# CIENCIA HOY

Volumen temático 1

2014

# CIENCIAS del MAR



Foto Héctor Elías Monsalve

Presidencia de la Nación

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

PAMPA AZUL

EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO AL SERVICIO DE LA SOBERANÍA NACIONAL



# Ciencias del mar

CIENCIAHOY

Volumen temático

Presidencia de la Nación
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
PAMPA AZUL
EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO AL SERVICIO DE LA SOBERANÍA NACIONAL

CIENCIA HOY

# Ciencias del mar

Volumen temático 1

2014

Publicado por: **ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY**

**Editor del volumen temático Ciencias del Mar**
**Pablo Enrique Penchaszadeh**
**Investigador superior del Conicet**

Reservados todos los derechos. Ninguna parte del volumen puede reproducirse, por ningún método, sin autorización escrita de los editores.

**Sede:** Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A
(C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4961-1824 y 4962-1330
Correo electrónico: contacto@cienciahoy.org.ar

*http://www.cienciahoy.org.ar*

® Asociación Civil Ciencia Hoy

*La publicación de este volumen es un esfuerzo conjunto de la Asociación Civil CIENCIA HOY y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.*

**Diseño y realización editorial**
Estudio Massolo
Callao 132, E.P. (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4372-0117
Correo electrónico:
estudiomassolo@gmail.com.

**Corrección editorial**
Mónica Urrestarazu

Ciencias del mar : 1988-2014 / Pablo Penchaszadeh ... [et.al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ciencia Hoy, 2014.
256 p. : il. ; 21x28 cm.

ISBN 978-987-45584-0-4

1. Biología Marina. 2. Protección de la Fauna Marina. 3. Vida Marina. I. Penchaszadeh, Pablo
CDD 578.77

Fecha de catalogación: 27/08/2014

Las fotografías de las páginas 116, 134, 213, 218, 220, 221, 223, 235, 236, tapa y contratapa fueron tomadas por Héctor Elías Monsalve y reproducidas con la expresa autorización del autor. Publicadas en Monsalve HE y Penchaszadeh PE, *Patagonia Submarina*, Larivière, Buenos Aires, 2008.

ISBN: 978-987-45584-0-4
Hecho el depósito que marca la ley 11723

## ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: **(a)** divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; **(b)** promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; **(c)** estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; **(d)** editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; **(e)** promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; **(f)** colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

## COMISIÓN DIRECTIVA

Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

## COMITÉ EDITORIAL de la revista CIENCIA HOY

Federico Coluccio Leskow, Omar Coso, Alejandro Curino, Cristina Damborenea, Ingrid de Jong, María Luz Endere, Alejandro Gangui, Aníbal Gattone, Pablo Leal, José X Martini, Paulina E Nabel, Pablo Enrique Penchaszadeh, María Semmartin, Susana Villavicencio

**Secretaria del comité editorial:** Paula Blanco

**Administración:** Adelina Blanco

# Presentación

En sus veinticinco años de existencia, Ciencia Hoy publicó artículos de divulgación escritos por unos 1400 científicos. Ahora ha resuelto organizar ese contundente capital por grandes áreas del conocimiento y entregarlo al lector en volúmenes temáticos, de los cuales este es el primero en aparecer, dedicado a las ciencias del mar.
Buscando un equilibrio de contenidos y teniendo en cuenta la cantidad posible de páginas, se han seleccionado 30 artículos, escritos por 84 autores, entre todos los publicados a lo largo de dicho lapso sobre esas disciplinas. En los casos en que fue necesario, se actualizó la información, para lo cual se convocó a los propios autores, a sus colaboradores o a sus discípulos.
El volumen aborda múltiples temas del Mar Argentino de manera amena y en lenguaje de divulgación, explicados por los propios científicos que los investigan. Ese espectro temático abarca desde la historia geológica de la plataforma submarina y los cambios del nivel del mar hasta las corrientes marinas y el efecto del Plata sobre el océano Atlántico, pasando por las mareas rojas, la biodiversidad, la pesca, la presencia de especies exóticas y las áreas marinas protegidas.
La situación de las ciencias del mar mejoró notablemente en la Argentina en los últimos años. Ello se debió a varios factores, entre los cuales se destaca la importante decisión del Conicet de dotar y poner al servicio de la ciencia el buque de investigaciones oceanográficas *Puerto Deseado*. Se satisfizo así una aspiración largamente anhelada por la comunidad científica, para la cual la nave abrió la posibilidad de estudiar regiones anteriormente inexploradas del Mar Argentino, más allá de la plataforma y del talud, cuyas profundidades son muy poco conocidas.
El *Puerto Deseado* proporcionó también un ámbito de contacto entre científicos, técnicos y estudiantes de distintos centros de investigación, un lugar de intercambio, colaboración y compañerismo del que se carecía desde la intervención y el posterior cierre por el gobierno militar del Instituto Interuniversitario de Biología Marina de Mar del Plata, acaecido en 1977. El actual sistema de organización en el navío de campañas científicas de libre participación asegura igualdad de oportunidades de acceso a regiones y materiales de estudio a los integrantes de dichos centros investigación. Desde 2009 se han embarcado en el *Puerto Deseado* unos 600 científicos, técnicos y becarios, que colectaron para los laboratorios y las colecciones científicas abundantes muestras de excelente calidad, tomadas, por ejemplo, en los cañones submarinos a 3500m de profundidad o en aguas antárticas.
Otro factor decisivo para el afianzamiento de los estudios marinos fue el aumento del número de científicos jóvenes incorporados en la carrera del investigador del Conicet y de becarios en los estadios finales de su formación, así como el incremento de los medios financieros y de los equipos para que unos y otros puedan llevar a cabo sus tareas.
Los resultados de la conjunción de las circunstancias anteriores se advierten en la cantidad y la calidad de artículos escritos en el país que se están publicando en las más exigentes revistas científicas. Esto, sin embargo, no debe ocultar las debilidades que todavía persisten en el sistema, entre ellas las escasas investigaciones interdisciplinarias, esenciales para entender los procesos que acontecen en el mar. También es débil la cooperación regional. La noción de que el océano es un ámbito compartido, por el norte con Uruguay y Brasil y por el sur con Chile, y que hay muchas preguntas que no se pueden responder desde una óptica geográficamente restringida, demuestran la necesidad de una mayor cooperación regional, que sea emprendida con proyectos de investigación conjuntos y prolongados en el tiempo.
La publicación de este volumen resultó del esfuerzo conjunto de la Asociación Civil Ciencia Hoy con el Ministerio de Ciencia, Técnica e Innovación Productiva. Se entrega a los lectores con la esperanza de que contribuya a crear entre la población una mayor conciencia marina, y para que sea un instrumento de orientación vocacional de los más jóvenes. Queremos también que sea un tributo a aquellos científicos que deciden poner en palabras sencillas los resultados de sus estudios, para que estén al alcance de todos.

Mayo de 2014.

