

LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL DEL MAR DURANTE EL CUATERNARIO

ENRIQUE J. SCHNACK (*)

JORGE L. POUSA (**)

FEDERICO I. ISLA (***)

Los cambios del nivel del mar han ejercido una fuerte influencia en la evolución del planeta y en la historia de la humanidad. En una escala de tiempo geológico, las variaciones de los niveles oceánicos han dejado un registro ampliamente distribuido en la forma de depósitos sedimentarios. El descenso del nivel del mar durante la Última Glaciación, que alcanzó unos 120 metros hace 18.000 años, permitió la emergencia del estrecho de Bering y la migración humana desde Eurasia hacia América. Se estima que actualmente reside en áreas costeras un 75% de la población mundial. Investigaciones recientes indican que el nivel medio del mar aumenta entre 1,6 y 1,8 mm/año. El incremento de los gases de invernadero y el calentamiento global resultante han planteado escenarios inquietantes ante una futura aceleración del aumento del nivel del mar, que provocaría impactos significativos en los sistemas costeros y en la población.

Introducción

Toda medida del nivel del mar en un instante cualquiera es el resultado de la combinación de tres procesos básicos: una variación lenta (secular) del nivel medio del mar, la marea astronómica y los efectos meteorológicos.

La **marea astronómica** es consecuencia de la acción simultánea de

las fuerzas gravitatorias de la Luna, el Sol y la Tierra, y de la revolución de los sistemas Tierra-Luna y Tierra-Sol alrededor de sus respectivos centros de masa. Las fuerzas gravitatorias son las más regulares y más exactamente entendidas, y su acción es coherente a escala global. Prueba de ello son las tablas de marea que permanentemente se confeccionan para

numerosos puertos del mundo.

Los **efectos meteorológicos** son debidos a la presión atmosférica y a los vientos que actúan sobre la superficie del mar. Las ondas de tormenta constituyen la manifestación más conspicua de la acción meteorológica sobre el nivel del mar.

Habitualmente el **nivel medio**

del mar se determina a partir de largas series temporales de observaciones horarias. Existen distintas formas de eliminar los cambios de corto plazo y gran amplitud relativa debidos a la marea, las ondas de tormenta u otras alteraciones episódicas (e.g. tsunamis, conocidos también como maremotos, comúnmente producidos por terremotos o deslizamientos submarinos).

Los valores medios mensuales y anuales del nivel del mar provenientes de una red global de estaciones mareográficas son reunidos y publicados por el Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) en Inglaterra. Si bien Amsterdam (Holanda) tiene el registro mareográfico más largo del mundo, los datos más antiguos que satisfacen criterios adicionales de selección del PSMSL provienen de Brest (Francia) y comienzan en 1807.

En esta contribución se tratarán básicamente aquellos factores y efectos que operan en la **escala secular**.

La escala geológica

En un sentido geológico, las variaciones del nivel del mar ocurren en una escala temporal de miles y millones de años y resultan de mecanismos que afectan el nivel de la superficie marina a escala planetaria. En los últimos 100 millones de años la posición relativa de la interfase continental/oceánica ha sufrido cambios significativos. La elevación general del nivel del mar registrada en el Cretácico inferior fue precedida por un prolongado lapso de niveles generalmente bajos que se extendió desde el Paleozoico superior (hace unos 320 millones de años) hasta el Jurásico superior (hace unos 150 millones de años). Estas variaciones han sido atribuidas a cambios en el vo-

lumen de las cuencas oceánicas como consecuencia de la orogénesis (formación de montañas), la depositación de sedimentos en el fondo oceánico y las variaciones en el volumen de las elevaciones submarinas de origen volcánico (dorsales meso-oceánicas) (Pitman III, 1978).

Los cambios del nivel del mar se manifiestan en desplazamientos horizontales de la línea de costa que implican avances (transgresiones) y retrocesos (regresiones).

En el Cretácico superior el nivel del mar alcanzó 250 m por encima del actual. A comienzos de la era Cenozoica (últimos 65 millones de años), la altura relativa se ubicaba en + 200 m (Fig. 1), con una tendencia general descendente hasta la actualidad, aunque con fluctuaciones que se hicieron muy marcadas a partir del Mioceno superior (hace 10 millones de años), como consecuencia del establecimiento de condiciones glaciales que continuaron durante el período Cuaternario (últimos 2,6 millones de años)¹.

El nivel del mar puede variar a través del cambio vertical de su superficie o del continente adyacente o de ambos. Donde se produce subsidencia (hundimiento) con un nivel del mar estable, se manifiesta un aumento local del nivel del mar. Contrariamente, cuando el continente sufre emergencia, hay un descenso aparente del nivel del mar. Entre estos extremos hay una variedad de posibilidades de movimientos verticales relativos. Estos se conocen como "cambios relativos del nivel del mar", y se manifiestan local o regionalmente.

