

Manuel Isla y Mariano Remírez

Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), UNLP-Conicet

# ¿Cómo estudiamos y qué sabemos de las playas del pasado?

**E**l aumento en la densidad poblacional dentro de los ambientes costeros de la Argentina y los peligros potenciales asociados con modificaciones en el nivel del mar, producto del cambio climático de escala global, generaron la necesidad de incrementar la comprensión sobre la dinámica de las playas para su manejo sustentable. En ese sentido, estudiar la evolución de playas del pasado resulta de crucial importancia, ya que permite comprender algunos de los fenómenos que ocurren actualmente y además proyectar cambios hacia el futuro. En este artículo buscaremos desentrañar cómo estudiamos los depósitos de playas del pasado (playas fósiles) y qué información nos proveen.

## Hacia atrás en el tiempo

El estudio de playas fósiles es inherente a la sedimentología como rama de la geología que estudia las rocas sedimentarias y sus ambientes de acumulación. Para entender estos ambientes del pasado, resulta crucial la comprensión de los procesos físicos y biológicos que actúan sobre las playas actuales, con una periodicidad diaria, mensual o incluso anual. Este tipo de estudios facilita la comprensión de la dinámica de los ambientes costeros actuales y del pasado reciente. A su vez, permiten la generación de modelos predictivos para el manejo sustentable, poniendo de manifiesto uno de los paradigmas vigentes de la geología moderna, 'el presente es la llave

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

El estudio del registro sedimentario para la reconstrucción de ambientes de playas del pasado.

del pasado', lo que, en otros términos, significa que entender las playas actuales nos permite entender las playas pretéritas.

El estudio del registro sedimentario antiguo de este tipo de ambientes implica interpretar fenómenos cuya duración pudo haber involucrado centenas a decenas de miles de años. Abarca un intervalo temporal mucho más amplio que el que puede tener registrado la humanidad, por lo cual implica dar vuelta el paradigma: en este caso necesitamos estudiar y entender los depósitos sedimentarios que dejaron las playas del pasado y que comprenden largos períodos para poder generar modelos evolutivos que registren esas variaciones temporales de gran escala.

El principal desafío que tiene la geología y, en este caso particular, el estudio de los depósitos sedimentarios es intentar reconstruir cosas que ya no existen. Llamamos 'reconstrucciones paleoambientales' a la interpretación que geólogos y geólogas hacemos de la información que nos brindan los depósitos sedimentarios. Para ello, debemos valernos de tres elementos fundamentales: i) una metodología de trabajo rigurosa; ii) datos confiables y suficientes, y iii) una base teórica de conceptos que nos provea herramientas para interpretar nuestros datos. En definitiva, observar, registrar e interpretar.

La metodología de trabajo más utilizada para el estudio del registro sedimentario la constituyen los perfiles sedimentarios. Un perfil sedimentario no es otra cosa que el registro gráfico vertical de los distintos estratos geológicos que se suceden en el tiempo. Esto incluye sus principales atributos, tales como el tamaño de los granos de los sedimentos que luego conforman las rocas,

la composición y las estructuras sedimentarias presentes que pueden ser orgánicas o mecánicas. Las estructuras sedimentarias mecánicas son fundamentales para la reconstrucción paleoambiental, ya que evidencian los procesos físicos actuantes durante la acumulación de los sedimentos que con el tiempo se transformarán en roca. Por otro lado, las estructuras sedimentarias orgánicas, producidas por organismos que interactúan con el sedimento depositado, permiten conocer los comportamientos de los distintos tipos de organismos que habitaron en el ambiente.

## Los marcos conceptuales: del dato a la interpretación

Las estructuras sedimentarias mecánicas son unos de los rasgos fundamentales de las rocas sedimentarias utilizadas para la interpretación de los ambientes de acumulación. A partir de aspectos geométricos como la escala, simetría y disposición espacial de sus elementos, en conjunto con el tamaño del grano, se puede asociar cada estructura sedimentaria con el tipo de fluido que la originó, su velocidad y profundidad del cuerpo de agua (cuando se trata de ambientes acuáticos), además de otras variables. La reproducción en laboratorios de las condiciones naturales de los flujos y sus depósitos resultantes son de gran valor para interpretar dichas estructuras. Desde esta idea es que es posible construir modelos conceptuales que pueden ser extrapolados a las interpretaciones sobre ambientes costeros del pasado.



