

Juan Federico Ponce y Jorge Rabassa
Investigadores del Conicet en el Centro Austral de
Investigaciones Científicas, Ushuaia

La plataforma submarina y la costa atlántica argentina durante los últimos 22.000 años

La plataforma continental argentina

Con el nombre *plataforma continental* se conoce a la prolongación de los continentes por debajo del nivel del mar actual. Mar adentro, existe un enorme escalón submarino denominado *talud continental*. Este talud separa la plataforma continental del fondo marino profundo denominado *llanura abisal* (figura 1). De acuerdo con la Ley del Mar de Naciones Unidas, plataforma, talud y hasta una porción de la emersión continental pueden ser reivindicados por los Estados ribereños y a tal fin la República Argentina ha presentado los planos correspondientes (figura 1). La plataforma continental argentina (PCA) se extiende en dirección N-S desde la desembocadura del Río de la Plata hasta el sur del archipiélago de Tierra del Fuego. La PCA

tiene una superficie aproximada de 1.000.000km², una longitud máxima de 2300km en el sentido NNE-SSO, y un ancho promedio de 440km en sentido E-O, con un mínimo cercano a los 180km frente a las costas de la península Mitre (este de la isla Grande de Tierra del Fuego), y un máximo de 880km, en el sector norte de las islas Malvinas (figura 1). Presenta una profundidad máxima cercana a los -250m inmediateamente al oeste de las islas Malvinas. Una de las características principales de la PCA es su suave pendiente, la cual es siempre menor que 0,5°. La pendiente, si bien es muy baja, presenta variaciones a lo largo de toda la plataforma. Su mayor riqueza radica en los recursos pesqueros y en los potenciales mineros, incluyendo reservas de petróleo en cuencas ya conocidas pero cuyas reservas no han sido estimadas con precisión.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las glaciaciones ocurridas en la región expusieron en diferente grado la actual plataforma continental argentina. El conocimiento de estos fenómenos brinda información sobre los cambios climáticos ocurridos principalmente en los últimos 22.000 años y sobre los procesos que los provocan. Este conocimiento permite reconstruir los paleoambientes de la región y tiene, además, derivaciones legales por las convenciones internacionales que rigen sobre ella y por la utilización de los recursos pesqueros y mineros que atesora.

Las glaciaciones y su relación con las variaciones en el nivel del mar

A lo largo de su historia, nuestro planeta ha experimentado importantes cambios climáticos, debidos a causas naturales, principalmente astronómicas, relacionadas con la ocurrencia de tres fenómenos, a saber:

- 1) **Excentricidad de la órbita terrestre:** cambios en la forma de la órbita terrestre alrededor del Sol, variando entre formas extremas más circulares y más elípticas.
- 2) **Inclinación del eje terrestre:** variaciones en el ángulo de inclinación del eje.
- 3) **Precesión de los equinoccios:** variaciones en la dirección de inclinación del eje terrestre debido a un movimiento del mismo que se asemeja al movimiento de bamboleo de un trompo.

En términos generales, cada uno de estos procesos produce una mayor o menor insolación sobre la superficie terrestre, que desencadena grandes cambios en el sistema climático del planeta. Estos procesos son cíclicos, y sus intervalos de ocurrencia varían entre 100.000, 41.000 y 25.000 años respectivamente. El conjunto de estos tres

procesos es conocido como *ciclos de Milankovich*, en honor al científico serbio Milutin Milankovich (1879-1958), quien formuló esta teoría a comienzos del siglo XX, al relacionar las variaciones orbitales con cambios climáticos de primera magnitud.

En particular, durante los últimos 2,5 millones de años nuestro planeta sufrió varios períodos de enfriamiento global que condujeron a períodos glaciales o 'glaciaciones'. Estas glaciaciones estuvieron separadas por momentos relativamente cálidos, con características climáticas más similares a las actuales, denominados *períodos interglaciales*. Durante los eventos fríos o glaciaciones, grandes porciones continentales en ambos hemisferios estuvieron cubiertas por enormes masas de hielo, principalmente en altas latitudes.

En la Patagonia, la más extensa de las glaciaciones es conocida como Gran Glaciación Patagónica (GGP) y ocurrió alrededor de un millón de años atrás. En su transcurso el hielo tuvo una gran extensión, especialmente en el sur de la Patagonia.