Las fluctuaciones en los niveles de las aguas tuvieron importantes efectos en la evolución de las culturas a través de la historia. Muchas ciudades costeras se expandieron o colapsaron según las variaciones relativas del nivel del mar y estuvieron expuestas a la hostilidad de los océanos. Las poblaciones costeras han tenido que adaptarse en toda época a los distintos tipos de impactos causados por variaciones del nivel relativo del mar. Mientras que los tsunamis y las ondas de tormenta destructivas afectaron muchas culturas, entre ellas la Minoica (3000-1400 a.C.), y otras más modernas (Holanda, Bangladesh), otras sociedades han sido afectadas por cambios lentos pero inexorables en el nivel del mar. Viejas estructuras pertenecientes al Imperio Romano, construidas sobre las costas de lo que es ahora Israel, se hallan sumergidas en Cesarea, mientras que sitios adyacentes parecen indicar un descenso relativo del nivel del mar, lo que sugiere un considerable movimiento vertical diferencial a lo largo de la costa, causado por actividad tectónica. En la costa italiana, cerca de Nápoles, el templo de Serapis estuvo alguna vez sumergido por un largo tiempo, como lo indican perforaciones de moluscos en sus columnas. Sin embargo, el templo se encuentra actualmente por encima del nivel del mar, tal como lo estaba cuando fue construido, lo cual refleja una elevación y descenso cíclicos en el nivel del terreno relativo al nivel del Mediterráneo. Por otra parte, los escandinavos han experimentado una continua emergencia en gran parte de sus costas, debido al reajuste isostático causado por el derretimiento de las masas glaciales allí emplazadas durante la Última Glaciación. Esta reactivación desplazó antiguos pueblos pesqueros y pequeños puertos a sitios alejados de la costa. En Guangzhou, China, un viejo faro permanece hoy a más de 2 km tierra adentro debido a descensos del nivel del mar (Emery & Aubrey, 1991).

¹ Durante un largo tiempo el período Cuaternario fue definido como la "Edad de Hielo". Su duración se estimó en un millón de años y se diferenció del Terciario por las glaciaciones generalizadas. Sin embargo, hoy se sabe que las condiciones glaciales se establecieron en el Terciario superior en Groenlandia y Alaska, y se conoce el registro glacial de la Antártida desde el Terciario medio, hace unos 38 millones de años. El comienzo del Cuaternario se ubica en 1,64-1,81 ó 2,6 millones de años antes del presente, según distintas evidencias.

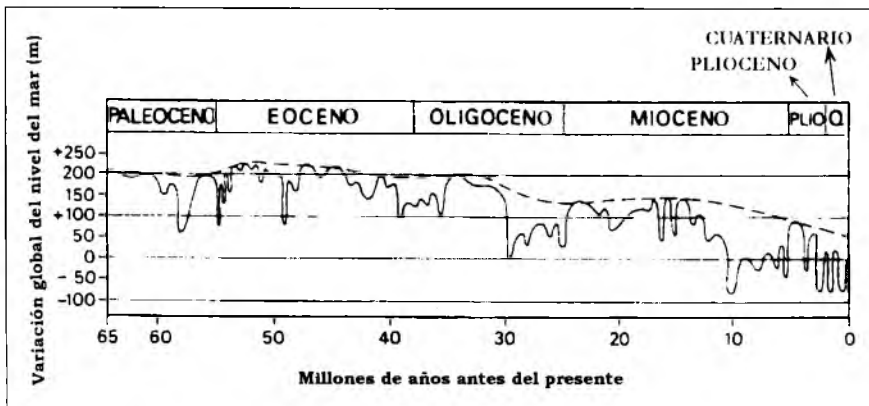


Fig. 1. Curva de variación global del nivel del mar en los últimos 65 millones de años (según el grupo Exxon). Trazo discontinuo: tendencia general; trazo continuo: fluctuaciones de corto plazo (en: Summerfield, 1999).

Las variaciones “globales” del nivel del mar, en cambio, tienen efectos en todo el planeta. Ellas resultan de fluctuaciones en el volumen de agua de las cuencas oceánicas y son reconocidas como “eustáticas”. Estos cambios, sin embargo, no son

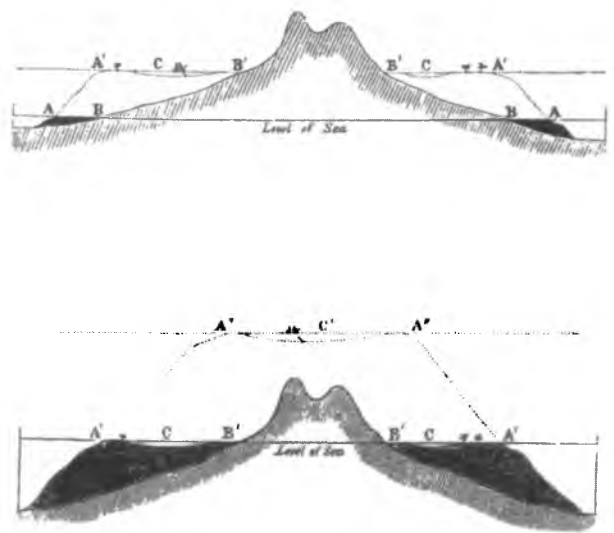
uniformes en el planeta debido a influencias gravitatorias que causan deformaciones en la superficie del mar (configuración del geoide). Las fluctuaciones que responden a variaciones climáticas resultan en importantes variacio-

nes del volumen de las aguas como consecuencia de las alternancias glaciales-interglaciales, cuyas causas están relacionadas principalmente con variables astronómicas, entre las que se cuentan los ciclos de Milankovitch (cambios en la excentricidad de la órbita terrestre), con una frecuencia de aproximadamente 100.000 años. Los cambios del nivel del mar controlados por la expansión y contracción de los hielos (“glacio-eustáticos”) dominan la historia del Cuaternario en las áreas estables, donde las distintas posiciones de la superficie del mar pueden reconstruirse cronológicamente. En áreas tectónicamente inestables se hace más difícil reconstruir la historia de tales cambios, a menos que se conozcan las velocidades de movimiento vertical de las zonas terrestres.