**Dr. Lino Barañao**
Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

# Revalorizar el conocimiento del Mar Argentino

Estamos presentando en este volumen un compendio que incluye una serie de investigaciones y artículos de divulgación realizadas en los últimos años. Los mismos cobran relevancia en el marco del lanzamiento la iniciativa Pampa Azul. Se trata de un proyecto inédito en la Argentina, no solo por su temática sino por la articulación que requiere en distintas áreas de gobierno. El litoral marítimo argentino comporta una responsabilidad particular en cuanto a la custodia de la biodiversidad y los recursos naturales que allí existen y también en cuanto a brindar, a través de investigaciones locales, información con valor sustantivo para la comunidad científica internacional. Sabemos, hoy por hoy, que los ecosistemas están estrechamente relacionados, que el monitoreo de los cambios asociados a las variables del cambio climático deben ser medidas en todo el planeta para poder tener una visión global que permita ajustar los modelos predictivos. Al mismo tiempo, se hace presente la necesidad de considerar como parte de la política energética las posibles consecuencias desastrosas que tendría un cambio climático significativo en el planeta. La Argentina tiene una tradición de investigación muy importante. En muchos casos esta actividad ha estado muy fragmentada en distintas áreas del saber. En tal sentido, debe destacarse la tarea que ha realizado el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a través de la sistematización dada por el portal de datos del mar, iniciativa vehiculizada por la Secretaría de Articulación Científica y Tecnológica. Esta iniciativa que brinda recursos financieros y de equipamiento para los distintos grupos de investigación va a permitir, en el corto y mediano plazo, contar con información extremadamente útil para el país y para la comunidad científica global. Este volumen constituye el primer aporte a la construcción de mayor conocimiento sobre el Mar Argentino. Creemos que tiene una real relevancia no solo a nivel de divulgación científica sino también a nivel educativo, dado que es importante ilustrar a nuestros jóvenes sobre este cambio de visión que pretendemos instalar desde nuestro Ministerio en cuanto a la revalorización de los recursos marinos. Finalmente, cabe destacar que Pampa Azul es una iniciativa coordinada desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a través del Gabinete Científico Tecnológico (GACTEC). En ella participan, además, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto; el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca; el Ministerio de Turismo; el Ministerio de Defensa; el Ministerio de Seguridad, y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Asimismo, se encuentran involucrados el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet), la Dirección Nacional del Antártico (DNA), la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), la Prefectura Naval Argentina, el Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC - Conicet), el Centro Nacional Patagónico (CENPAT - Conicet), el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-Conicet/UNS), el Instituto Investigaciones Marinas y Costeras (IIMYC - Conicet), el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA - Conicet/UBA), el Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni (UNCO), la Universidad Nacional del Comahue, la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, la Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur; la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, la Universidad Nacional de Mar del Plata, la Universidad Nacional del Sur, la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad de Buenos Aires.



freeimages.com



# Índice

## El medio físico


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

Juan Federico Ponce y Jorge Rabassa

**19** El ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Buenos Aires

Mónica E Fiore, Enrique E D'Onofrio, Walter H Grismeyer y Dernis G Mediavilla

**27** La corriente de Malvinas. Ramas y frentes oceánicos en el mar patagónico

Bárbara C Franco, Alberto R Piola, Andrés L Rivas y Elbio D Palma

**33** El impacto del Plata sobre el océano Atlántico

Alberto R Piola, Osmar O Möller Jr. y Elbio D Palma

**41** Efecto de la radiación ultravioleta sobre los ecosistemas acuáticos

Horacio E Zagarese, Walter R Cravero, Virgina Villafañe y Walter Helbling

49 Atrapando $CO_2$ en el mar patagónico
Alejandro A Bianchi, Ana Paula Osiroff, Carlos F Balestrini, Alberto R Piola y Hernán Isbert Perlender

55 ¿Qué es el estuario de Bahía Blanca?
Gerardo ME Perillo y M Cintia Piccolo

## Biodiversidad y pesca

63 El estuario del Plata: donde el río se encuentra con el mar
E Marcelo Acha y Hermes Mianzan

73 Mareas rojas
José I Carreto Iraurgui

83 ¿Un mar de gelatina?
Hermes Mianzan, Fernando Ramírez, Luciano Chiaverano y John Costello

91 Las macroalgas marinas bentónicas de la Argentina
María L Mendoza

99 Un alga japonesa en la costa patagónica
Graciela Casas y Evangelina Schwindt

109 Marismas patagónicas: las últimas de Sudamérica
Alejandro Bortolus

117 Oasis en el océano: los frentes costeros del Mar Argentino
E Marcelo Acha y Hermes Mianzan

127 Cangrejos, viajeros y conquistadores
Eduardo D Spivak

135 Las centollas colonizan la Antártida
Gustavo A Lovrich, Sven Thatje, Javier Calcagno y Klaus Anger

145 Darwin y el mar
Pablo E Penchaszadeh, Juan López Gappa, Marcelo A Scelzo, Eduardo Spivak, Flavio Quintana, Juan M Díaz de Astarloa, Silvia C Marcomini y Rubén A López

155 Biodiversidad en la Antártida
RJ Quintana, JL Agraz y LC Borgo

161 Agua de lastre y especies exóticas
Nancy Correa y Pablo Almada

167 La pesca costera en la Argentina
Ricardo G Perrotta, Claudio Ruarte y Claudia Carozza

## Tortugas y mamíferos


**179** Tortugas marinas en aguas argentinas

Victoria González Carman, Hermes Mianzan, Ignacio Bruno, Laura Prosdocimi, Diego Albareda y Claudio Campagna

**187** Los elefantes marinos de península Valdés

Mirtha Lewis y Claudio Campagna

**195** Comportamiento reproductivo del lobo marino sudamericano

Luis Cappozzo

**203** Ballenas francas australes: el lento camino de la recuperación

Guillermo Harris y Carlos O García


## Las ciencias del mar


**211** Las ciencias del mar en la Argentina

John C Ogden, Guillermo Podestá, Adriana Zingone, William J Wiebe y Ransom A Myers

**229** Universidad y ciencias del mar. A treinta años del Instituto Interuniversitario de Biología Marina de Mar del Plata