Los diferentes ciclos glaciales e interglaciales estuvieron acompañados por cambios significativos en el nivel del mar. Estas variaciones incluyeron niveles del mar aproximadamente 100m más bajos que los actuales durante los períodos glaciales e, inversamente, similares o algo más altos que el de hoy durante los períodos interglaciales,

cuando los hielos se derretían masivamente. Durante las glaciaciones el agua evaporada del mar precipita como nieve en los continentes, se transforma en hielo y regresa muy lentamente a los océanos o permanece como hielo por decenas de miles de años. De esta manera, el ciclo natural del agua se ve interrumpido, quedando una gran proporción de la precipitación atrapada en los continentes en forma de hielo, sin poder retornar a los océanos, provocando así una caída del nivel del mar a escala global. A su vez, esta situación genera un aumento del *albedo* de la tierra (cantidad de energía solar que la superficie terrestre refleja con relación a la que incide sobre la misma) debido a que las superficies claras (nieve) reflejan un mayor porcentaje de energía que las oscuras. De esta manera, la energía para calentar la superficie de la tierra es menor, y se acentúa así el enfriamiento del planeta. Los ascensos del nivel del mar durante los períodos interglaciales son producidos por el derretimiento de grandes acumulaciones de hielo debido a un calentamiento global natural y el retorno de enormes volúmenes de agua a los océanos, es decir, un proceso inverso al anterior. Durante los diferentes eventos glaciales ocurridos en el Pleistoceno (es decir, los últimos 2,5 millones de años), gran parte de la PCA habría estado expuesta a la atmósfera en reiteradas ocasiones, como consecuencia del descenso relativo del nivel del mar, desarrollándose una enorme planicie al este de la costa de la pampa y la Patagonia.

lo que se conoce como la Última Glaciación Pleistocena, que duró unos 100.000 años, comenzó a ceder hace unos 18.000 años y finalizó hace 11.000 años. La atmósfera se fue enfriando progresivamente, aunque no de forma lineal. La magnitud del enfriamiento fue diferente según las latitudes. En las altas latitudes y en el interior de los continentes el descenso de temperatura fue mayor que en el resto del planeta. Se ha estimado que en muchas partes la temperatura media pudo haber descendido hasta más de 15°C. El momento más frío dentro de esta glaciación ocurrió entre los 24.000 a 22.000 años antes del presente (a.p.) durante el transcurso del período conocido como Último Máximo Glacial (UMG). En esta época, el volumen de hielo acumulado en los continentes alcanzó su máximo valor.

Durante el UMG, gran parte de la Patagonia estuvo cubierta por glaciares. Un enorme manto de hielo se desarrolló sobre la cordillera de los Andes, desde el norte de la provincia de Neuquén hasta el extremo sur de Tierra del Fuego (figura 2a), cubriendo una superficie aproximada de 320.000km², es decir, un tamaño equivalente a un tercio de la superficie actual de la Patagonia argentina. Cabe mencionar que la superficie ocupada por glaciares en la Patagonia es actualmente de unos 26.500km² (equivalente a un 5% de la que ocupaba aquel antiguo manto de hielo original). Hacia el oeste, al sur del paralelo 42°S, el hielo cubría la totalidad de la superficie que hoy en día conocemos como República de Chile. Desde la cordillera descendían enormes lenguas glaciales hacia el océano Pacífico. En algunos sectores, el hielo entraba en contacto directo con el mar posiblemente generando pequeñas plataformas de hielo adosadas a la costa y un gran número de enormes icebergs, como ocurre actualmente en las costas de la Antártida. Grandes volúmenes de agua dulce eran aportados a lo largo de toda la costa del océano Pacífico, provenientes de la fusión de estos glaciares, lo cual debe haber afectado seriamente los ecosistemas marinos costeros en esas épocas. Hacia el sector este de la cordillera de los Andes, el antiguo manto de hielo patagónico descargaba grandes volúmenes de hielo a través de extensos glaciares cuyos frentes alcanzaban la zona precordillerana. Varios de estos antiguos glaciares ocupaban la superficie de lagos ubicados actualmente al pie de la cordillera (por ejemplo, los lagos Fagnano, Argentino, Viedma, Buenos Aires, Nahuel Huapi, Lácar, entre otros). A lo largo de las provincias de Santa Cruz y Tierra del Fuego, algunos glaciares superaron los 100km de extensión en dirección O-E.

