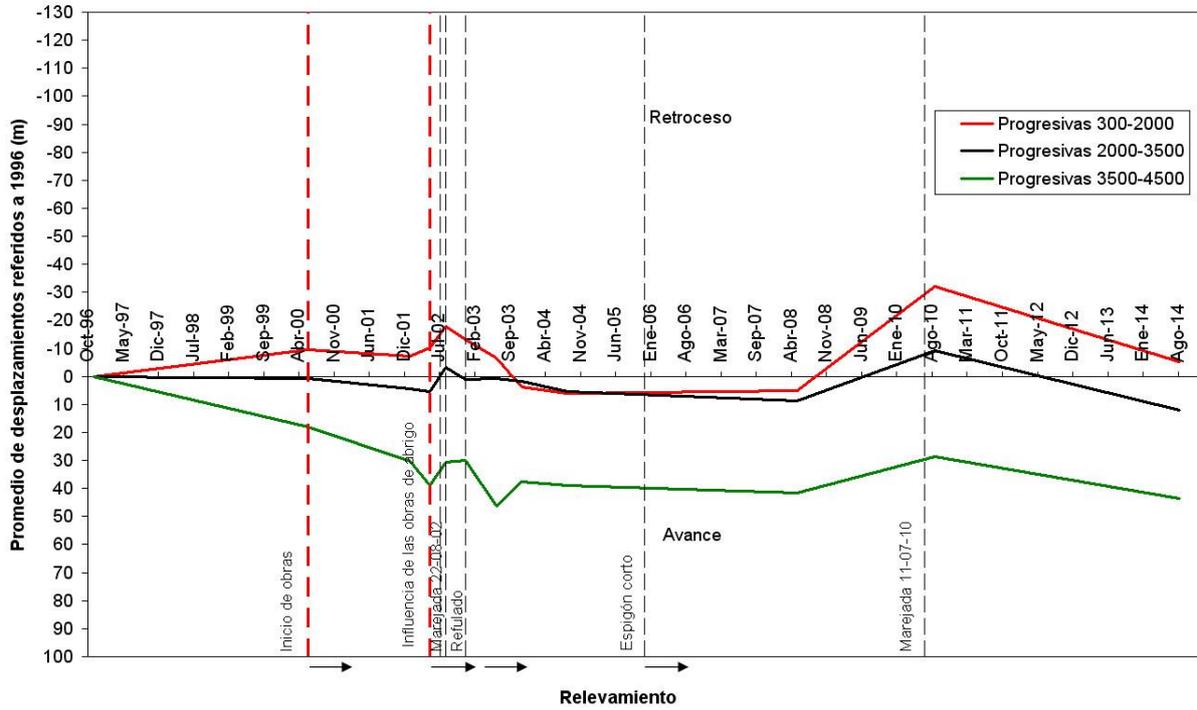
Fuente: elaboración propia

Figura 16. Evolución de la isolínea -2,00 MOP por progresivas referida a diciembre de 1996