Las islas oceánicas, la mayoría de las cuales se encuentra en el Pacífico, aportan interesantes indicadores para el estudio de las variaciones relativas del nivel del mar. El gran naturalista Charles Darwin observó hacia mediados del siglo XIX el desarrollo de arrecifes coralinos en la periferia de las islas volcánicas. En su trabajo de 1874 (*Estructura y Distribución de Arrecifes Coralinos*), distinguió tres tipos de formaciones arrecifales que interpretó como etapas evolutivas debidas a cambios relativos del nivel del mar, causados por el hundimiento de los volcanes. La secuencia se inicia con el crecimiento de un volcán en el fondo oceánico y su emergencia por sobre el nivel del mar. Al cesar la actividad volcánica los corales crecen en aguas someras en los bordes del volcán para construir un “arrecife de borde”. Cuando el volcán comienza a hundirse, las comunidades coralinas crecen para construir el arrecife manteniendo su parte superior cerca del nivel del mar. Resulta así la formación de un “arrecife de barrera”, separado del volcán en subsidencia por una laguna. Finalmente el volcán se hunde completamente bajo la superficie del mar, dando lugar a la formación de un “atolón”, que continuará creciendo al ritmo de la subsidencia. La teoría de Darwin contiene el concepto del cambio relativo del nivel del mar, aunque se sustenta en la subsidencia vol-

cánica y no en el aporte o restricción de aguas de procedencia glacial. Más de un siglo después de sus observaciones, la tectónica de placas brindó evidencias sobre los procesos de subsidencia volcánica.

Los diagramas son del libro de Darwin (en Summerfield, 1999).



Evidencias en el Cuaternario

Las evidencias sobre los cambios del nivel del mar durante el Cuaternario se encuentran en distintas partes del planeta. Ellas incluyen rasgos morfológicos antiguos que se encuentran sobre el nivel del mar actual: plataformas rocosas ("restingas") elevadas, playas y terrazas marinas elevadas (Fig. 2), depósitos estuáricos, deltas y arrecifes de coral. También pueden encontrarse sumergidas: valles fluviales, playas y arrecifes, entre otras. Para obtener un conocimiento completo de los cambios del nivel del mar es necesario combinar los datos geomórficos con evidencias del registro estratigráfico. Las secuencias sedimentarias litorales contienen fósiles que aportan datos adicionales para la reconstrucción paleoambiental y permiten, en muchos casos, su datación relativa o absoluta.

En general, puede disponerse de un sinnúmero de elementos sobre los que se puede intentar la determinación de la edad numérica para un depósito determinado. Sin embargo, es importante señalar que debe tratarse de buenos "indicadores" del nivel del mar, hallados en posición de vida (*e.g.* moluscos) o en yacencia primaria (*e.g.* un horizonte orgánico). Muchas dataciones radiocarbónicas (C14) se han

efectuado sobre materiales retrabajados, a veces con poblaciones de edades divergentes en un mismo nivel estratigráfico, en especial en playas fósiles, por lo que los datos obtenidos no reflejan la edad del depósito ni una posición relativa al nivel del mar. Asimismo, las altitudes a las que se encuentran las superficies de las terrazas o de los cordones de playa no representan posiciones referibles al nivel medio del mar, sino que son frecuentemente depósitos de tormenta. La fuente de error se magnifica si se consideran las variaciones en las amplitudes de marea de una región a otra. Por ello, solamente la calidad de la observación y del muestreo pueden asegurar una correcta interpretación de los análisis más sofisticados que proveen las tecnologías vigentes.

En la superficie terrestre se encuentra sólo una pequeña parte de las evidencias de los numerosos ascensos y descensos del nivel del mar, debido a que los procesos de erosión y sedimentación han producido mezcla de los depósitos o su eliminación parcial o total. En las zonas actualmente sumergidas, los avances y retrocesos del mar, en especial en las plataformas de márgenes pasivos, han producido mezclas o eliminación

de remanentes de antiguas líneas de costa.

La estratigrafía isotópica del oxígeno en sedimentos marinos profundos² ha contribuido significativamente a la determinación de los ciclos cálidos/fríos, de alcance global, que se definen como "estadios isotópicos" (IS). Durante los últimos 700.000 años ocurrieron 10 ciclos glaciales/interglaciales (Fig. 3), mientras que para todo el período Cuaternario se produjeron unos 50 ciclos glaciales/interglaciales (Shackleton *et al.*, 1990).

Durante el Último Interglacial el nivel del mar alcanzó un máximo global de + 6 m sobre el nivel medio actual (IS 5e = *ca.* 125.000 años antes del presente) en distintas regiones (Barbados, Bahamas, Molokai en Hawaii, costa oriental de Sudamérica, entre otras).

Hacia fines de la Última Glaciación (IS 2 = *ca.* 18.000 años antes del presente) el nivel del mar glo-

² La estratigrafía isotópica del oxígeno consiste en la determinación de los cambios en la composición de los isótopos del oxígeno (O^{18}/O^{16}) contenido en microfósiles marinos calcáreos (foraminíferos) mediante el estudio de testigos verticales de sedimentos profundos, en los que se puede obtener un registro continuo de la sedimentación para intervalos temporales prolongados. Estas determinaciones permiten identificar señales de intervalos climáticos contrastantes (ver Lowe & Walker, 1997).



Fig. 2. Vista aérea oblicua de terrazas coralinas elevadas que reflejan cambios relativos del nivel del mar durante los últimos 120.000 años, Houn Peninsula, Papua Nueva Guinea (foto de J. Chappell, en: Summerfield, 1999, Cap. 17).