Santiago R Olivier

**234** Un mar compartido

Pablo E Penchaszadeh y Alberto R Piola

**238** Perspectivas de la biología marina

Gregorio Bigatti

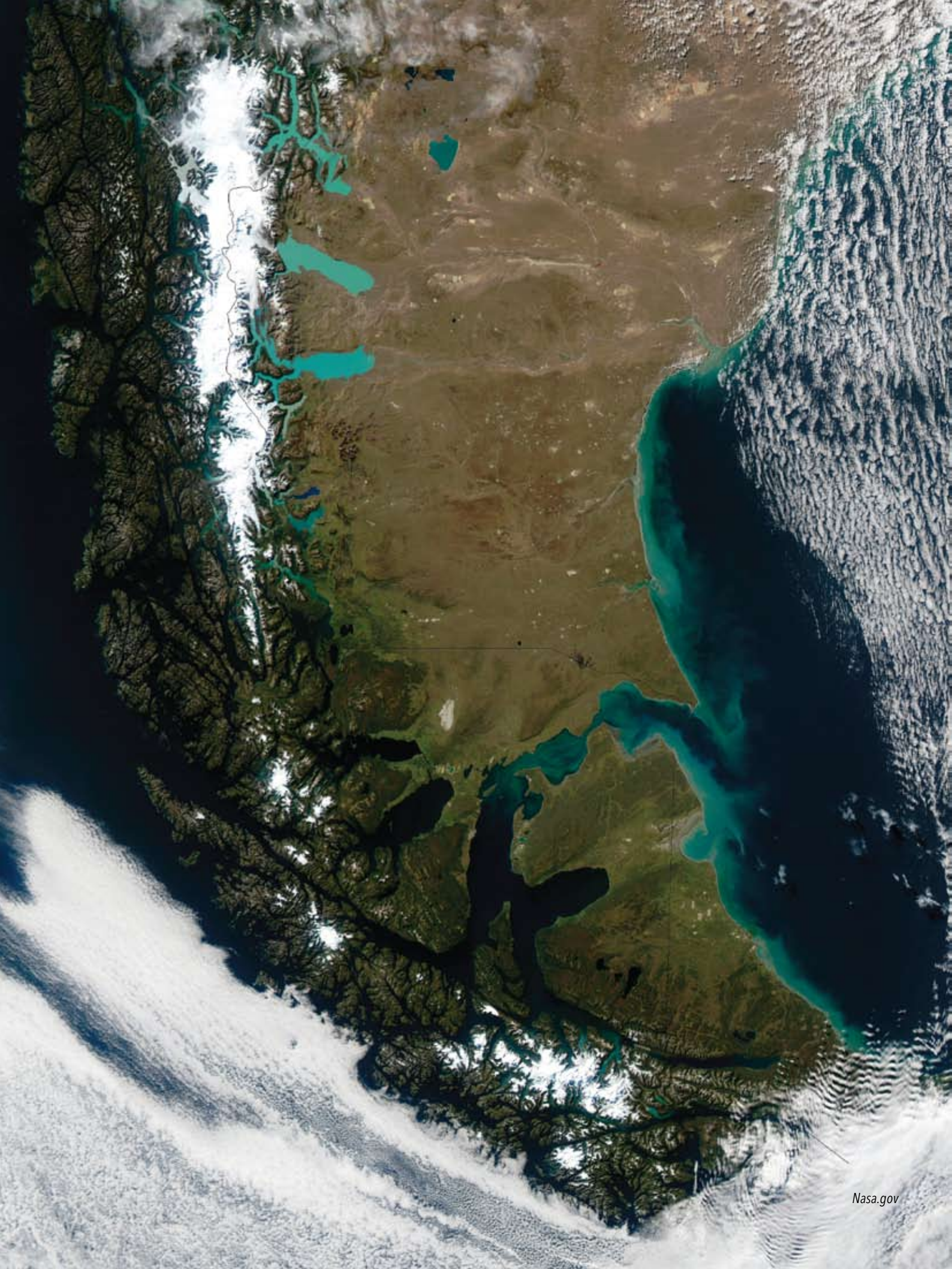

## Áreas protegidas y conservación


**243** Más que siete mares, un océano

Claudio Campagna y Teresita Fernández

**249** Áreas marinas protegidas en la Argentina

Pablo Yorio



*Nasa.gov*

Ciencia Hoy volumen 22 número 127 junio - julio 2012

**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 inmediatamente 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,

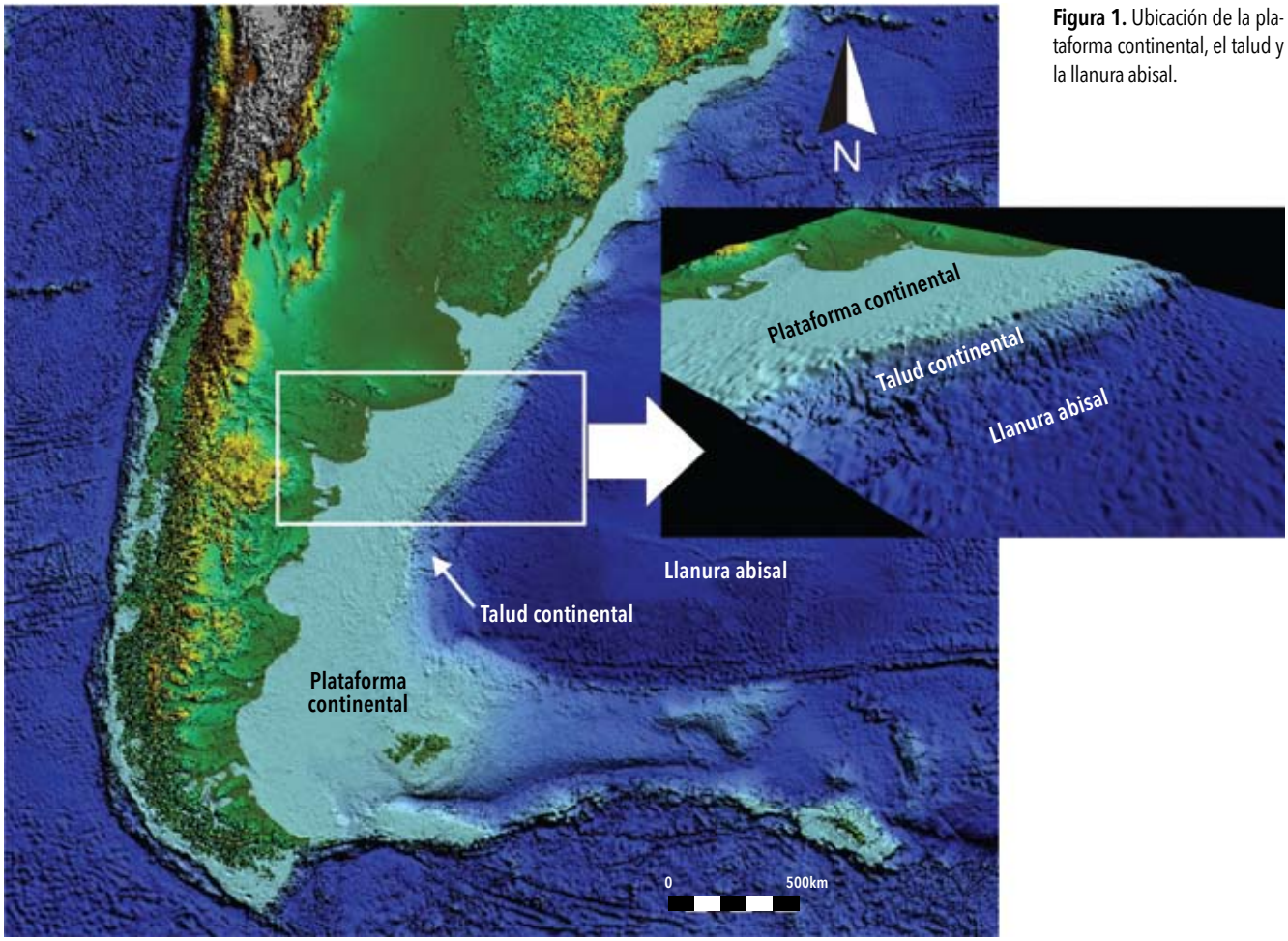



**Figura 1.** Ubicación de la plataforma continental, el talud y la llanura abisal.

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.