En el transcurso de esta última glaciación, el nivel del mar se posicionó aproximadamente entre 120 y 140m por debajo de su nivel actual. Bajo estas condiciones, gran parte de la PCA quedó expuesta, generándose una enorme planicie subaérea a lo largo de la costa atlántica de pampa y Patagonia (figura 2a). Esta gran planicie se extendía de manera continua hacia el norte, hasta la costa atlántica del

El modelo paleogeográfico

En este trabajo se da a conocer un modelo de evolución paleogeográfica de las costas de la pampa y la Patagonia. El mismo fue elaborado a partir de la utilización del software Global Mapper 10, el cual permite realizar simulaciones de cambios del nivel del mar a partir de modelos digitales de elevación del terreno. Para la realización del modelo se tuvo en cuenta la curva global de ascenso del nivel del mar desde el Último Máximo Glacial (UMG) hasta la actualidad, propuesta por el equipo liderado por Fleming y publicado en 1998. A su vez, al modelo fue incorporada información proveniente de trabajos existentes sobre la extensión de las masas de hielo en el extremo sur de América del Sur durante el UMG y el Tardiglacial, que corresponde a la fase final de la glaciación.

Evolución de la costa atlántica argentina

Última Glaciación

Unos 115.000 años atrás comenzó en nuestro planeta el último gran enfriamiento global que desencadenó en

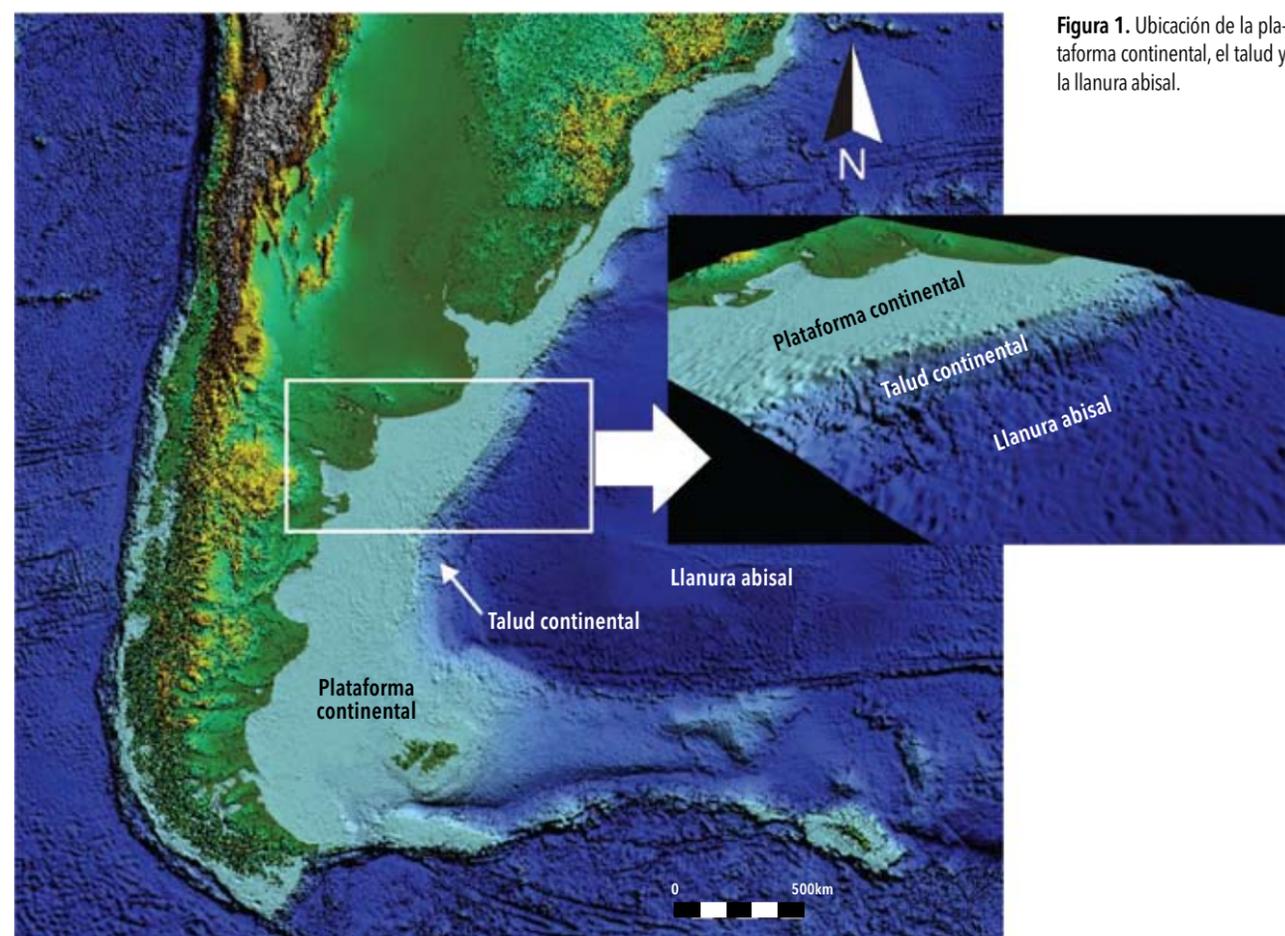


Figura 1. Ubicación de la plataforma continental, el talud y la llanura abisal.