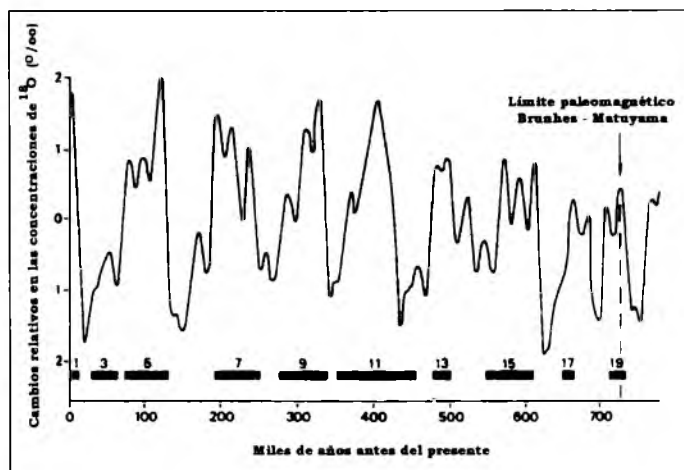


Fig. 3. Registro de las variaciones en las concentraciones de δO^{18} en sedimentos marinos profundos durante los últimos 700.000 años y su comparación con la cronología de niveles elevados del mar (barras horizontales). Basado en varios autores, en: Summerfield (1999).

bal descendió entre 120 y 150 m, y grandes extensiones de las plataformas continentales, excepto la antártica, quedaron expuestas. Las condiciones del planeta cambiaron para entonces de un máximo glacial a interglacial y de niveles del mar bajos a elevados, hasta la ubicación aproximada de las costas actuales. La velocidad del ascenso de las aguas varió durante esta fase postglacial. Durante el período de 18.000 a 7000 años se produjo la mayor contribución de la fusión de los hielos. Por esta razón, este intervalo temporal ha sido reconocido como el "último hemiclo glacial". En general, existe consenso sobre la culminación del aumento global del nivel del mar hace unos 7000 a 6000 años (Jelgersma & Tooley, 1995).

Durante los últimos 6000 años el registro de los niveles marinos estuvo dominado por procesos regionales y locales (movimientos tectónicos, incluyendo subsidencia o levantamiento de las áreas terrestres,

desplazamientos a lo largo de márgenes pasivos, erosión y sedimentación asociados a cambios climáticos y actividad antropogénica), por lo que las curvas que representan la evolución del nivel del mar en el tiempo son a veces divergentes y variables (Fig. 4). Esta variabilidad fue advertida con posterioridad al trabajo fundacional de Fairbridge en 1961 (en Jelgersma & Tooley, 1995), quien realizó una síntesis global para los últimos 7000 años, sobre la base de datos entonces existentes de distintas regiones. La evidencia de que las fluctuaciones del nivel del mar no se expresaban de manera uniforme sino, por el contrario, con fuertes componentes locales y regionales, motivó una serie de iniciativas y esfuerzos de investigadores de la comunidad internacional, en particular desde hace tres décadas, en gran medida a través de distintos proyectos del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP)

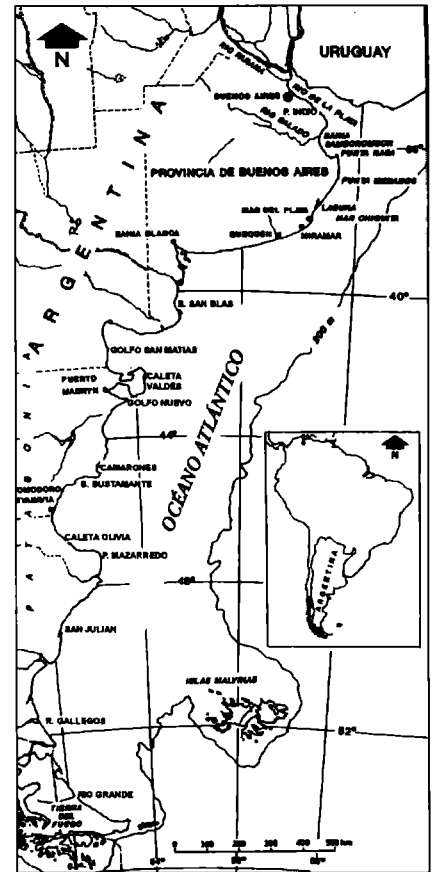


Fig. 5. Costa argentina y las principales localidades citadas.

auspiciado por la UNESCO y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, y de la Unión Internacional para la Investigación del Cuaternario (INQUA), aún vigentes.

Costa y plataforma continental argentina

En la Argentina (Fig. 5), las variaciones del nivel del mar han quedado registradas de diferente modo. En la costa bonaerense su registro ha quedado expuesto, sepultado o interdigitado con depósitos de origen continental. En cambio, en la tectónicamente ascendente Patagonia, las variaciones del nivel del mar han quedado preservadas como terrazas marinas.