## 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 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 15ºC. 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 320.000km$^2$, 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 26.500km$^2$ (equivalente a un 5% de la que ocupaba aquel antiguo manto de hielo original). Hacia el oeste, al sur del paralelo 42ºS, 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

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 590.000km$^2$ (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 45.880km$^2$ (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 13.600km$^2$ (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

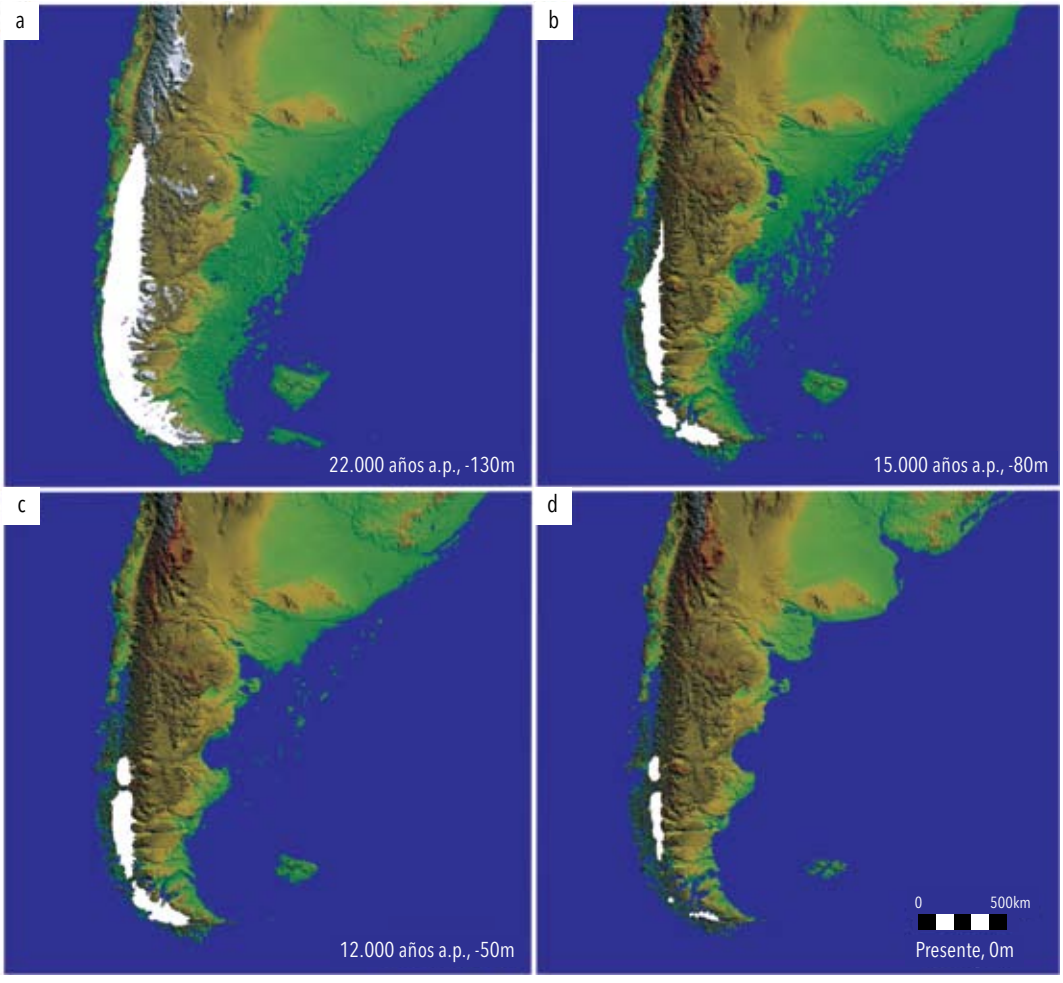



**Figura 2.** Modelo de evolución paleogeográfica de la pampa y la Patagonia desde el Último Máximo Glacial (UMG) hasta la actualidad.

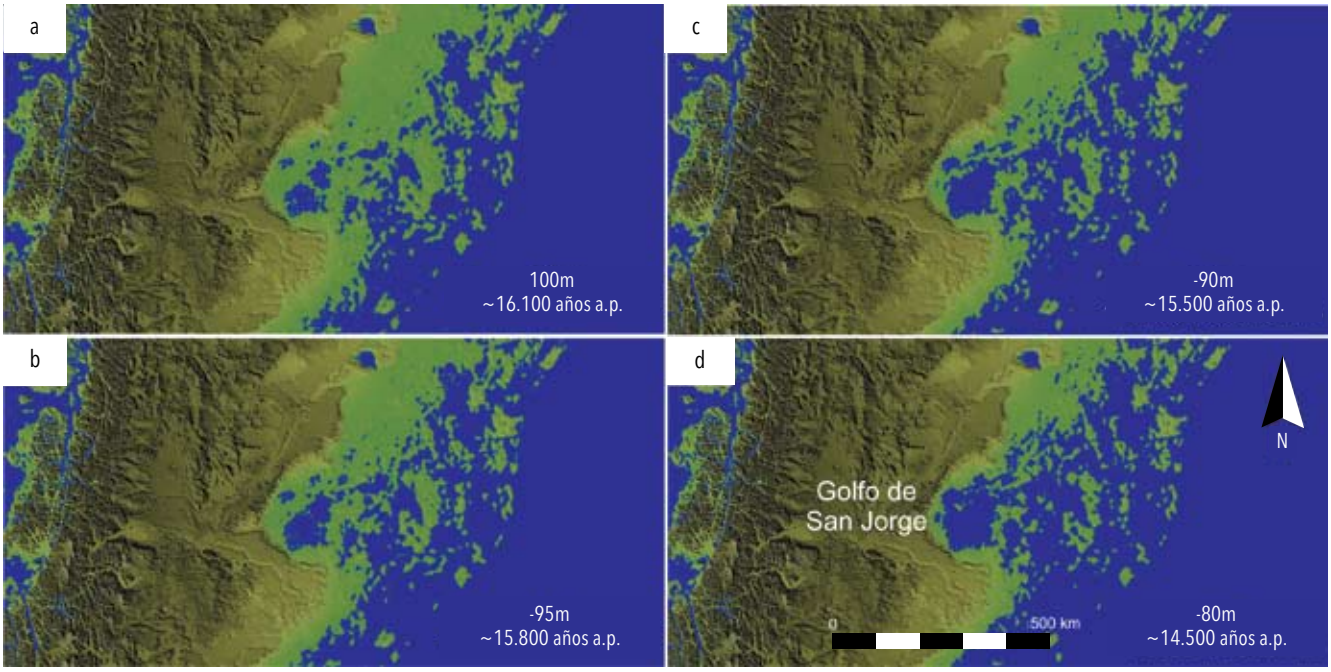



**Figura 3.** La formación del golfo San Jorge se produjo hacia los 15.500 años a.p., posiblemente como consecuencia de la inundación marina de un antiguo gran bajo sin salida.