Brasil, entre los 14°-15°S, y abarcaba gran parte de lo que hoy se conoce como plataforma continental sudamericana. Según los cálculos realizados sobre la base de nuestro modelo paleogeográfico, la superficie de la planicie a lo largo de las costas de la Patagonia y la pampa desde la desembocadura del actual Río de la Plata hasta su extremo sur en la isla de los Estados era de aproximadamente 590.000km² (equivalente a la suma de las superficies de las provincias de Tierra del Fuego, Santa Cruz y Chubut) y su ancho variaba entre 490km (a la latitud de la actual ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires) y 100km (en la península Mitre, isla Grande de Tierra del Fuego). El modelo muestra que durante ese momento las islas Malvinas (Gran Malvina y Soledad) conformaban una única isla (figura 2a) con una superficie aproximada de 45.880km² (cuatro veces mayor a la superficie actual del archipiélago). Esta antigua isla única se encontraba separada del resto del continente por un estrecho marino de unos 220km de ancho en dirección E-O. A una distancia aproximada de 120km al sur de las islas Malvinas, se habría desarrollado otra gran isla, al quedar emergido parte del banco de Burkwood (figura 2a). Esta paleoisla se ubicaba a unos 150km al este del continente. Tenía una superficie cercana a los 13.600km² (algo mayor a la

superficie de las actuales islas Malvinas) y habría existido como tal por lo menos desde 40.000 años a.p. (y quizá antes aún) hasta aproximadamente 15.500 años a.p. La actual isla de los Estados se encontraba unida al resto del continente al igual que la isla Grande de Tierra del Fuego. Bajo esta situación, el límite sur del sector continental de la Patagonia se extendía unos 450km más hacia el sur de su posición actual.

Deglaciación

A continuación del UMG, se desarrolló un período de mejoramiento climático global que llevó a la finalización de la Última Glaciación Pleistocénica. Las causas de este mejoramiento climático aún no son del todo claras. Sí se sabe que un factor desencadenante fue una mayor radiación solar recibida en el hemisferio norte, que produjo veranos significativamente más cálidos. Este incremento en la radiación solar comenzó hace unos 22.000 años y su causa fue de índole astronómica, relacionada con los ciclos de Milankovich. Esta nueva situación desencadenó una serie de complejas modificaciones en el clima del resto del planeta, las cuales contribuyeron al

Figura 2. Modelo de evolución paleogeográfica de la pampa y la Patagonia desde el Último Máximo Glacial (UMG) hasta la actualidad.