En la región bonaerense, Ameghino (1889) definió hace más de cien años el piso "Belgranense", intercalado en depósitos "pampeanos" (loess o limos loessoides), que se puede asignar al Último Interglacial (IS 5e). Ameghino también observó en la localidad de Ensenada una capa de origen marino

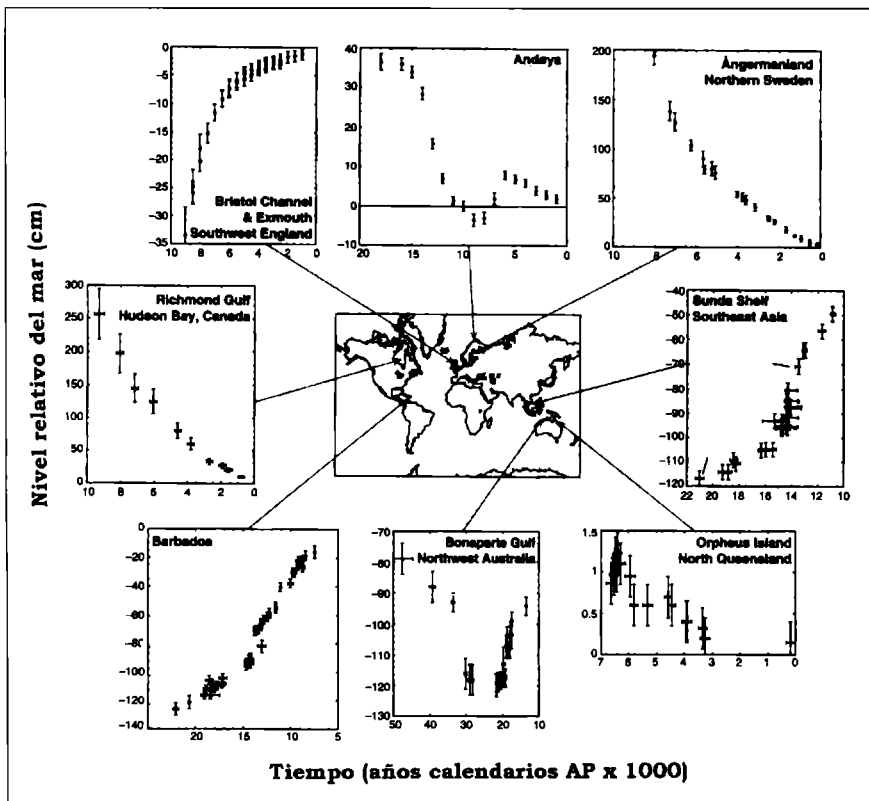


Fig. 4. Variabilidad del nivel del mar desde el Último Máximo Glacial en regiones tectónicamente estables o áreas con conocidos movimientos verticales removidos de las señales observadas. Las escalas temporales (años calendarios) y altimétricas no son homogéneas (Lambeck & Chappell, 2001).

intercalada en los sedimentos pampeanos más antiguos (Ensenadense), “a unos 7 m por debajo del nivel del agua del río”. Este nivel marino, cuya presencia se constató también en perforaciones y excavaciones en la ciudad de Buenos Aires, correspondería a un nivel del mar más antiguo que el Belgranense, probablemente correlacionable con las terrazas marinas más antiguas del Pleistoceno medio-superior patagónico (IS 7?-9?). Frenquelli (1950) reconoció también un nivel elevado del Holoceno en los depósitos denominados Querandinense (arcillas y limos transgresivos de estuarios y lagunas costeras), y Platense (cordones de playa regresivos) que, en conjunto, corresponden al óptimo climático postglacial, cuando el nivel del mar alcanzó unos 3,0-3,5 m sobre el nivel medio actual, hace aproximadamente 7000-6000 años. Los cordones “platenses” y “belgranenses” han sido utilizados para la extracción de calcáreos; en muchos casos las canteras permiten observar buenas secciones de estos depósitos (Fig. 6). Otras exposiciones se encuentran aflorando en las márgenes de ríos, arroyos y canales de la llanura bonaerense o como cordones de playa con manifestación superficial, y en áreas deprimidas de la cuenca del Salado (Fig. 7), laguna Mar Chiquita y desde Bahía Blanca hasta Bahía San Blas. En Centinela del Mar, situada entre Miramar y Quequén, puede observarse una duna costera fósil asignable al Belgranense (Fig. 8).

El geólogo italiano Egidio Feruglio (1950) discriminó seis niveles de terrazas marinas escalonadas, desde la región austral bonaerense hasta los tramos más australes de la costa patagónica. Los niveles I a III correspondían al Terciario (Plioceno superior), las terrazas IV y V al Pleistoceno y la VI al Holoceno o reciente. Las descripciones de Feruglio incluyeron un detallado análisis de la fauna de moluscos de los niveles marinos, y consideraciones sobre el ascenso

de la región sugerido por la disposición escalonada de las distintas terrazas. La más alta de las atribuidas al Pleistoceno (terracea IV) se encuentra a unos 40 m de altitud sobre el nivel actual del mar en la zona de Bahía Bustamante y Camarones. Estas terrazas fueron estudiadas más recientemente en áreas con diversas condiciones geotectónicas (principalmente Península Valdés, Camarones, Bahía Bustamante, Caleta Olivia, Mazarredo y San Julián). En ellas se realizaron investigaciones geomorfológicas y



Fig. 6. Playa elevada del Holoceno (IS 1 = última ingresión marina), con abundante contenido en moluscos, en una cantera abandonada en las cercanías de Punta Indio, a unos 3 km de la costa. La altitud del terreno es de unos 5 m sobre el nivel medio del mar. Cada segmento de la escala = 50 cm.



Fig. 7. Sedimentos estuáricos (IS 1 = última ingresión marina) en la zona costera del río Salado. Puede observarse un ejemplar del molusco bivalvo *Tagelus plebeius* en posición de vida.

estratigráficas, y se obtuvieron dataciones en moluscos mediante distintos métodos (Rutter *et al.*, 1989; Schellmann *et al.*, 2000)³. Durante el Cuaternario más reciente



Fig. 8. Parte superior: duna costera fósil del Último Interglacial (subestadio isotópico 5e) en Centinela del Mar. La base del depósito se encuentra a unos 12-14 m sobre el nivel del mar actual y se apoya sobre sedimentos continentales “pampeanos”, probablemente depositados durante la Penúltima Glaciación.