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 km$^2$ (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 descripto 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.

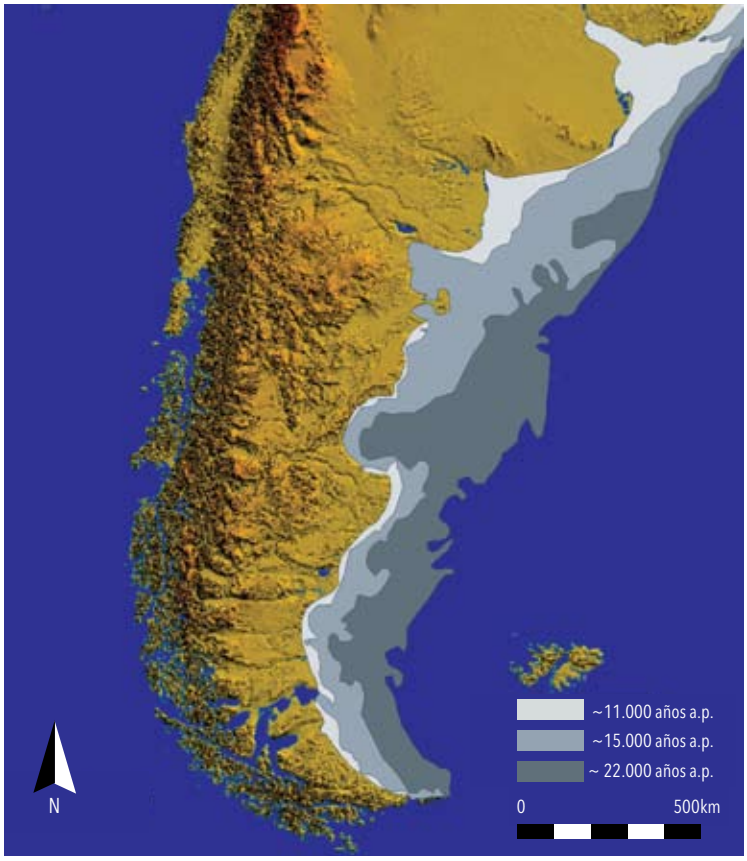



**Figura 4.** Posición de la línea de costa en los momentos de estabilización aparente del nivel del mar.

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 80.000km$^2$. 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 (105.000km$^2$). 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

## 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.




**Figura 1.** Muestra la zona de estudio y las ubicaciones de las estaciones mareográficas de Buenos Aires y Mar del Plata. Imagen: *http://visibleearth.nasa.gov/*

Ciencia Hoy volumen 18 número 106 agosto-septiembre 2008

**Mónica ME Fiore, Enrique E D'Onofrio y Walter H Grismeyer**

Servicio de Hidrografía Naval

**Dernis G Mediavilla**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

# El ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Buenos Aires

La marea se define como la oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol que actúa sobre la Tierra en rotación. Este movimiento vertical es acompañado por uno horizontal denominado 'corriente de marea', provocado por las mismas causas. Esta definición corresponde a lo que se conoce como 'marea astronómica o predicha'. Su carácter determinístico permite su predicción y la confección de tablas de marea (predicciones de pleamares y bajamares).

Existen factores que modifican la marea astronómica, alterando su forma y periodicidad, y dificultando así su predicción. Los principales son las condiciones meteorológicas, la topografía del fondo, los accidentes geográficos, los desagües de ríos, la fusión de los hielos y las variaciones de temperatura y salinidad. Debido a esto, la marea observada se puede considerar compuesta fundamentalmente por la suma de tres términos: nivel medio, marea astronómica y onda de tormenta (efecto de la acción meteorológica sobre la marea). Los fenómenos físicos que los producen son

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

El nivel medio del mar, que solía ser una constante en los cálculos de diseño de obras civiles costeras, ha demostrado ser una variable espacial y temporal, gracias a la mayor precisión de los métodos de medición y como consecuencia de los cambios climáticos globales. Su cálculo cobra mayor importancia con relación a la vida útil de los proyectos costeros.

diferentes y sus representaciones espectrales en el dominio de la frecuencia permiten estudiarlos separadamente. Sin embargo, este hecho no implica que el efecto total esté dado por la suma de los individuales ya que, debido a los procesos no lineales que tienen lugar en aguas poco profundas, cada una de las partes componentes aquí mencionadas puede interactuar dinámicamente con las demás.

## ¿Qué es el nivel medio del mar?

El nivel medio del mar se define como la media aritmética de alturas registradas en un mareógrafo en forma horaria (o en un intervalo menor) obtenidas durante un período variable, pero siempre conteniendo ciclos completos de marea (por ejemplo, un mes, un año o diecinueve años). De esta manera se logra eliminar la contribución de la marea en el cálculo del nivel medio. También existen ciclos mayores de diecinueve años, por ejemplo el de precesión de los equinoccios de aproximadamente 20.942 años o el de inclinación del eje de la Tierra de alrededor de 41.000 años. Estos ciclos no son tenidos en cuenta para el cálculo de los niveles medios a partir de registros mareógraficos, pues las variaciones del nivel del mar que originan no son significativas frente a las provocadas por movimientos tectónicos y/o glaciaciones que se hayan producido en esos lapsos.

El nivel medio del mar determinado por series de 18,67 años de observación (ciclos de los nodos de la Luna), corregidas por modelos de circulación, de influencia meteorológica y de tectónica de placas es una buena primera aproximación al geoide.

En un sentido estricto, el geoide es la superficie de nivel del campo de gravedad terrestre que se aproxima al nivel medio del mar y su conocimiento es crucial para el desarrollo de trabajos geodésicos, geofísicos y oceanográficos.

El nivel medio calculado a partir de una serie de alturas de marea de diecinueve años, sin efectuar esas correcciones, tendrá diferencias con el geoide que en los casos más desfavorables pueden exceder el metro.

## Cambios del nivel del mar

Durante los milenios que siguieron al último período glaciar, de hace unos 21.000 años, el nivel del mar se elevó globalmente unos 125m, como consecuencia del derretimiento de los hielos. Numerosos autores coinciden en que para los últimos 2000 o 3000 años la variación del nivel medio fue muy pequeña comparada con la registrada durante el siglo XX.