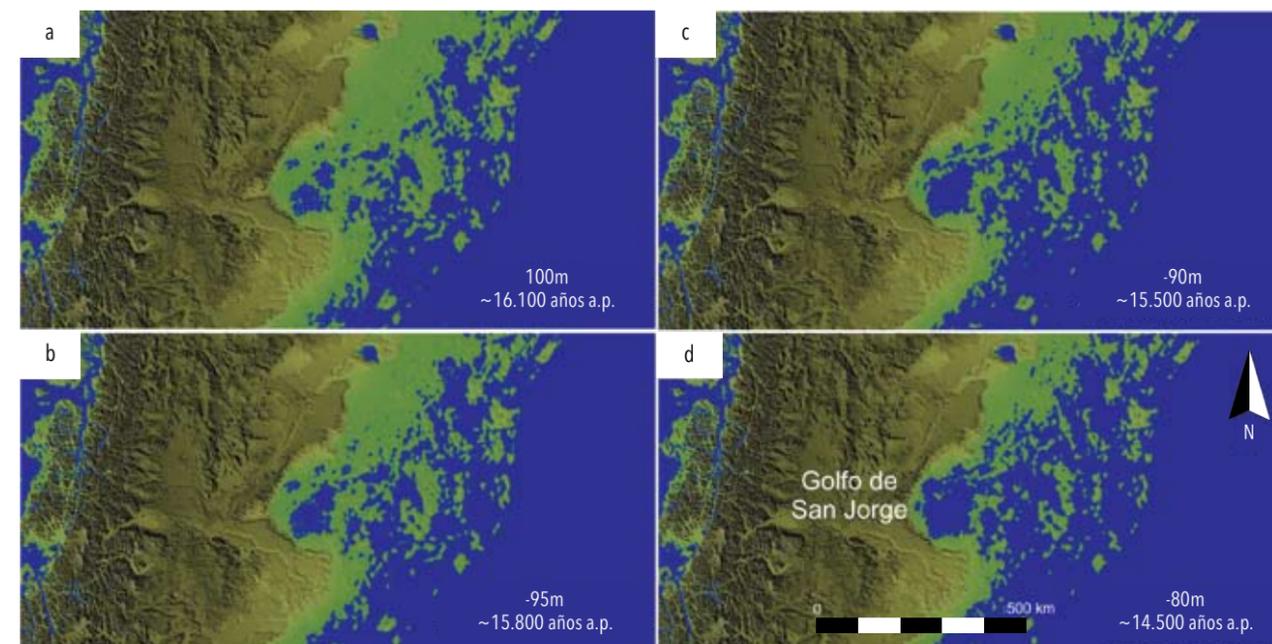
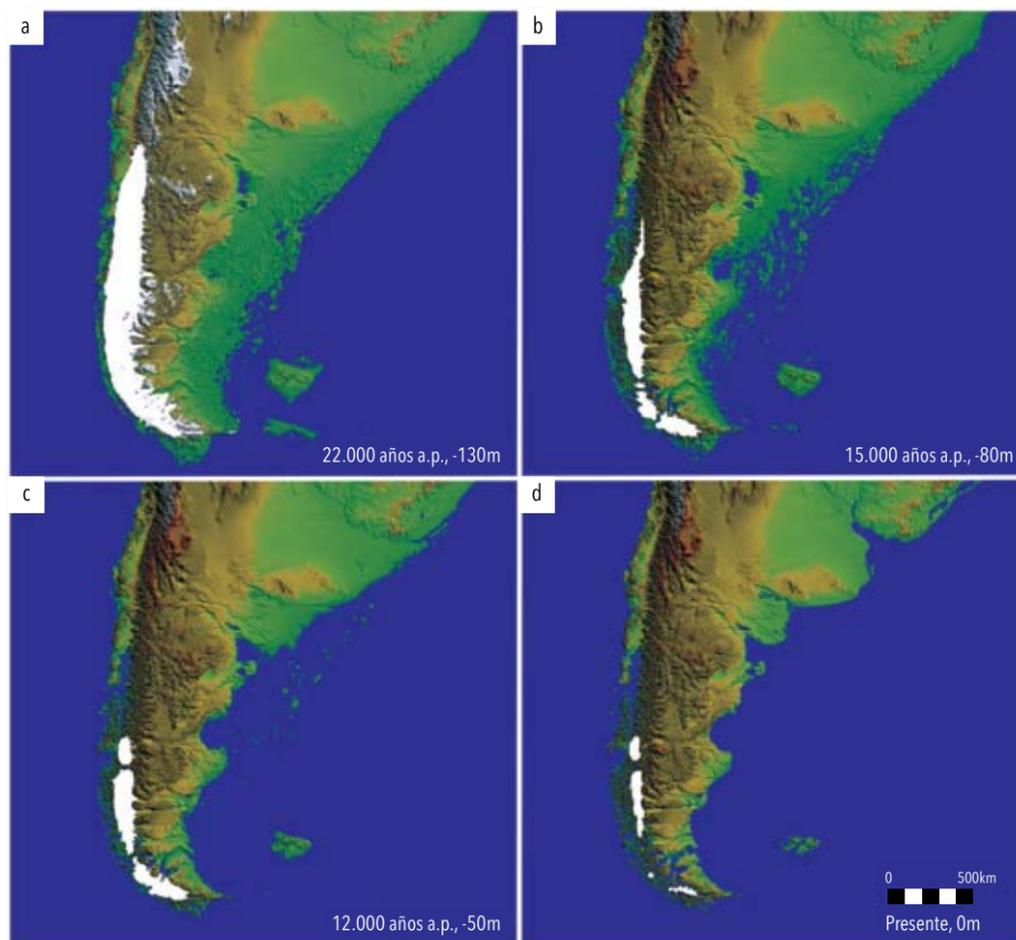


Figura 3. La formación del golfo San Jorge se produjo hacia los 15.500 años a.p., posiblemente como consecuencia de la inundación marina de un antiguo gran bajo sin salida.

calentamiento global y al consecuente ascenso del nivel del mar a medida que los hielos se derretían.