Fig. 9. Playa elevada del Pleistoceno superior (IS 5e = Último Interglacial) en Caleta Valdés (Chubut). El nivel superficial de la terraza se encuentra a una altitud de aproximadamente 15-18 metros sobre el actual nivel medio del mar.

³ Los métodos radiocarbónicos (C¹⁴) han sido los más frecuentemente empleados, en particular para los últimos 10.000 años. En la Argentina se han fechado cientos de muestras de los depósitos litorales antiguos. Los materiales más utilizados son los moluscos, aunque también lo han sido huesos y horizontes orgánicos (suelos o turbas). También se han empleado otros métodos (racemización de amino ácidos, resonancia paramagnética del electrón -ESR-, entre otros), que tienen un rango temporal mucho mayor. Información más completa sobre los distintos métodos puede hallarse en Lowe & Walter (1997) o en la bibliografía específica citada en el texto.



Fig. 10. Playa elevada del Holoceno (IS 1) en Estancia San Luis, al sur de Río Grande, Tierra del Fuego.

(últimos 350.000 años), se formaron depósitos litorales holocenos (IS 1 = últimos 6000 años) con altitudes variables, correlacionables con el "Platense" bonaerense, hasta tres sistemas de cordones en el Último Interglacial (IS 5e = 125.000 años antes del presente), correlacionables con el "Belgranense" (Fig. 9) y hasta tres sistemas similares durante el Penúltimo Interglacial (IS 7 = 240.000 años antes del presente), como resultado de cambios eustáticos del nivel del mar. Depósitos más elevados y más antiguos ahora asignables al Pleistoceno (terrazza III de Feruglio; IS 9) están situados hacia el interior. En general, la elevación de las terrazas marinas crece con la edad, indicando una

tendencia ascendente moderada de la costa patagónica desde el Pleistoceno medio. En la costa del Pacífico sudamericano (e.g. Chile y Perú) las terrazas se encuentran mucho más elevadas, sugiriendo una actividad tectónica más intensa.

En el sector nor-oriental de Tierra del Fuego, que no fue ocupado por la Última Glaciación, se han reconocido niveles elevados del Pleistoceno superior y del Holoceno (Fig. 10). En la zona del Canal Beagle se han reconocido y fechado niveles de playa holocenos (< 10.000 años A.P.), que suelen hallarse escalonados entre alturas que van desde 10 m hasta el nivel actual del mar, indicando pulsos ascendentes asociados a una fuerte actividad tectónica (Bujalesky, 2000). En esta área, que fue cubierta por la Última Glaciación, no se encuentran depósitos marinos más antiguos, probablemente erosionados por la acción glacial.

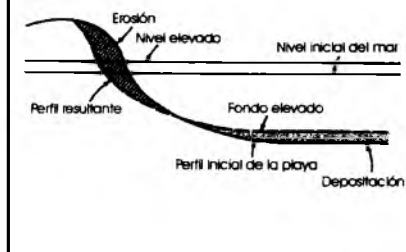
En la plataforma continental argentina se encuentran evidencias de antiguas líneas de costa que fueron identificadas y datadas radiocarbónicamente por Fray & Ewing (1963). En este trabajo pionero se sugiere una línea de costa entre

100 y 120 m por debajo del nivel actual hacia fines de la Última Glaciación, hace unos 18.000 años. Esto significa que una considerable porción de la plataforma continental argentina, que alcanzó en algunas latitudes hasta 300 km de extensión, estuvo expuesta a la acción subaérea durante los hemicíclios glaciales, cuando en respuesta al cambio global se produjeron cambios ambientales notables en los ecosis-

temas terrestres (Fig. 11). Durante el ascenso postglacial del nivel del mar, ca. 14.000-11.000 años antes del presente, se habría producido

El aumento del nivel del mar y la erosión de las playas

P. Bruun desarrolló en 1962 un modelo conceptual y ampliamente difundido para el ajuste del perfil de la playa al aumento del nivel del mar. Bruun sostiene que a medida que el nivel del mar se eleva, el material de la playa superior será erosionado y depositado en el fondo adyacente, hasta una profundidad en la que cesa el transporte de sedimentos (profundidad de clausura). El efecto se manifiesta en un retroceso del perfil de la playa y una elevación del fondo, que se produce al ritmo del ascenso del nivel del mar de modo tal que la profundidad del agua se mantiene constante.



la ocupación del Golfo Nuevo –y presumiblemente de los otros golfos norpatagónicos– que anteriormente fueron depresiones continentales similares a otras conocidas en la región (Mouzo *et al.*, 1978).

Cambios recientes y futuros.