Desde las últimas dos décadas del siglo XX se han presentado trabajos donde se advierte sobre el ascenso del nivel medio del mar como una de las consecuencias del cambio climático global. El aumento de la temperatura del planeta produce el derretimiento de las grandes masas de hielo y la expansión térmica del agua oceánica, ocasionando el ascenso relativo del nivel del mar.

No todas las regiones son afectadas de igual forma. A escala global se detecta una tendencia de ascenso, sin embargo cabe mencionar que existen algunas excepciones en las que se observa una tendencia negativa, estas son regiones tectónicamente activas o áreas cubiertas por espesas capas de hielo que se están derritiendo. Un ejemplo de este último caso se observa en la ciudad de Sitka (Alaska), donde la elevación isostática de la tierra debida a la disminución de la capa de hielo ha provocado una tendencia negativa del nivel medio.

*La isostasia es la condición de equilibro que presentan las unidades de la corteza terrestre, comparable a la flotación, sobre el manto terrestre de mayor densidad. La eliminación de la capa de hielo de una región produce un alivio en el peso y la recuperación del equilibrio se produce por ascenso, mediante movimientos verticales, de la corteza. Cuando esta se eleva, el movimiento relativo del nivel del mar resulta de descenso o negativo.*

El nivel medio del mar, que antiguamente a los efectos prácticos era considerado solo variable espacialmente, resultaba una constante en los cálculos de diseño de obras civiles costeras. En la actualidad es una variable espacial y temporal que cobra mayor importancia en relación directa con la vida útil del proyecto. A partir de la década del 80, se han realizado cálculos para evaluar la tendencia del nivel medio referida a puntos fijos ubicados en las costas argentinas, obteniéndose resultados que concuerdan con los calculados a nivel global (aproximadamente +2mm/año, para el siglo XX). A esta tendencia se la conoce como relativa pues no considera el movimiento vertical de la corteza terrestre donde están colocados los puntos fijos.

Con el objeto de obtener tendencias absolutas del nivel medio del mar, en marzo de 2001 el Servicio Internacional de Posicionamiento Global International GPS Service (IGS, por sus siglas en inglés) implementó un proyecto piloto de monitoreo de las ondas de marea, el *GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring-Pilot Project* (*TIGA-PP*, *http://adsc.gfz-potsdam.de/tiga/index_TIGA.html*), cuyo objetivo es monitorear con equipos GPS (Global Positioning System) puntos fijos en las estaciones mareográficas o cercanos a ellas para detectar movimientos verticales de la corteza terrestre. Estos resultados aplicados a las mediciones relativas del nivel medio del mar permiten obtener valores absolutos y constituyen un aporte importante para los estudios de cambio climático. Asimismo, también pueden ser utilizados para la calibración de altímetros satelitales y otras actividades oceanográficas.

Los cambios en el nivel medio del mar a escala global son estudiados por las misiones de los satélites altimétricos de alta precisión como el Jason1, que continúa la misión TOPEX/Poseidon, iniciada en 1992, y permiten obtener alturas absolutas de la superficie del nivel del mar, con respecto a un marco de referencia geocéntrico, preciso y estable a lo largo del tiempo. En relación con este punto, se recomienda la consulta a la página *http://topex-www.jpl.nasa.gov* de la NASA y la lectura de Ciencia Hoy, 104: 14-17, 2008 sobre 'Satélites como instrumentos científicos'.

El aumento del nivel medio contribuye a que las alturas extremas de marea alcanzadas durante las grandes tormentas sean cada vez más altas, incrementando las probabilidades de inundación y de erosión en las áreas costeras más bajas. Por ejemplo, en aquellas zonas del Río de la Plata donde el hombre rellenó el sector costero ha disminuido el riesgo de inundación, pero no los problemas ocasionados por la erosión de playa y retroceso de la línea de costa. En otras zonas del estuario como el frente del delta del río Paraná, las sudestadas (Ciencia Hoy, 67: 38-45, 2002) producen inundaciones de zonas costeras en forma directa y/o indirecta cuando impiden la descarga normal de los cursos de agua. Cabe destacar que recientes investigaciones muestran que el anticiclón del Atlántico Sur está desplazándose lentamente hacia el sur, incrementando el número de sudestadas y agravando de esta forma la situación.

Un caso particular lo constituye la ciudad de Buenos Aires, donde uno de los principales causales de inundación son las precipitaciones intensas, como resultado de la impermeabilización de la superficie, las obras de alcantarillado y los entubamientos de cursos de agua. Esto se debe a que la red de desagües existente no es suficiente para la población actual y su grado de edificación. Sin embargo, las sudestadas representan otro de los factores desencadenantes de los eventos de inundación en la ciudad. Durante una sudestada, el nivel del río aumenta, actuando como un tapón hidráulico en la desembocadura de los desagües y produciendo que el agua reingrese a la ciudad.

La costa atlántica de la provincia de Buenos Aires presenta importantes centros turísticos, entre los que se destaca la ciudad de Mar del Plata con una población estable de aproximadamente 560.000 habitantes que suele duplicarse en época estival. Hasta la segunda década del siglo XX, sus playas mostraban un balance natural. El crecimiento de la ciudad y la construcción de diferentes obras costeras trajeron como consecuencia graves problemas de erosión. Actualmente, la erosión costera afecta no solo las playas sino también parte de la ruta interbalnearia. En este caso, el ascenso del nivel del mar posibilita un mayor avance de las olas sobre la playa, favoreciendo la acción erosiva del mar.

En este artículo se presenta la tendencia relativa del nivel medio del mar y su aceleración, para aquellas localidades de la provincia de Buenos Aires de las que se dispone de series de alturas de marea que cubren por lo menos los últimos cincuenta años. Este es el caso del puerto de Buenos Aires y el de Mar del Plata. Merece destacarse que estas dos localidades poseen características geográficas e hidrodinámicas distintas, por lo que resulta de mayor interés comparar los resultados obtenidos.

## Zona de estudio

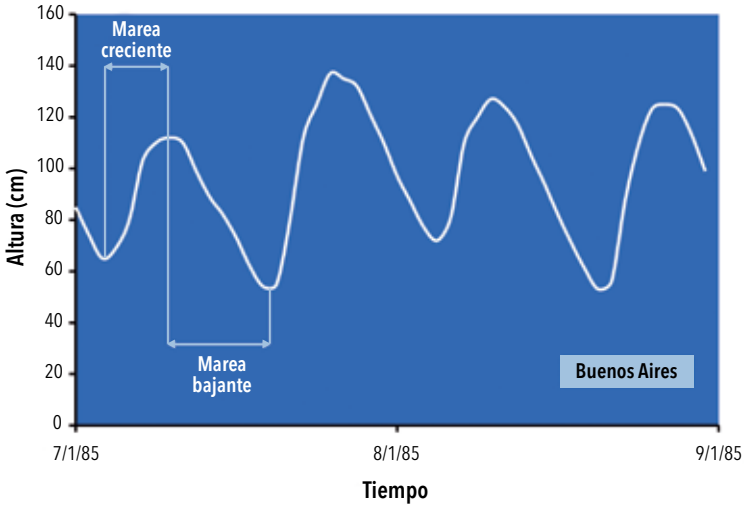
El Río de la Plata es un estuario muy extenso con orientación general NNO-SSE, formado por la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay (figura 1).