Afloramiento de rocas sedimentarias y su perfil sedimentario reconstruido. La escala horizontal del perfil indica, de izquierda a derecha, el tamaño de grano del sedimento de más fino a más grueso. Pelitas: arcilla (Ar) y limo (Lm). Areniscas: muy fina (MF), fina (F), mediana (M) y gruesa (G).



**Izquierda.** Vista en perfil de *ondulas* preservadas al tope de un estrato de arenisca. **Derecha.** Vista en planta de esta misma estructura sedimentaria en otro afloramiento. La tapa de la lente de aproximadamente 70mm fija la escala.

## Cuando el presente es la llave del pasado (y viceversa)

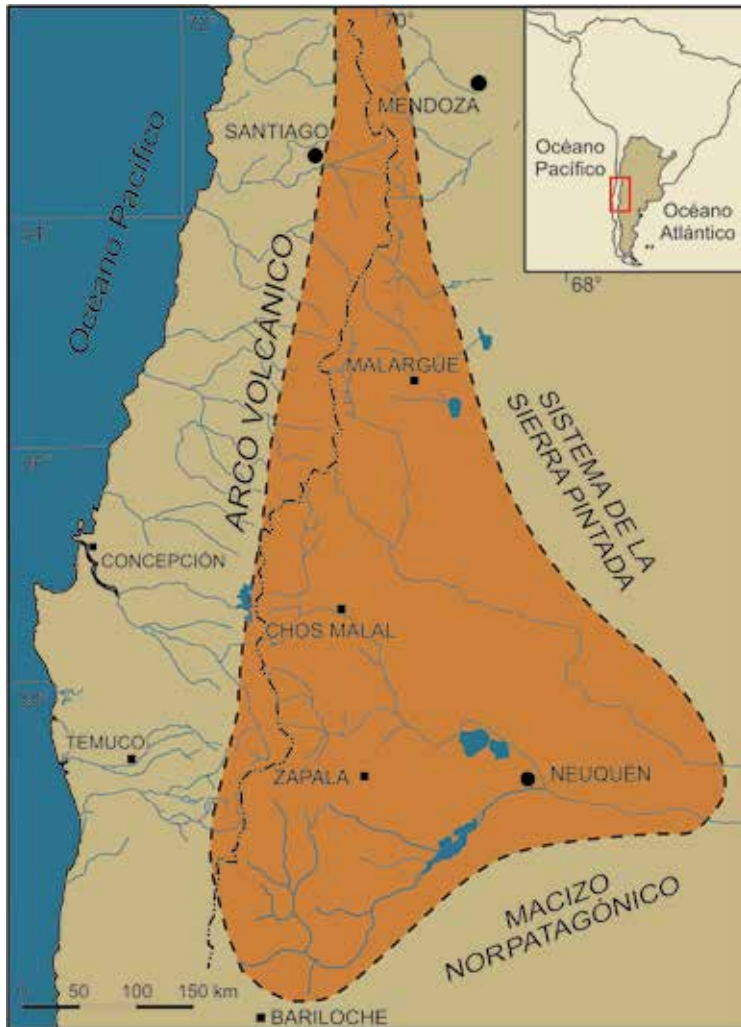
El registro sedimentario acumulado en ambientes costeros fue muy estudiado desde el punto de vista de su preservación y la interpretación de los procesos que configuraron su naturaleza, tales como olas, mareas, corrientes y vientos. En general, los mecanismos de cómo operaron estos procesos durante la sedimentación de lo que hoy son ambientes fósiles parten de observaciones realizadas en ambientes de playas actuales. Estos cuatro procesos que dominan la dinámica de transporte de sedimento, y consecuentemente el tipo de ambiente costero generado, son muy utilizados para clasificar los ambientes costeros fósiles a partir del análisis de los actuales. Así, existen ambientes costeros dominados por olas, otros por mareas, algunos por tormentas y otros por ríos. Además, hay un amplio espectro de sistemas en los que existe un dominio mixto de procesos.