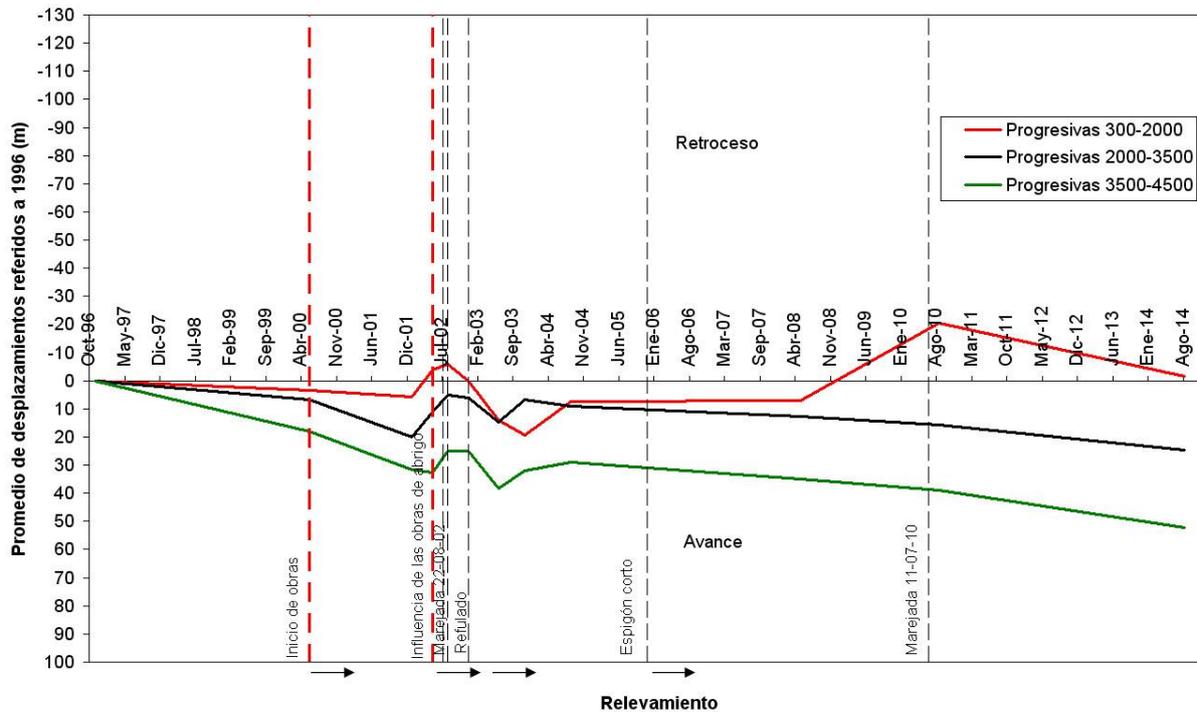
Fuente: elaboración propia

Figura 17. Evolución histórica de la isolínea +4,00 referida al relevamiento de diciembre de 1996



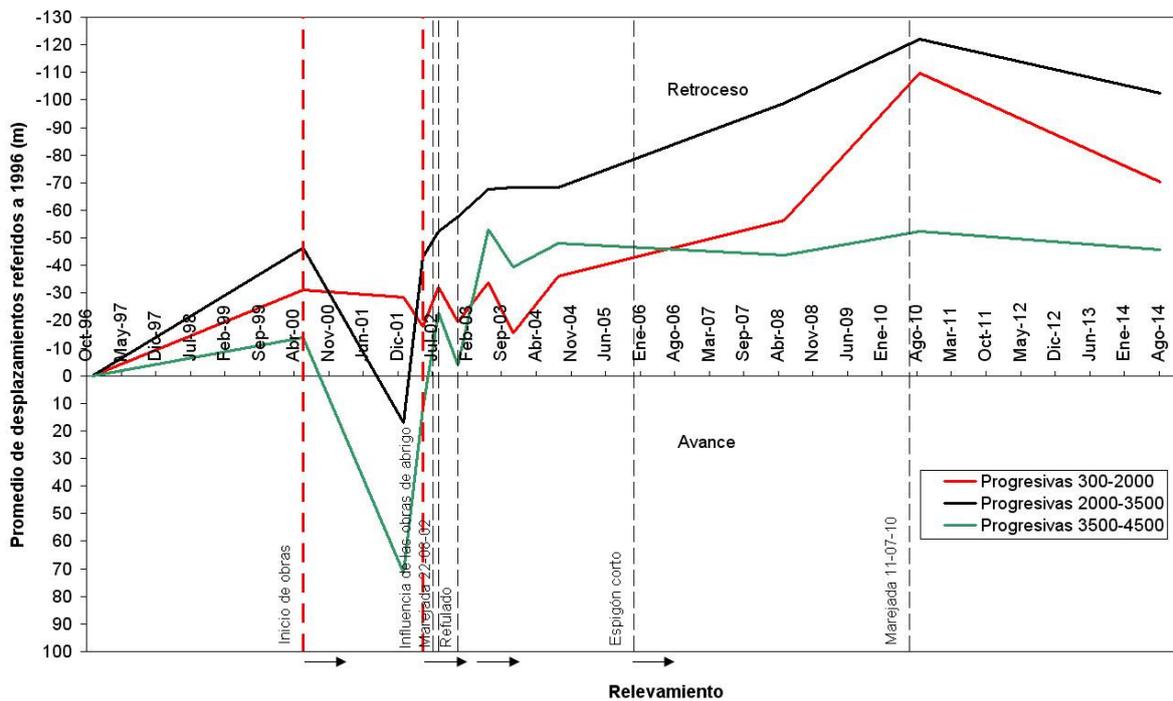
Fuente: elaboración propia

Figura 18. Evolución histórica de la isolínea 0,00 referida al relevamiento de diciembre de 1996