En la Patagonia, estudios basados en modelos de deglaciación muestran que el deshielo fue más intenso durante los primeros 1000 años y continuó con menor intensidad hasta los 9000 o 8000 años a.p. aproximadamente, momento en el que la cobertura de hielo alcanzó dimensiones similares a las actuales. Se ha estimado una disminución del volumen de hielo del manto patagónico de hasta 68% durante los primeros 1000 años de deglaciación. Hacia los 15.300 años a.p., el gran manto de hielo se había reducido a una sexta parte de su tamaño original. Probablemente, ya no se trataba de una masa de hielo única y continua, sino que habría estado dividida en varios casquetes de hielo principales (figura 2b).

Siguiendo con la interpretación de nuestro modelo paleogeográfico, para ese momento el nivel del mar había ascendido hasta los -90m por debajo del actual y la extensión de la gran planicie emergida al este de la actual costa atlántica argentina se habría reducido a un 65%, aproximadamente, de su superficie original, presentando ahora una superficie de 400.000 km² (figura 2b). Para el intervalo comprendido entre 22.000 y 15.000 años a.p. hemos estimado un retroceso promedio de la paleolínea de costa de Patagonia y pampa hacia el continente de aproximadamente 160km. Esto es equivalente a una velocidad promedio del orden de los 22m por año.

Hacia los 15.000 años a.p., la planicie presentaba a la latitud de Tierra del Fuego un ancho promedio de unos 90km. A lo largo de la provincia de Santa Cruz, entre los 46°-52°S, su ancho variaba entre 40 y 90km. En el norte

de la Patagonia, frente a las costas de las provincias de Chubut y Río Negro, la antigua planicie presentaba un ancho promedio de 200km. Para ese mismo momento, en el sur de la actual provincia de Buenos Aires, a la latitud de Bahía Blanca, la paleolínea de costa se encontraba en promedio a unos 260km al este de su posición actual. En el sector norte de esta provincia, a la altura del actual Río de la Plata, el retroceso hacia el continente de la línea de costa habría sido mínimo, de tan solo 25km desde su máxima extensión durante el UMG hasta los 15.000 años a.p. La formación del golfo San Jorge se habría producido hacia los 15.500-15.000 años a.p., momento en el cual el nivel del mar alcanzó los -90m (figura 3). Posiblemente el origen de este engolfamiento esté asociado a la inundación marina de un antiguo gran bajo sin salida, es decir, una depresión cerrada, de forma semicircular, muy comunes a lo largo de toda la Patagonia. Esto es posible de verificar a partir del análisis del relieve submarino en el sector, donde se aprecia la continuación de la forma circular del golfo mar adentro. El momento de formación de los golfos San Matías y San José fue calculado en aproximadamente 12.000 años a.p. El origen de estos dos golfos habría sido similar al descrito para el golfo San Jorge. Estas depresiones habrían estado ocupadas antes por el mar, por lo menos en el último interglacial, alrededor de 125.000 años atrás. Posiblemente estos golfos patagónicos durante su evolución más reciente hayan pasado por uno o varios estadios de grandes lagos salinos o salobres, desarrollados a lo largo de la gran paleoplanicie patagónica durante algún momento del período Tardiglacial, caracterizado por un mejoramiento climático global que siguió a la Última Glaciación.

La apertura del estrecho de Le Maire y la consecuente separación entre la isla de los Estados y la isla Grande de Tierra del Fuego se habría producido aproximadamente unos 15.000 años atrás, cuando el nivel del mar ascendió por encima de los -85 metros.

El último enfriamiento

Entre los 13.000 y los 12.500 años a.p., aproximadamente, un nuevo enfriamiento interrumpió el mejoramiento climático que siguió a la Última Glaciación. Este evento frío, conocido en el hemisferio norte como evento Younger Dryas, tuvo una magnitud menor en comparación con la Última Glaciación y su duración fue de aproximadamente 1500 años. En el transcurso de este episodio frío, los glaciares experimentaron nuevos avances como consecuencia de un descenso global de las temperaturas medias. Se sabe que para esta época, en Europa, las temperaturas de invierno fueron entre 10° y 15° más bajas que las actuales. Las causas iniciales de este brusco enfriamiento no son claras, ya que no hubo un motivo astronómico derivado de los ciclos de Milankovich. Posiblemente, las causas del enfriamiento hayan estado relacionadas con un debilitamiento del sistema de corrientes del océano Atlántico en el hemisferio norte que produjo severas consecuencias en el sistema climático global.