El río Paraná, uno de los más grandes y caudalosos del mundo, forma parte de la hidrovía Paraná-Paraguay que es la arteria hídrica más importante del Mercosur. Desde su nacimiento hasta la desembocadura su curso recorre aproximadamente 2570km con un caudal medio de 16.000$m^3$/s en la ciudad de Paraná.

El río Uruguay es el eje de circulación y la frontera natural de la Argentina con Uruguay y Brasil. Es el segundo en importancia dentro del sistema del Plata y su curso recorre 1600km, desde su naciente hasta su desembocadura. El caudal medio anual en la ciudad de Salto es de aproximadamente 4600$m^3$/s.

El estuario del Río de la Plata tiene una longitud aproximada de 290km y su ancho varía desde 40km en su parte más estrecha hasta 220km en la desembocadura. Sus profundidades, referidas al cero del Riachuelo, varían desde los 5m frente a la ciudad de Buenos Aires hasta los 10 o 20m para la región exterior. Se caracteriza por poseer numerosos bancos de arena que afectan la propagación de la onda de marea. Debido a su forma y poca profundidad, es altamente afectado por los vientos del sudeste. La marea se ve influenciada por la hidrodinámica y geomorfología del río, produciéndose mareas bajantes de mayor duración que las crecientes (figura 2). El régimen de marea es mixto preponderantemente semidiurno: generalmente se observan dos pleamares y dos bajamares diarias con una importante desigualdad diurna (las pleamares consecutivas no alcanzan la misma altura, lo mismo ocurre con las bajamares, figura 2) y excepcionalmente puede encontrarse una sola bajamar y una sola pleamar en el día.

Por su parte, Mar del Plata (figura 1) presenta playas de arena de pendientes suaves de 2° a 3° que se alternan con zonas de acantilados, cuyas alturas pueden alcanzar los 25m. Al igual que las playas arenosas, los acantilados sufren la acción erosiva provocada por las mareas y las olas. En este caso la marea es de naturaleza puramente marítima y se propaga libremente hacia la costa. Sobre esta se observan oscilaciones de alta frecuencia de pe-



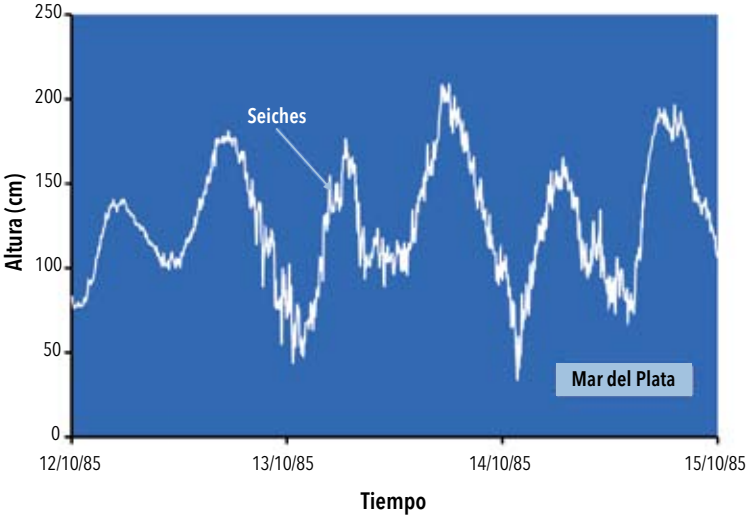




**Figura 2** (arriba). Mareograma realizado a partir del procesamiento de registros obtenidos en la estación mareográfica Buenos Aires, perteneciente al SHN, para los días 7, 8 y 9 de enero de 1985. Se indica la diferente duración que tienen la marea creciente y la bajante y la desigualdad diurna. Las alturas están referidas al cero del Riachuelo.

**Figura 3** (abajo). Mareograma realizado a partir del procesamiento de registros obtenidos en la estación mareográfica Mar del Plata Club, perteneciente al SHN, para los días 12, 13, 14 y 15 de octubre de 1985. Se observa una señal de alta frecuencia superpuesta a la onda de marea (seiches). Las alturas están referidas al cero del mareógrafo que pasa a 1,163m por debajo del cero del Instituto Geográfico Militar (IGM).

ríodos comprendidos entre 1 minuto y 2 horas, conocidas como seiches. Estas oscilaciones se deben a la acción de ondas de gravedad, asociadas al pasaje de frentes meteorológicos por la plataforma continental, que fuerzan una oscilación sobre la superficie del agua, que puede sufrir amplificaciones por fenómenos de resonancia al ir acercándose a la costa (figura 3). Su régimen de marea es mixto preponderantemente semidiurno, al igual que en Buenos Aires, con la diferencia de que las desigualdades diurnas son menos pronunciadas y no se encuentran casos de marea de una sola bajamar y una sola pleamar diarias.

## Medición de marea y serie de datos

Para el cálculo del nivel medio en el puerto de Buenos Aires se dispone de una serie de alturas horarias correspondientes al período 1905-2006. Desde 1905 a 1959 las mediciones fueron realizadas por el Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP), en una estación mareográfica próxima al Antepuerto Sur en Dársena Este. A partir de 1959, las observaciones provienen de una estación perteneciente al Servicio de Hidrografía Naval (SHN) ubicada en el muelle del Club de Pescadores frente al Aeroparque Jorge Newbery de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (figura 4). La distancia entre ambas estaciones es de 9km a lo largo de la cual la topografía y morfología costeras son homogéneas. Como ambas series de mediciones presentan las mismas características mareológicas, pudieron ser unidas y referenciadas a un datum de marea común, que es el cero del Riachuelo, logrando una única serie para el período 1905-2006. Las alturas de marea hasta 1972 fueron obtenidas con mareógrafos analógicos que fueron reemplazados por registradores digitales cuya información es enviada telemétricamente al SHN.

Para el puerto de Mar del Plata se dispone de una serie de alturas horarias correspondientes al período 1956-2006. Desde 1956 hasta 1998 los datos fueron registrados en la estación mareográfica ubicada en el muelle del Club de Pescadores (figura 5). Debido a un embancamiento causado por el relleno de playas realizado por la comuna, la estación debió ser trasladada a las instalaciones de la Base Naval, de donde proviene la última parte del registro (figura 6). Ambas series de mediciones fueron unidas y referenciadas a un datum de marea común.

La estación actualmente en servicio cuenta con un mareógrafo acústico de nueva generación complementado con sensores meteorológicos. Fue instalado en el marco de un convenio entre la Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera (NOAA) y el SHN. Esta fue la primera estación de nuestro país en ser seleccionada para incorporarse al proyecto TIGA. Debido a esto la estación cuenta con un registrador continuo GPS de precisión geodésica, cuya antena se observa en la figura 6.