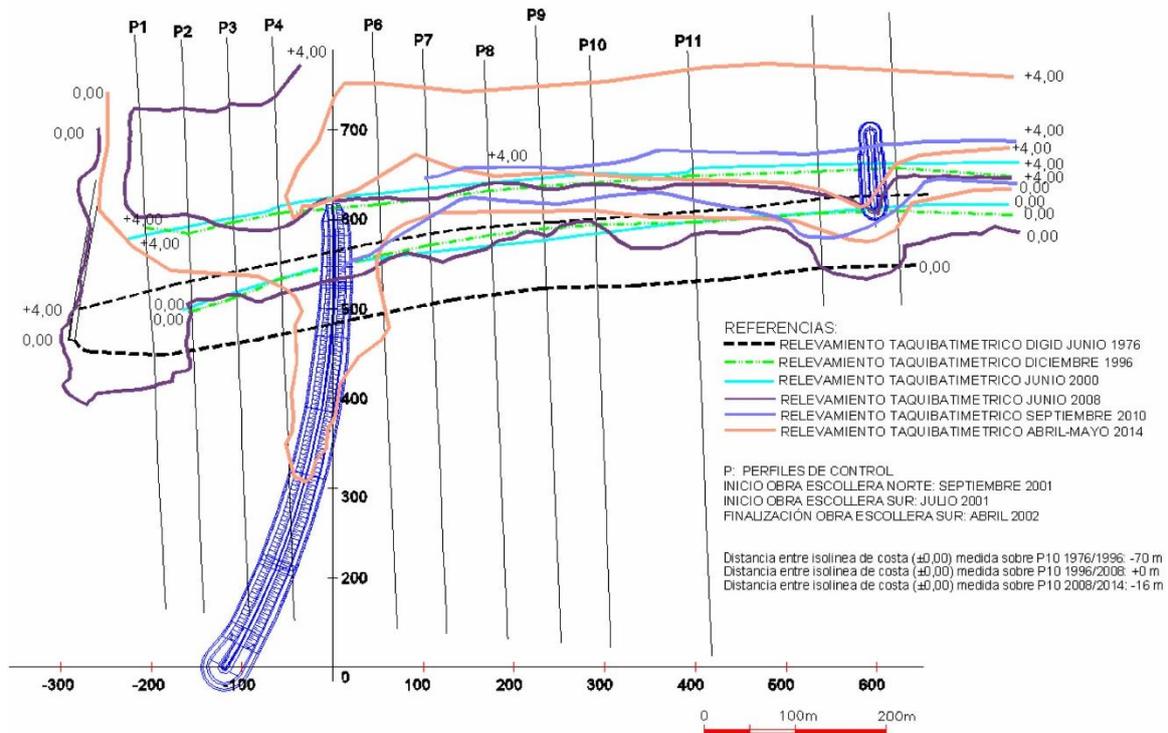
Fuente: elaboración propia

Figura 19. Evolución histórica de la isolínea -2,00 referida al relevamiento de diciembre de 1996



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Evolución histórica de las isolíneas +4,00 y +0,00 para la zona adyacente a la obra de abrigo norte entre 1976 y 2014



Fuente: elaboración propia

A modo de comparación con los resultados obtenidos directamente de la medición de la evolución de las líneas batimétricas, se ha complementado con el estudio de una serie de imágenes satelitales provenientes de Google Earth Pro registradas desde 2003 a 2017. En la Figura 21 correspondiente a la imagen satelital del 03/12/2003, se puede observar el estado de la playa durante la etapa final de la construcción de las obras de abrigo con demarcación del sector superior del perfil (aproximadamente en la cota +4,00), en donde ya se aprecia la acumulación de sedimentos fluviales en el interior de las mismas y un alejamiento del transporte de sedimentos fluviales hacia el norte de las playas. En los años sucesivos, entre 2012 (Figura 22) y 2016 (Figura 23) se detecta la acumulación de material granular grueso en la zona comprendida entre el espigón corto y la escollera norte, en detrimento de los sectores emplazados en progresivas más al norte. Esto también puede apreciarse en la cronología de las sucesivas líneas batimétricas representadas en la Figura 20.

Figura 21. Aspecto de la línea costera (aproximadamente cota +4,00) en adyacencias de las obras de abrigo



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro, 03/12/2003

Figura 22. Aspecto de la línea costera (aproximadamente cota +4,00) en adyacencias de las obras de abrigo