Hacia los 12.000 años a.p., en la Patagonia, el volumen de hielo se había reducido ya a un 14% de su volumen original, ocupando ahora una superficie cercana a los 80.000km². Los grandes mantos de hielo habrían quedado restringidos al sector centro-sur de la Patagonia. Se estima que para ese momento el nivel del mar estaba posicionado a -40/-50 m. Según nuestro modelo paleogeográfico, para entonces la planicie expuesta habría desaparecido casi por completo al este de la Patagonia (figura 2c), quedando remanentes de extensión significativa restringidos principalmente al este de la línea de costa actual de la provincia de Buenos Aires (175km de ancho en el sector de Bahía Blanca y 380km al este del Río de la Plata). La superficie total de la planicie hacia los 11.000 años a.p. era de aproximadamente el 17% de la superficie original (105.000km²). Para el período comprendido entre los 15.000 y 11.000 años a.p. se ha estimado un avance promedio de la paleolínea de costa hacia el continente del orden de los 110km, lo cual equivale a una velocidad promedio de 27m por año, una cifra enorme que demuestra la inestabilidad de los ambientes costeros y litorales de la Patagonia y Tierra del Fuego en ese período.

Hacia los 11.000 años, a lo largo de la costa atlántica de la actual isla Grande de Tierra del Fuego, la línea de costa se ubicaba a unos 15km en promedio al este de su posición actual. Durante este mismo momento, en el sur de la Patagonia, principalmente a lo largo de la costa de la actual provincia de Santa Cruz, la extensión de la planicie no sobrepasaba los 25km de ancho. La separación de la isla Grande de Tierra del Fuego del resto del continente y la formación del actual estrecho de Magallanes habría ocurrido hacia los 10.200 años a.p., cuando el nivel del mar ascendió por encima de los -35m.

Los últimos remanentes de la planicie expuesta habrían perdurado hasta los 9000 años a.p., momento en el cual las costas argentinas adquieren su configuración actual, al igual que los mantos de hielo existentes a lo largo de la cordillera patagónica.

Las evidencias presentes bajo el mar

El ascenso del nivel del mar desde la finalización de la Última Glaciación no habría sido continuo. Al parecer, se habría interrumpido en dos ocasiones. La causa por la cual el nivel del mar pudo haber detenido su ascenso es la ocurrencia de momentos de enfriamientos climáticos globales, durante los cuales el derretimiento de los glaciares se detuvo. Los momentos de estabilización del nivel del mar están evidenciados por la existencia de cuatro pequeños escalones a lo largo de la actual plataforma continental. Estos escalones conocidos con el nombre

de 'terrazas' presentan un acantilado frontal del orden de los 5 a 25m. La profundidad a la que se encuentran estas terrazas excluye la posibilidad de que hayan sido formadas por la acción del oleaje actual. Al parecer, el origen de estos escalones sería el de antiguos acantilados costeros, similares a los que hoy en día observamos a lo largo de gran parte de las costas patagónicas. Estos acantilados se habrían formado cuando el nivel del mar detuvo su ascenso y permitió que la acción del oleaje pudiera erosionar las costas por períodos prolongados y así formar acantilados. Para que este fenómeno se produzca, es necesario un largo intervalo durante el cual el mar no presente variaciones significativas en cuanto a su altura. Nuestro modelo nos ha permitido estimar los momentos en que el nivel del mar se posicionó en cada uno de estos escalones o terrazas y, por lo tanto, los posibles momentos de estabilidad del nivel del mar (figura 4). Así, vemos que el acantilado más profundo (-130/-150m) se formó durante alguna glaciación muy antigua y extensa. La segunda terraza o escalón (-110/-120m) se habría formado durante la Última Glaciación, momento en el cual el mar tuvo un extenso período de estabilidad. La tercera terraza (-85/-95m) se habría generado hacia los 15.000 años a.p. durante un período frío, que interrumpió el mejoramiento climático que siguió a la Última Glaciación. Posiblemente el momento de estabilización del nivel del mar durante el cual se formó el escalón menos profundo (-25/-30m) fue hacia los 11.000-12.000 años a.p., momento en el cual es conocido a nivel global el enfriamiento climático que produjo el reavance de los glaciares o evento Younger Dryas. La presencia de niveles de conchillas marinas sumergidos, cercanos a las terrazas correspondientes a la Última Glaciación y a los 11.000 años, también atestiguan momentos de estabilidad del nivel del mar. Estos cordones actualmente se forman asociados a zonas de rompiente de olas a lo largo de la línea de costa actual.

Otra evidencia de la existencia en el pasado de un nivel del mar más bajo que el actual es el hallazgo en la PCA

de restos óseos de mastodonte, una especie de elefante prehistórico que habitó las Américas durante el período Pleistoceno y se extinguió hace unos 10.000 años. Estos restos fueron encontrados en el fondo marino a una profundidad de 45m y a una distancia de 250km al este de la bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires.