Los registros mareográficos

Existe un amplio consenso acerca de que el nivel del mar ha estado ascendiendo durante el siglo XX, aunque el ritmo al cual se ha

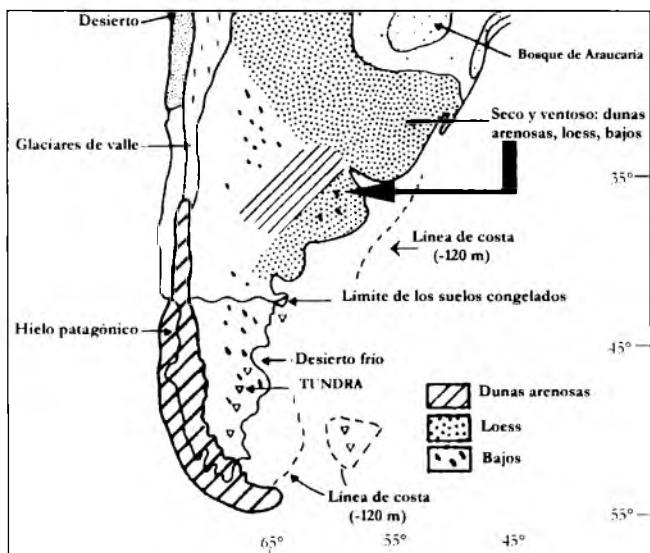


Fig. 11. Distribución de varios tipos de ambientes superficiales en el extremo austral de América del Sur durante el máximo de la Última Glaciación (ca. 18.000 años). En la vertiente atlántica se destacan ambientes de clima árido y la posición de la línea de costa, aproximadamente a -120 metros con respecto al nivel del mar actual (modificado de Clapperton, 1993).

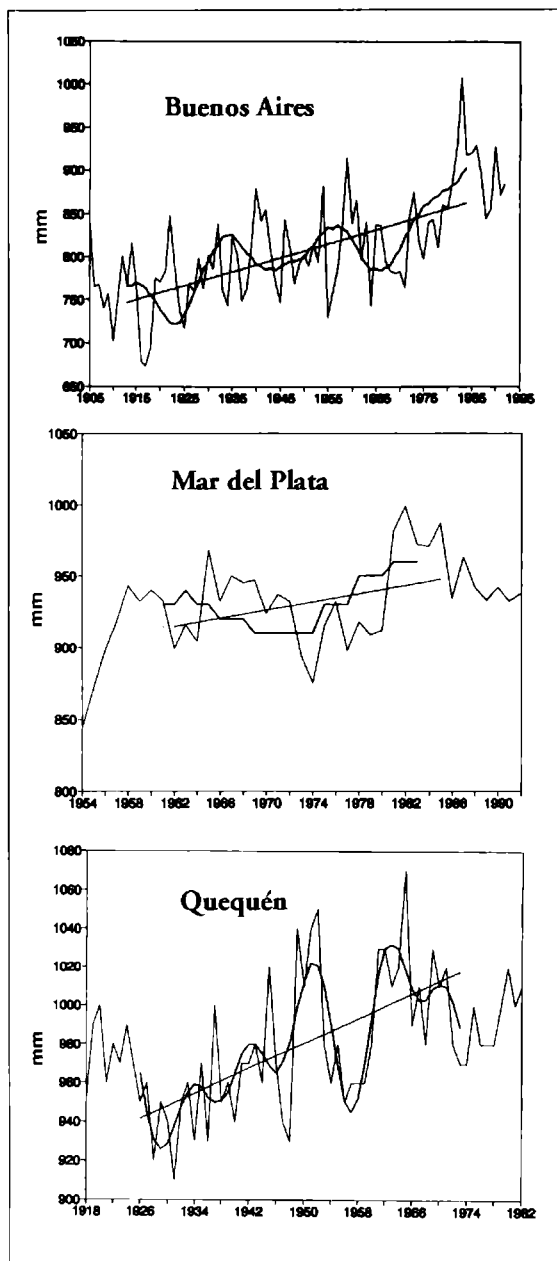


Fig. 12. Variación del nivel medio del mar según datos de las estaciones Buenos Aires, Mar del Plata y Quequén. Regresión lineal calculada a partir de los datos filtrados (línea gruesa) de los valores medios anuales (Lanfredi *et al.*, 1998).

Plata, con un registro de 23 años; y $1,6 \pm 0,2$ mm/año para Quequén, con un registro de 48 años (Fig. 12, Lanfredi *et al.*, 1998). Estos valores concuerdan con las tendencias mundiales señaladas.

Escenarios futuros

Warrick & Oerlemans (1990) estimaron un potencial de incremento del nivel del mar de 72-73 metros (por fusión total de los

producido este ascenso es aún materia de discusión.

A partir del análisis de los registros provenientes de estaciones mareográficas distribuidas en distintas localidades del planeta, algunas con más de cien años de operación, se han determinado valores de incremento del nivel del mar de entre 10-20 cm/siglo. Varios autores analizaron numerosos registros mareográficos eliminando las señales tectónicas, de modo de derivar valores "absolutos". Gornitz & Lebedeff (1987) determinaron un incremento global de $1,2 \pm 0,3$ mm/año; Douglas (1991) calculó un aumento de $1,8 \pm 0,1$ mm/año. Este último valor aparece como el más aceptado.

El análisis estadístico de las series temporales del nivel medio del mar a partir de mareógrafos representativos de la costa argentina emplazados en áreas relativamente estables muestra un incremento de $1,6 \pm 0,1$ mm/año para Buenos Aires, con un registro de 70 años; $1,4 \pm 0,5$ mm/año para Mar del

hielos), de los cuales la Antártida contribuiría con 65 m, Groenlandia 7 m, y los glaciares de montaña más los pequeños casquetes de hielo con una ínfima contribución.

El informe preparado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) indica que la temperatura media sobre la superficie terrestre, promediada globalmente, ha aumentado en $0,6^\circ\text{C}$ (con un error de $0,2^\circ\text{C}$) durante el siglo XX. Las proyecciones sugieren que la temperatura en superficie aumentará entre $1,4^\circ\text{C}$ y $5,8^\circ\text{C}$ durante el siglo XXI, y el aumento del nivel medio del mar, también promediado globalmente, se hallará entre 0,09 y 0,88 m para el mismo período.