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro, 31/01/2012

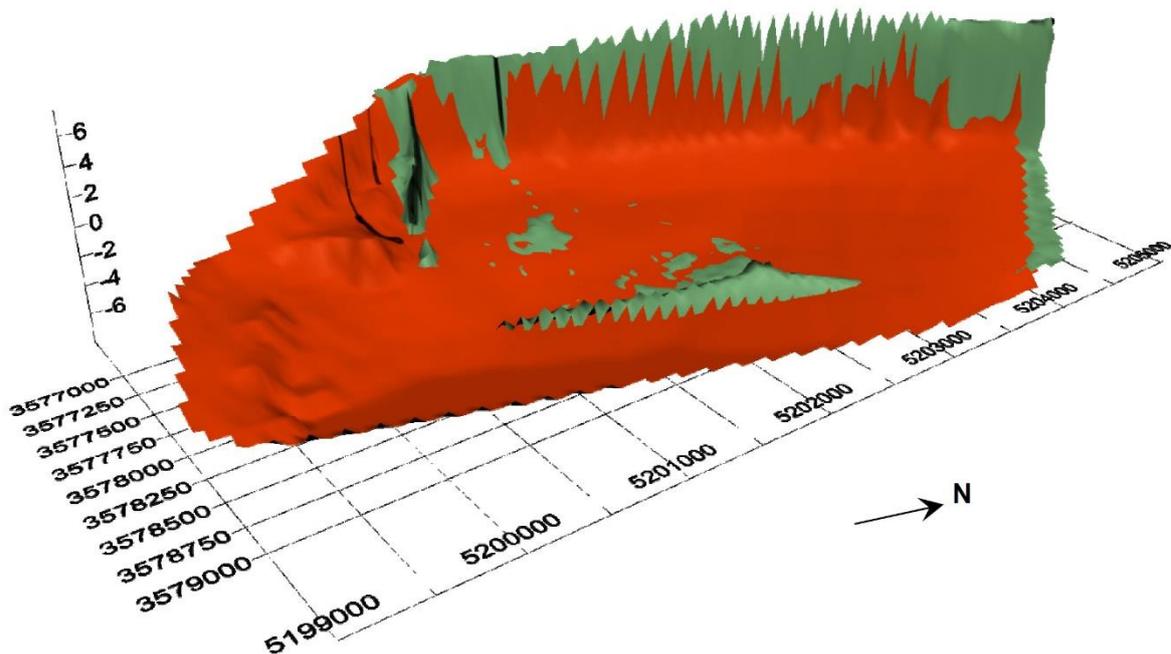
Figura 23. Aspecto de la línea costera (aproximadamente cota +4,00) en adyacencias de las obras de abrigo



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro, 16/03/2016

Complementariamente a lo anterior, se han confeccionado la Figura 24 y la Figura 25 las cuales representan tridimensionalmente la comparación del procesamiento de datos de relevamientos batimétricos de junio de 2000, junio de 2008 y abril-mayo de 2014 referenciadas al sistema Gauss-Krüger. Se ha indicado en rojo el retroceso de las batimetrías (erosión), en verde su avance (sedimentación) y en negro las obras de abrigo y el espigón corto. La distorsión de las figuras obedece al método empleado para la interpolación e integración de los puntos y así obtener la superficie de la playa. En la Figura 24 puede observarse la acumulación de sedimentos en color verde ubicada al sur del espigón corto para el sector superior del perfil de la playa, no así para las isolíneas más profundas. Al norte del citado espigón, la erosión alcanza un máximo avance sobre el perfil. En el norte se puede apreciar la tendencia a la acumulación mencionada en los párrafos precedentes. La erosión de los sedimentos más finos ubicados en la porción inferior de los perfiles de la playa queda evidenciada por la coloración en rojo a lo largo de toda la imagen.