Siendo cuidadosos de no entrar en pensamientos circulares, frecuentemente nos valemos de fenómenos que vemos hoy en día en las playas para intentar explicar el registro sedimentario. Sin la observación de cómo actúan las olas y las mareas en las playas actuales hubiera sido imposible elaborar la mayoría de los modelos conceptuales que son fundamentales para el estudio de las sucesiones sedimentarias fósiles. En definitiva, la observación de playas actuales permite entender el proceso físico (como puede ser una ola aproximándose a la costa y la generación de *ondulas* en el sustrato marino), pero la sedimentología es la encargada de asociar dicho proceso a la preservación de determinadas características de una roca sedimentaria. Por ejemplo, la preservación de estructuras sedimentarias denominadas estratificaciones entrecruzadas como producto de la migración de dichas

*ondulas* durante un período prolongado donde la acción de las olas fue constante.

## Playas fósiles en la provincia de Neuquén

Un caso interesante analizado por los autores es el estudio y la reconstrucción de playas fósiles a partir de los depósitos acumulados durante el período Cretácico, hace aproximadamente 140 millones de años, en la provincia de Neuquén. Allí se localizaba una cuenca sedimentaria, es decir un área geográfica capaz de acumular espesores significativos de sedimento y preservarlos por largos períodos de tiempo geológico. La historia evolutiva durante el Cretácico de la cuenca neuquina, emplazada en las actuales provincias de Neuquén y parte de las provincias de Mendoza, La Pampa y Río Negro, se caracterizó por las importantes ingresiones marinas desde el océano Protopacífico sobre el continente. Durante el lapso temporal que va desde el Triásico tardío (~200 millones de años) hasta el Cretácico temprano (~125 millones de años), el nivel global del mar sufrió repetidos procesos de ascensos y descensos. Durante estos ascensos (conocidos como ascensos eustáticos), numerosas regiones del planeta sufrieron inundaciones en zonas comúnmente ocupadas por continentes. Tal es el caso de la cuenca neuquina que limitaba hacia el oeste con una incipiente cordillera de los Andes que aún no tenía la altura que presenta actualmente. Una de estas ingresiones marinas se desarrolló durante el intervalo temporal conocido como Valanginiano tardío (hace alrededor de 140 millones de años) donde se acumularon sedimentos de origen marino agrupados en lo que hoy conocemos como Miembro Pilmatué de la Formación Agrío.



Ubicación de la cuenca neuquina durante el Cretácico emplazada en las actuales provincias de Neuquén, Mendoza, La Pampa y Río Negro.

La ingresión marina del Valanginiano tardío generó que el mar llegara desde el Pacífico hasta la región central de la cuenca neuquina, aproximadamente por donde circula la actual ruta nacional 40 entre las localidades de Zapala y Chos Malal. Allí, el Miembro Pilmatué contiene una serie de rocas sedimentarias que han sido interpretadas como originadas en ambientes costeros, y más específicamente de playa.

El análisis detallado de las distintas litologías, su contenido fósil, sus estructuras sedimentarias mecánicas y orgánicas y las relaciones de cambio vertical permitió interpretar que se trataba de un sistema costero donde las olas y las corrientes ejercían una importante influencia en la dinámica litoral. En sedimentología esto se conoce como una costa dominada por olas y tormentas, lo cual la distingue de aquellas donde las corrientes generadas por mareas o los ríos son las principales influencias en el transporte. Este tipo de sistemas se caracterizan por la preservación de estructuras asociadas con óndulas

y dunas. La acción de las olas y las corrientes, al interactuar con el sustrato, construye este tipo de morfologías definidas como formas de lecho. A su vez, se reconocieron formas de lecho monticulares (del inglés *hummocks*), generadas por las olas y corrientes durante períodos de tormenta. Por otro lado, la orientación de las estructuras sedimentarias generadas por dichas formas de lecho permitió interpretar la orientación de la línea de costa (conocida como paleolínea de costa). Las óndulas generadas en los sectores más profundos, donde las olas comienzan levemente a interactuar con el fondo, se orientan con sus crestas paralelas a la línea de costa. Eso llevó a interpretar que la paleolínea de costa se ubicaba aproximadamente en dirección este-oeste al comienzo de la instalación del sistema marino del Valanginiano tardío, aunque habría sufrido fenómenos de rotación debido a la erosión y acumulación de sedimento por parte de las corrientes litorales.

Se realizaron reconstrucciones bi y tridimensionales incorporando elementos morfológicos como son las barras intermareales y submareales (acumulaciones de arena debido a la acción de las olas). La interpretación de este tipo de rasgos se realizó gracias al estudio de la estructura de mediana escala en términos de variabilidad vertical y lateral de los depósitos. El sistema costero reconstruido para el área de estudio demuestra que la fuerte influencia de las olas y corrientes resultaba en un ambiente de barras separadas por depresiones donde la circulación de agua seguía un patrón celular. Las olas eran las encargadas de traer el sedimento a las zonas costeras, el cual era redistribuido longitudinalmente por las corrientes y solo una pequeña porción era exportada hacia el mar por las corrientes de retorno.