Impactos de una posible aceleración del incremento del nivel del mar

El aumento de la temperatura global y la aceleración del incremento del nivel del mar sobre la base de escenarios planteados a nivel mundial provocaría impactos significativos en el desarrollo de las áreas costeras, donde habita un 75% de la población mundial. Entre ellos:

- Erosión acelerada de las playas.
- Inundación permanente de zonas muy bajas y su eventual desaparición (*e.g.* Bangladesh).
- Destrucción y desaparición de pantanos costeros por impedimento de migración hacia el interior debido a las obras humanas.
- Alteraciones en diversos ecosistemas tropicales, como los arrecifes coralinos y bosques de manglares.
- Problemas de intrusión salina en zonas costeras.
- Aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales (*e.g.* huracanes, ciclones) y extra-tropicales (*e.g.* sudestadas).
- Aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos como ENSO (El Niño y la Oscilación Austral), que tiene significativos impactos globales.

Bibliografía citada

- Ameghino, F.**, 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas, Acad. Nacional de Ciencias de Córdoba*, t. VI, 1-1027.
- Bujalesky, G.**, 2000. *Quaternary Coastal Environments of Tierra del Fuego* (Argentina). Field Trip Guidebook, November 4-7, 2000. IGCP-437, IGU, INQUA, 27 pp.
- Clapperton, C.**, 1993. *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier, 779 pp.
- Douglas, B.C.**, 1991. Global sea level rise. *Journal of Geophysical Research*, 96 (C4): 6981-6992.
- Emery, K.O. & Aubrey, D.G.**, 1991. *Sea Levels, Land Levels, and Tide Gauges*. Springer-Verlag New York, Inc., 237 pp.
- Feruglio, E.** 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Tomo III. *Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales*. Buenos Aires. 432 pp.
- Fray, C. & Ewing, M.**, 1963. Wisconsin sea level as indicated in Argentine continental shelf sediments. *Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia* 115, 113-126.
- Frenguelli, J.**, 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II N° 33, La Plata, 72 pp.
- Gornitz, V. & Lebedeff, S.**, 1987. Global sea-level changes during the past century. *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution*. Tulsa: SEPM Sp. Publication 41: 3-16.
- IPCC**, 2001. Vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático. Resumen, Grupo de Trabajo II, Ginebra, Suiza, 12 pp.
- Jelgersma, S. & Tooley, M.J.**, 1995. Sea-level changes during the recent geological past. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 17: *Holocene Cycles: Climate, Sea Levels, and Sedimentation*, 123-139.
- Lambeck, K. & Chappell, J.**, 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science* 292: 679-686.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L. & D'Onofrio, E.E.** 1998. Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research*, 14(1): 47-60.
- Lowe, J.J. & Walker, M.J.C.**, 1997. *Reconstructing Quaternary Environments*. Prentice Hall, 446 pp.
- Mouzo, F.H., Garza, M.L., Izquierdo, J.F. & Zibecchi, R.**, 1978. Rasgos de la geología submarina del Golfo Nuevo (Chubut). *Acta Oceanographica Argentina* 2 (1), 69-89.
- Pitman, W.C. III**, 1978. Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins. *Geological Soc. of America Bulletin* 89, 1389-1403.
- Rutter, N., Schnack, E. J., Fasano, J. L., Isla, F. I., Del Río, L. y Radtke, U.**, 1989. Correlation and dating of Quaternary littoral zones along the Patagonian coast, Argentina. *Quaternary Science Reviews*, 8, 213-234.
- Schellmann, G., Wenzens, G., Radtke, U., Trombotto, D., M. Zárate & E. J. Schnack**, 2000. Landscape evolution of southern Patagonia. In: H. Miller & F. Hervé (Coordinators), *Zeitschrift für Angewandte Geologie. Geoscientific German Cooperation with Latin America*. SH 1 2000: 63-68.
- Shackleton, N., Berger, A. & Peltier, W.R.**, 1990. An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 81, 251-261.
- Summerfield, M.A.**, 1999. *Global Geomorphology*. Longman, 537 pp.
- Warrick, R.A. & Oerlemans, J.**, 1990. Sea level rise. In: Houghton, J.T.; Jenkins, G.J. & Ephraums, J.J. (eds.), *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press: 257-281.

Nota aclaratoria y agradecimientos

En esta contribución se han considerado aspectos fundamentales relativos al tema, que incluyen referencias a algunos autores clásicos y a contribuciones modernas de vigencia internacional. Se ha restringido expresamente el uso de denominaciones formales de tipo litoestratigráfico, bioestratigráfico o cronoestratigráfico, y de terminología específica, con el fin de facilitar la comprensión del texto, de acuerdo con la línea editorial de esta revista. En consecuencia, se citan muy pocos de los numerosos autores que han trabajado sobre el Cuaternario marino de la Argentina. Los autores agradecen a Héctor L. Fasano y Alberto Ortale la lectura crítica del manuscrito y las oportunas sugerencias aportadas.

* *Laboratorio de Oceanografía Costera y Cátedra de Geología del Cuaternario, FCNyM; investigador de la CIC. eschnack@netverk.com.ar*

** *Laboratorio de Oceanografía Costera y Cátedra de Oceanografía Física, FCNyM; investigador del CONICET. jjp@museo.fcnyu.unlp.edu.ar*

*** *Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, FCEyN, Univ. Nac. de Mar del Plata; investigador del CONICET. fisla@mdp.edu.ar*