Figura 24. Identificación de las zonas de acumulación y erosión como imagen 3D

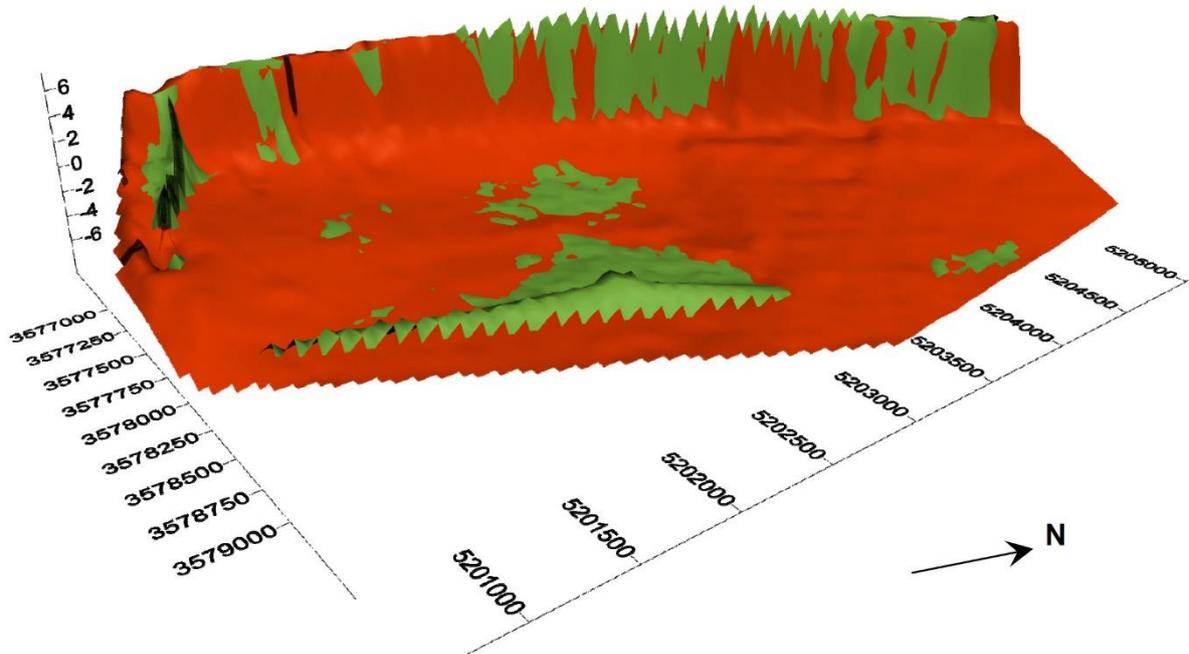


Fuente: elaboración propia

Referencias: zonas de acumulación (verde) - erosión (rojo). Imagen 3D generada por triangulación comparativa de los relevamientos de junio de 2000 y abril-mayo de 2014 referenciada según sistema Gauss-Krüger (negro: obras de abrigo y espigón corto)

La Figura 25 presenta una erosión más generalizada asociadas a las marejadas ocurridas entre 2008 y 2014, incluso en sectores en los que anteriormente se registraban acumulaciones. Las zonas verdes aguas adentro indican un acarreo de fondo de estos sedimentos por la acción de las corrientes de retorno.

Figura 25. Identificación de las zonas de acumulación y erosión. Imagen 3D



Fuente: elaboración propia

Referencias: zonas de acumulación (verde) - erosión (rojo) como imagen 3D generada por triangulación comparativa de los relevamientos de abril-mayo de 2014 y junio de 2008 referenciada según sistema Gauss-Krüger (negro: obras de abrigo y espigón corto)

Discusión de los resultados

La costa de Playa Unión está sufriendo procesos erosivos. Esta combinación de proceso natural con los de origen antrópico modifica o altera el paisaje de los espacios litorales hasta llegar a la configuración actual de acuerdo con su dinámica y a los procesos de ordenamiento del espacio urbano litoral. En Playa Unión se han intentado remedios parciales tales como:

- Refulado de materiales dragados durante la remodelación de Puerto Rawson.
- Construcción de un espigón corto sobre la playa.
- Reparación de daños y construcción de una defensa costera.

El proyecto de defensas costeras proyectadas en 2015 conformadas por espigones perpendiculares a la línea de costa y una defensa exenta, surgido de una serie de estudios técnicos y relevamientos realizados en los últimos 10 años, pretende proteger toda la extensión de Playa Unión para demorar los procesos erosivos en desarrollo. Sin embargo, estas medidas son parciales y no representan una solución integral para toda la costa de Playa Unión, sumado al efecto que generarán respecto de la planialtimetría de la playa.

Como se ha demostrado con las líneas batimétricas, las imágenes satelitales, su comparación y postprocesamiento, las defensas costeras basadas en espigones cortos perpendiculares a la línea de playa actuarán principalmente en la parte superior del perfil, que es donde se verifican las erosiones para ciertos eventos asociados a marejadas, pero no retendrán prácticamente material fino, a excepción del caso puntual de una potencial estructura off shore. Existe en la playa además una dificultad para la recuperación del material más fino ante la acción erosiva de las barreras al transporte sedimentológico por la acción de algunas tipologías de estructuras portuarias (Donini, 2021b). Este comportamiento puede observarse en la Figura 16, la Figura 19, la Figura 24 y la Figura 25. Una posible causa puede atribuirse a la disminución del aporte de arenas finas por la existencia de restingas y de la escollera sur. Asimismo, el Río Chubut, con el transcurso del tiempo, ha mermado su aporte de arenas fundamentalmente por el embancamiento de su cauce y por la construcción del Dique Florentino Ameghino (Kaless, 2015; Kaless et al., 2019) con las consecuencias generadas en la playa (Donini, 2021a). Actualmente, la boca de las obras de abrigo encauzó el río e incrementó nuevamente la velocidad del agua en su boca de acceso. Ello conlleva a un aumento de la distancia mar adentro en donde se acumula del material transportado por el régimen fluvial y del sedimento que logra traspasar las restingas, lo que lleva a un cambio en la orientación de las isolíneas y de su concavidad, modificando las características de cuasi paralelismo originales (Serman et al., 1997). La merma de material fino ($D_{50} = 0,4 \text{ mm}$ y $D_{50} = 0,2 \text{ mm}$) no ha tenido el suficiente análisis en los estudios de defensas costeras llevados a cabo a la fecha. En los estudios efectuados hasta el momento se ha puesto énfasis en la defensa del sector superior del perfil de playa ($D_{50} = 2 \text{ mm}$).