Finalmente, el estudio de diferentes tipos de moluscos encontrados a lo largo de toda la PCA ha permitido reconstruir curvas de variaciones del nivel del mar en el tiempo desde el fin de la Última Glaciación hasta la actualidad para esta región del planeta. Estas curvas se obtuvieron a partir de dataciones de moluscos por el método de carbono 14 (las cuales permiten determinar su antigüedad) y de la información que estos brindan sobre las características del ambiente marino en el que vivieron (profundidad, sustrato sobre el que se desarrollaron, características de la columna de agua, etcétera).

Consideraciones finales

Nuestro modelo de evolución paleogeográfica nos brinda la posibilidad de localizar temporalmente la formación de los principales rasgos costeros del extremo sur de América del Sur. Las diferentes posiciones de la línea de costa para cada momento deben ser consideradas como mínimas y tentativas ya que no se ha tenido en cuenta para la elaboración del modelo la acción erosiva de las corrientes marinas sobre los sedimentos depositados en el fondo marino.

Asimismo, la generación de este modelo de evolución paleogeográfica brinda nueva información para futuras reconstrucciones paleoambientales, paleoclimáticas y paleobiogeográficas, y creemos que será de gran utilidad para comprender las migraciones faunísticas, florísticas y humanas ocurridas a lo largo de la Pampa y la Patagonia durante el período Tardiglacial y el Holoceno temprano. **CH**

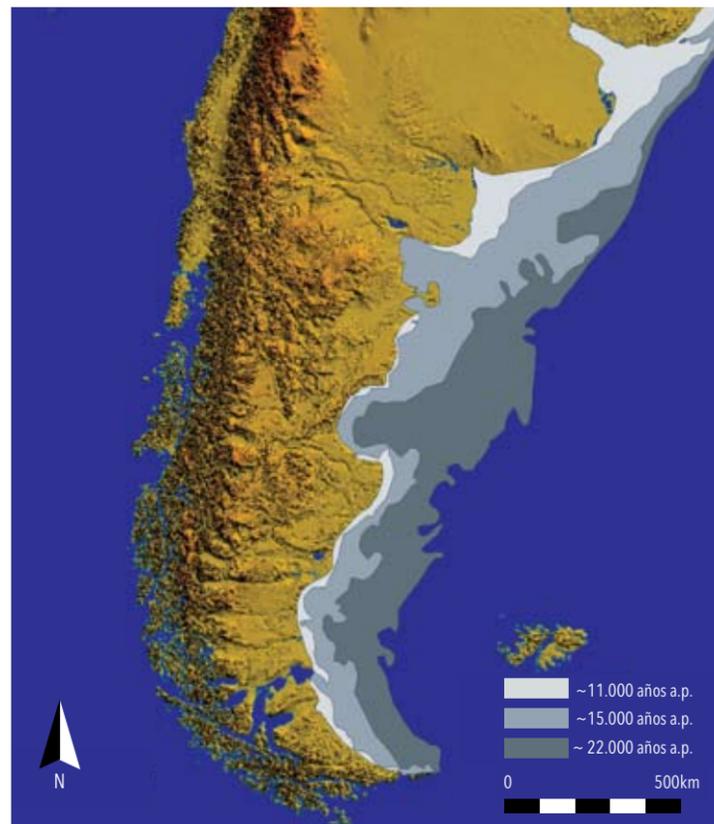


Figura 4. Posición de la línea de costa en los momentos de estabilización aparente del nivel del mar.

LECTURAS SUGERIDAS

CAVALLOTTO JL, VIOLANTE RA & MOLINA-HERNÁNDEZ FJ, 2011, 'Geological aspects and evolution of the Patagonian continental margin', *Biological Journal of the Linnean Society*, 103: 346-362.

PARKER G, PATERLINI CM y VIOLANTE RA, 1997, 'El fondo marino', en Boschi E, ed. *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales*, Mar del Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, 65-87.

PARKER, G., 1998, 'Delimitación del borde exterior de la plataforma continental', *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53 (1): 130-131.

PONCE JF, RABASSA J, CORONATO A & BORROMEI AM, 2011, 'Palaeogeographical evolution of the Atlantic coast of Pampa and Patagonia from the last glacial maximum to the Middle Holocene', *Biological Journal of the Linnean Society*, 103: 363-379.

RABASSA J, 2008, 'Late Cenozoic glaciations of Patagonia and Tierra del Fuego', *Developments in Quaternary Science*, vol. 11, Rabassa J (ed.), *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*, Amsterdam, Elsevier, 151-204.

URIARTE CANTOLLA A, 2003, *Historia del clima de la tierra*, Vitoria-Gasteiz, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 306.