Un aspecto interesante a tener en cuenta es el potencial de preservación de los sedimentos. Los depósitos estrictamente equivalentes a las playas actuales (donde pondríamos la sombrilla), así como aquellos resultantes de las dunas litorales (comúnmente conocidos como médanos) no suelen quedar preservados en el registro fósil. Frecuentemente el registro preservado de estos ambientes está limitado solo a la parte subácuea, ya que los depósitos del sector subaéreo son fácilmente re trabajados por diversos agentes de transporte. El sector subácueo corresponde al sustrato de las zonas de aproximación y rompiente de las olas que está permanentemente debajo del agua. A su vez, dentro de la parte subácuea, las barras inter y submareales tienen relativamente bajo potencial de preservación debido a que son relieves positivos sometidos a la constante acción del oleaje. Recientemente se ha demostrado que las tormentas ejercían un control significativo en la preservación de las barras de estas costas. Los incrementos en las velocidades de oscilación de las olas sumados al impacto de los flujos de



Afloramientos de depósitos de playas fósiles del Miembro Pilmatué (provincia de Neuquén). Los depósitos de pelitas se caracterizan por su coloración grisácea oscura mientras que las areniscas tienen coloraciones claras. La vertical del lugar va de abajo hacia arriba.

relajación durante las tormentas (corrientes que transportan sedimento hacia el mar en los estadios finales de dichos eventos) erosionaban y removilizaban los sedimentos que conformaban las barras. Paradójicamente, la interpretación de una costa con barras se realiza, en muchos casos, prescindiendo de aquellas e interpretando las particularidades del resto de los elementos que conformaban el sistema. Las dimensiones y la orientación de las dunas preservadas en los depósitos de depresiones son las que indican que se trataba de un ambiente con fuerte influencia de transporte longitudinal generado entre las barras. Dentro de estos sectores canalizados, las dunas migraban paralelas a la línea de costa.

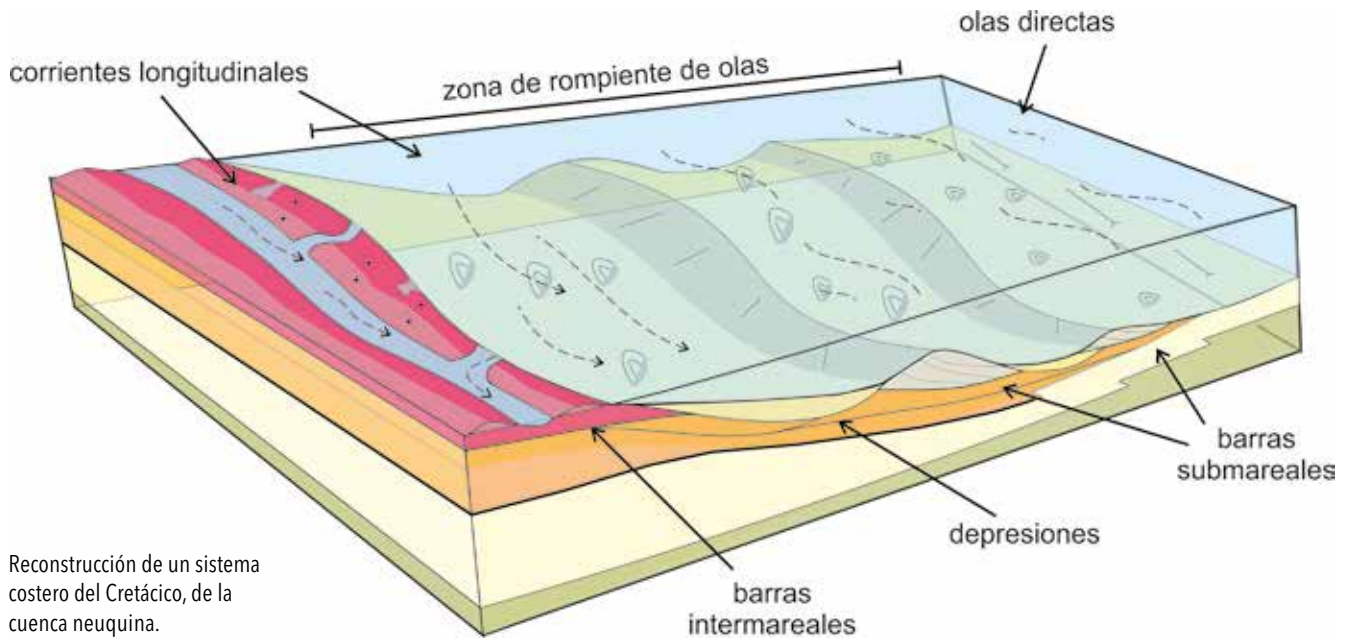
Finalmente, la interpretación de un sistema de barras y depresiones llevó a inferir condiciones hidrodinámicas. Esto se realizó por la comparación con playas actuales con morfologías similares. Los sistemas de barras son típicos de costas arenosas de bajo gradiente. Las olas aproximándose a la playa pierden su energía principalmente por disipación y esto resulta en un perfil suave sin pendientes significativas. Resumiendo, las playas presentes durante el Valanginiano tardío en el centro de la cuenca neuquina se caracterizaron por sistemas marinos someros domi-