A partir del análisis e interpretación de las figuras desarrolladas, es posible establecer que la playa posee un comportamiento disímil respecto de las tasas de erosión-sedimentación, diferenciándose tres sectores según las siguientes progresivas:

1) Un sector comprendido entre las progresivas 300 m y 2000 m. Esta zona de la playa se caracteriza por la predominante presencia de material grueso compuesto por gravas y arenas gruesas lo que origina perfiles de mayor pendiente a los restantes. Manifiesta una tendencia

erosiva, mitigada por la existencia del espigón corto construido en diciembre de 2005. Esta reducción de la erosión es exitosa en un sector localizado en adyacencias al mencionado espigón para el material ubicado en la porción superior de perfil de playa con mayor granulometría, aunque no resulta exitoso para el material de menor tamaño, hecho que se observa comparando la batimetría de septiembre de 2008 respecto de los momentos previos a la existencia de las obras portuarias (ver Figura 16 y Figura 19).

2) Un sector comprendido entre las progresivas 2000 m y 3500 m compuesto por material granular más fino y pendientes más suaves del perfil de la playa. En esta zona el comportamiento es dispar de acuerdo con la granulometría y al período analizado. Para el material de menor granulometría (arenas) existe un predominio erosivo.

3) Un sector más allá de la progresiva 3500 m con presencia de material más fino y perfiles de playa con pendientes suaves. Esta zona está caracterizada por la acumulación de sedimentos, en especial, de los de mayor granulometría (cantos rodados).

Las figuras de evolución histórica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) identifican una marcada susceptibilidad ante tormentas provenientes del sudeste asociadas a elevados niveles de marea, ya que las curvas de las isolíneas tienen un cambio brusco de pendiente con tendencia erosiva para los períodos posteriores a agosto de 2002 y julio de 2010, momentos de ocurrencia de temporales de estas características sobre la costa. Si bien en todos los perfiles se observa un retroceso de las isolíneas en esos momentos, tal erosión se manifiesta mayormente en las cotas superiores hasta la progresiva de 900 m y en las cotas inferiores, de menor granulometría, para las progresivas más al norte. Los estudios previos a la construcción de las obras de abrigo (Serman et al., 1997) predijeron una tendencia erosiva en los primeros 900 m al norte de las mismas, con una mayor incidencia en la cota 0,00 MOP y hacia mar afuera. Este hecho coincide con las mediciones y surge del contraste de la Figura 18 con la Figura 19, con un mayor retroceso de la isolínea -2,00 m MOP respecto de la 0,00 m MOP. En este escenario, la construcción de la escollera sur generó una pantalla más opaca al transporte de sedimentos que los afloramientos de restingas. Posteriormente al refulado del material del río a la playa contigua a la escollera norte en 2003, se produjo una recuperación de la misma en las cotas +4,00 y 0,00, y un retroceso de la línea -2,00. La construcción del espigón corto trajo aparejada una acumulación preponderante de material de elevada granulometría en la porción superior del perfil de playa, compuesto en su mayoría por cantos rodados, pero localizado en las adyacencias de este. Como consecuencia, en la Figura 15 y Figura 16 se aprecia un

desplazamiento de la erosión de playa hacia progresivas superiores para las curvas batimétricas 0,00 y -2,00. Estos aspectos coinciden con las conclusiones a las medidas de mitigación propuestas en marzo de 2004 (DHI, 2004), con la salvedad, que hasta el momento no se ha generado el dragado del río y no se ha refulado el material tal cual se sugiriese oportunamente. Este hecho hoy debería ser evaluado con suma cautela bajo el potencial impacto ambiental generado por los sedimentos dragados del río. Todas estas interacciones han producido una merma en las fuentes de sedimentos capaces de alimentar el transporte. Ello hace que la playa en cuestión no se mantenga estable temporalmente con un equilibrio dinámico (Davidson-Arnott, 2010, Coastal Engineering Manual Parte III, 2008 y Coastal Engineering Manual Parte IV, 2002, Donini, 2021b).

Conclusiones

Playa Unión se encuentra caracterizada por una gradación sustancial en el material que integra sus perfiles, lo cual indica que la erosión no se manifiesta de igual forma sobre los sedimentos que integran la playa. La misma posee un sector superior reflectivo con predominio de material granular grueso (con un D_{50} máximo de 13 mm), y uno inferior disipativo de material granular fino (D_{50} entre 0,2 mm y 0,4 mm) con elevada susceptibilidad a la erosión marina. Esta clasificación de playa reflectiva con terraza de bajamar se va modificando gradualmente a medida que se incrementa la distancia a la desembocadura del Río Chubut, migrando a un comportamiento más disipativo. El sector superior del perfil de la playa tiene mayor susceptibilidad espacial a la erosión marina ante la presencia de elevadas carreras de marea y elevadas alturas de ola en condición de rotura (tormentas y marejadas), pero con una leve tendencia a la recuperación con el transcurso del tiempo con posterioridad a dichos eventos. En contrapartida, el perfil inferior se ve afectado por la erosión marina tanto en presencia de marejadas como en condición de bajamar y aún con reducidas alturas de ola, hasta profundidades con cotas batimétricas entre -7 y -9 m (referida al cero del MOP). Esto evidencia un retroceso gradual pero constante en el tiempo de las líneas batimétricas asociadas al material de menor granulometría. Existe una tendencia futura y general del perfil cercano a la desembocadura del Río Chubut a mayores pendientes como respuesta al proceso general de erosión marina más acentuado en esa zona por la presencia de las obras de abrigo y del espigón corto. La construcción de este espigón de protección costera ha generado la acumulación de sedimentos de mayor granulometría en un sector de la playa, trasladando la erosión al norte de la misma. Por el contrario, no ha generado acumulación del material más fino debido a su corta extensión y a su trazado perpendicular a la playa.

Las curvas batimétricas y los análisis de la evolución de la playa del material grueso demuestran erosión en las progresivas iniciales y acumulación a partir de las progresivas 2500 a 3000 m, con leves variaciones según la isolínea analizada. Este comportamiento resulta una respuesta usual de la playa a temporales extremos asociados a pleamares extraordinarias juntamente con alturas de ola rompientes provenientes del sureste.

El proyecto de defensas costeras proyectadas en 2015 conformadas por espigones perpendiculares a la línea de costa y una defensa exenta, surgido de una serie de estudios técnicos y relevamientos realizados en los últimos 10 años, pretende proteger toda la extensión de Playa Unión para demorar los procesos erosivos en desarrollo. Sin embargo, estas medidas son parciales y no representan una solución integral para toda la costa de Playa Unión, sumado al efecto que generarán respecto de la modificación planialtimétrica de la playa, trasladando la erosión al norte. Esta conclusión se obtiene del comportamiento demostrado por la playa frente a la construcción en 2005 del espigón perpendicular.

Es destacable la importancia de los parámetros geoindicadores para el estudio del medio ambiente y su análisis en el tiempo. Ello permite comparar espacial y temporalmente los cambios y tendencias de la evolución de la línea costera, detectando las causas naturales y antrópicas que los provocaron en el pasado para encontrar respuestas en el presente.

Por todo lo expuesto, resulta necesario que el poder político fije de manera explícita las prioridades sobre el nivel de desarrollo económico y de conservación de los recursos de la zona costera de Playa Unión. Las prioridades deben estar enfocadas a un plan de acción y manejo integral que involucre a todos los actores implicados en el espacio litoral. El monitoreo de las estrategias de actuación y de las políticas públicas sobre este espacio litoral debería ser desarrollado por profesionales de diversas disciplinas, preferentemente sin vínculos con los sectores y actores que presenten intereses involucrados. Estos aspectos deben considerarse en un marco del análisis del cambio climático que afectan particularmente a estos espacios litorales y sus consecuencias sociales y económicas.

Referencias bibliográficas

- Barrios, I. (2000). El aprendizaje de la geografía en la praxis educativa indígena. Municipio Mara. Edo. Zulia. Tesis de Grado de la Maestría en Geografía Mención Docencia. Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela.
- Berger, A. & Iams, W. J. Eds. (1996). *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Róterdam, A. A. Balkema.
- Casanova Vidal, P. E. (2013). *Geohistoria del Concepto de Desarrollo en la Conurbación Concepción-Talcahuano: Hitos Urbanos y Huellas Territoriales de Medio Siglo*.