nados por olas donde se generaban barras y depresiones producto de la acción de olas y corrientes longitudinales. Este sistema predominantemente arenoso era de bajo gradiente y con una dinámica disipativa de oleaje.

## Perspectivas futuras

Si bien se ha avanzado mucho en el conocimiento de los ambientes de playas fósiles, sobre todo gracias a nuevas tecnologías y modelos digitales, aún es mucho lo que falta por comprender en materia de dinámica de los procesos y su reflejo en el registro sedimentario. Además, se ha mejorado mucho la identificación de fenómenos inherentes a cambios en el nivel del mar durante el pasado y su impacto en la evolución de las playas. Todo este análisis de procesos ocurridos en el pasado puede ser utilizado para comprender cuestiones que están pasando hoy en día e incluso predecir aspectos futuros.

La interpretación del registro sedimentario de playas fósiles tiene a su vez importantes implicancias en la industria de los hidrocarburos, ya que los depósitos are-



Reconstrucción de un sistema costero del Cretácico, de la cuenca neuquina.

nosos de este tipo de ambiente, al tener alta porosidad, suelen ser buenos reservorios de fluidos. En ese sentido, su estudio no solo tiene finalidades académicas, sino que también es útil para generar información aplicable a las etapas de exploración y desarrollo en esta industria.

Durante las últimas décadas se han incorporado una gran cantidad de herramientas que facilitan la obtención de información. El advenimiento de técnicas de modelado virtual ofrece un sinnúmero de oportunidades en cuanto a evaluar la bi y tridimensionalidad de los depósitos que se asemejen cada vez más a lo real. Lo que es indudable es

que vamos hacia una necesidad de sinergia permanente entre el estudio de playas fósiles y actuales. Estos dos enfoques que han permanecido desconectados por mucho tiempo se encuentran cada vez más cerca y con diversos elementos de comparación. Aún hoy en día están más vigentes que nunca las ideas de James Hutton (1726-1797) acerca de que el presente es la clave para entender el pasado. Y viceversa, el avance en el conocimiento de los sistemas sedimentarios fósiles está demostrando también que generar aprendizajes sobre el pasado permite entender los sistemas actuales. **UH**

## LECTURAS SUGERIDAS

**ANTHONY EJ**, 2008, *Shore Processes and Their Palaeoenvironmental Applications*, vol. 4, Ámsterdam, Elsevier.

**CLIFTON HE**, 2006, 'A re-examination of facies models for clastic shorelines', en Posamentier HW & Walker RG (eds.), *Facies Models Revisited*, vol. 84, SEPM Special Publication, pp. 293-337.

**DAVIDSON-ARNOFF RGD**, 2010, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Cambridge University Press.



### Manuel Isla

Doctor en ciencias naturales, UNLP.  
Becario posdoctoral en el CIG, Conicet-UNLP.  
Jefe de trabajos prácticos, UNLP.  
[misla@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:misla@cig.museo.unlp.edu.ar)



### Mariano Remírez

Doctor en ciencias naturales, UNLP.  
Becario posdoctoral en el CIG, Conicet-UNLP.  
Ayudante de primera, UNLP.  
[mremirez@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:mremirez@cig.museo.unlp.edu.ar)