- Universidad de Chile. Facultad De Arquitectura Y Urbanismo. Escuela De Geografía. p. 27.
- CCyA Ingeniería, Tarela, P. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental de las Obras de Protección Contra la Erosión en Playa Unión*.
- Codignotto, J. O. (2005). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y cambio climático en la costa Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. N° 21. Buenos Aires. Asociación Argentina De Geología Aplicada a la Ingeniería. pp. 25-28.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Ed. Cambridge.
- Dean, R.G. (1977). Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts. Dept. of Civil Eng., Ocean Eng. *Technical Report 12*, Newark, Univ. of Delaware. pp. 54-84.
- Department of the Army. U.S. Army Corps of Engineers. (2008). Coastal Sediment Processes. *Coastal Engineering Manual*, EM 1110-2-1100 (Part III).
- DHI Water & Environment (DHI). (2004). *Estudio de Protección de Costas Playa Unión*. Informe Final.
- Donini, H. y del Valle (2010). Caracterización Morfodinámica y Predicción de los Cambios de Perfil de Playa Unión, Rawson, *VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Internacional AADIP – PIANC*. 20 págs.
- Donini, H. (2016). *Diseño y Construcción de Obras de Abrigo en Talud: introducción al estudio de mareas, olas y transporte de sedimentos*. Ed. Diseño.
- Donini, H. (2018). Clasificación morfodinámica del perfil costero de Playa Unión, Chubut, Argentina. *XII Jornadas Nacionales de Geografía Física "Contribuciones de la Geografía Física a la gestión de los territorios"*. Trelew. Chubut. UNPSJB.
- Donini, H. (2021a). *Los procesos de erosión costera en Playa Unión desde 1963: análisis retrospectivo e incidencias de las obras portuarias y de protección ejecutadas*. Tesis de Maestría en Geografía de los Espacios Litorales con Orientación en Turismo y con Orientación en Ambiente y Recursos Naturales. FHCS. UNPSJB.
- Donini, H. (2021b). *Los procesos de erosión costera: una introducción al estudio de las mareas, las olas, las playas y sus medios de protección*. Editorial Diseño.
- DYOPSA & Taylor Engineering Inc. & Reca Consultores S.R.L. (2003). *Análisis de Alternativas de Protección de Costas en Playa Unión*. Informe Técnico.
- Escofet, A. (2007). *El Análisis Retrospectivo en Zona Costera: Una Oportunidad para la Interdisciplina y el Diagnóstico Ambiental Orientado al Manejo*. p. 5.
- Estudios y Proyectos SRL y Consejo Federal de Inversiones (CFI). (2011). *Estudio de Protección de Costas Playa Unión, Chubut, Argentina*.
- Granda, J. (2005). *Ciudades puerto en la economía globalizada: la arquitectura organizacional de los flujos portuarios*. CEPAL-UN. Santiago de Chile.

- Kaless G. (2015). Alteración en la dinámica de los sedimentos en el Río Chubut aguas abajo de la presa Florentino Ameghino. *Cuaderno de Ingeniería Civil Orientación Hidráulica*. Centro de Documentación del Departamento de Ingeniería Civil Orientación Hidráulica – Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Kaless G., Donini, H., Bastida, R. e Iglesias, S. (2019). *Estudio Hidrodinámico, Sedimentológico y Verificación de Niveles para el Proyecto “Muelle Corporación Puerto Rawson”*. UNPSJB.
- Kulp, S. A. y Strauss, B. H. (2019). New Elevation Data Triple Estimates of Global Vulnerability to Sea-Level Rise and Coastal Flooding. *Nat Común* 10, 4844.
- Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI). (1996). *Estudio granulométrico de Playa Unión*.
- Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI). (1997). *Mediciones granulométricas en Playa Unión*. Universidad de la Patagonia-Facultad de Ingeniería.
- Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI). (2000). *Mediciones granulométricas en Playa Unión*. Universidad de la Patagonia-Facultad de Ingeniería.
- Masselink, G. y Short, A. (1993). The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. *Coastal Studies Unit Department of Geography University of Sydney*. Sydney, New South Wales. Australia. pp. 785-800.
- Moore, B.D. (1982). *Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height*. MCE Thesis. Department of Civil Engineering, University of Delaware. 164 págs.
- Newcomb, R. (1976). Doce enfoques operativos en Geografía Histórica. Randle, P. H. Geografía Histórica de la Argentina. Coordinadas de la Investigación: Cortes en tiempo, temas sistemáticos, regiones histórico-geográficas. *Revista Estudios Geográficos*. pp. 304-330.
- Sadar, M. H. (1997). Cumulative impact and EIA: the development of a practical framework. En: *EIA Newsletter 14* (C. Wood, A. J. Baker and C. E. Jones, eds). EIA Centre, University of Manchester M13 9PL, UK. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07349165.1995.9726112>
- Serman & Asociados S.A. (1997). *Estudio de la Factibilidad de la Remodelación del Puerto de Rawson*.
- Tovar, R. (1996). *El Enfoque Geohistórico*. Valencia Venezuela: Editado por la Universidad de Carabobo. p. 38.
- Veneziano, M. F. y García, M. C. (2014). Protección costera y regeneración de playa en el sur de municipio Gral. Pueyrredón, Pcia. de Buenos Aires. *Libro de resúmenes de las Segundas Jornadas Nacionales de Ambiente*.
- Vörösmarty, C. J., Syvitski, J., Day, J., Sherbinin, A., Giosan, I. y Paola, C. (2009). Battling to save the world's river deltas. *Bulletin of the Atomic Scientists*. Vol. 65. No. 2. pp. 31–43.