## Método de cálculo

Los niveles medios anuales para los dos puertos mencionados se obtienen calculando la media aritmética de las alturas horarias correspondientes a cada año (figuras 7 y 8).

Para obtener la tendencia del nivel medio, deben atenuarse previamente las contribuciones de la marea astro-

nómica con períodos mayores a un año, debido a que no fueron eliminadas al efectuar el cálculo del nivel medio anual. Para esto, se utiliza un filtro numérico pasabajos, diseñado a partir de la ventana de Kaiser-Bessel. El cálculo de la tendencia se realiza en cada caso ajustando una recta, por el método de cuadrados mínimos, a las series filtradas (figuras 7 y 8).

En ambos casos se obtienen tendencias positivas que indican un ascenso del nivel medio. Para el puerto de Buenos Aires se calculó una tendencia de 1,67 ± 0,05mm/año para el período 1905-2006, con un coeficiente de determinación de 0,93. Para Mar del Plata el valor fue 1,53 ± 0,11mm/año para el período 1953-2006, con un coeficiente de determinación de 0,84. Néstor Lanfredi y otros encontraron una tendencia de ascenso del nivel medio de 1,6 ± 0,1mm/año para el puerto de Buenos Aires durante el período 1905-1992, de 1,4 ± 0,5mm/año para Mar del Plata correspondiente al período 1954-1992 y 1,6 ± 0,2mm/año para Quequén correspondiente al período 1918-1981.

Como se observa al comparar los resultados, para los puertos de Buenos Aires y Mar del Plata la inclusión de los últimos catorce años de niveles medios no ha modificado significativamente la tendencia en estas dos localidades. Con respecto a Quequén, no se dispuso de suficientes nuevas mediciones como para actualizar el trabajo.

Para obtener mayor información sobre la variación del nivel medio en las estaciones estudiadas, se calcula





**Figura 4** (izquierda y arriba). Instalaciones del mareógrafo de Buenos Aires, perteneciente al SHN, ubicado en la cabecera del muelle del Club de Pescadores, frente al Aeroparque Jorge Newbery.

**Figura 5** (abajo, ambas). Instalaciones del mareógrafo de Mar del Plata, perteneciente al SHN, ubicado en el muelle del Club de Pescadores.





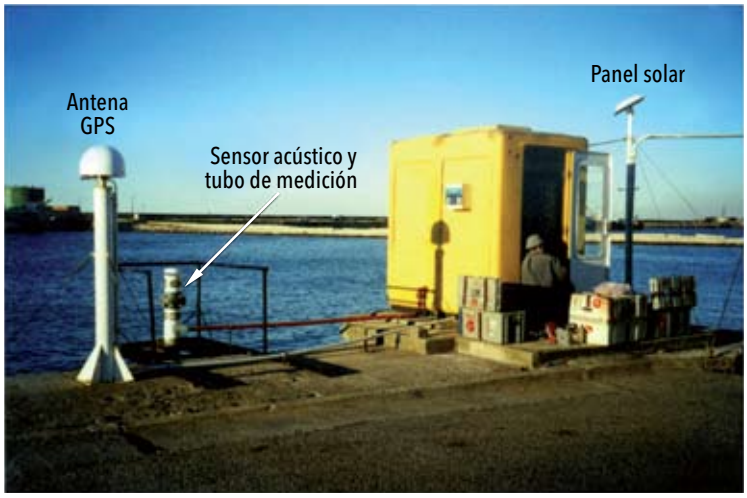



**Figura 6.** Instalaciones de la primera estación TIGA de la Argentina, ubicada en la Base Naval de Mar del Plata. Se observa en las proximidades del sensor acústico de marea la antena de un receptor GPS que opera en forma continua, monitoreando los movimientos del cero de medición de mareas.

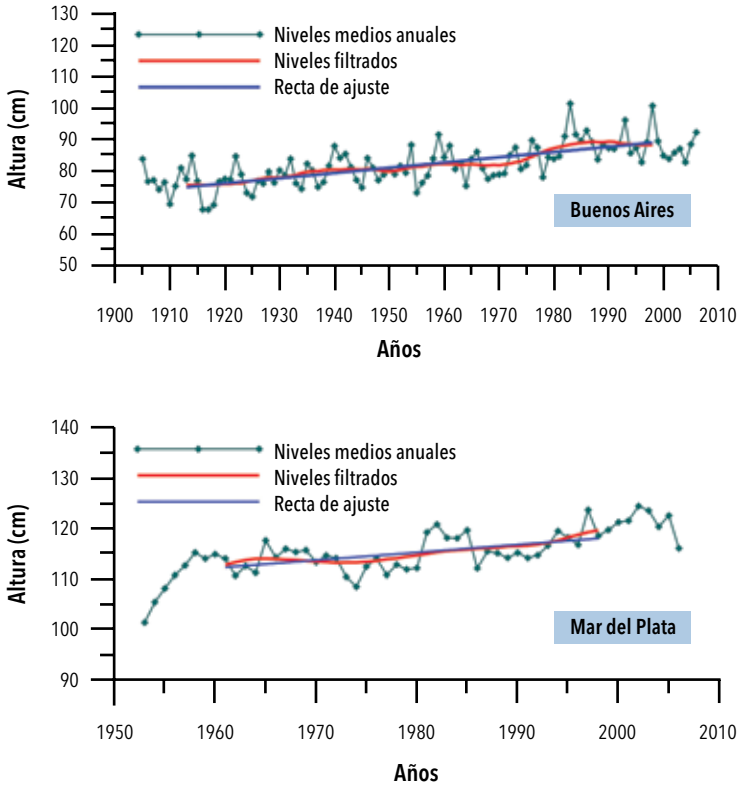



**Figura 7** (arriba). Se observan los niveles medios anuales obtenidos del procesamiento de registros mareográficos del puerto de Buenos Aires. Estos valores son filtrados para eliminar las posibles contribuciones de la marea astronómica. Los resultados obtenidos se muestran en esta figura juntamente con la recta de ajuste por cuadrados mínimos que permite calcular la tendencia del nivel medio. Los niveles medios están referidos al cero del Riachuelo.

**Figura 8** (abajo). Se observan los niveles medios anuales obtenidos del procesamiento de registros mareográficos de Mar del Plata. Estos valores son filtrados para eliminar las posibles contribuciones de la marea astronómica. Los resultados obtenidos se muestran en esta figura conjuntamente con la recta de ajuste por cuadrados mínimos que permite calcular la tendencia del nivel medio. Los niveles medios están referidos al cero del mareógrafo que pasa a 1,16m por debajo del cero del IGM.

su aceleración para la totalidad de los períodos. Esta se obtiene ajustando por el método de mínimos cuadrados, una simple parametrización cuadrática sobre los valores filtrados. Las aceleraciones obtenidas para Buenos Aires (1905-2006) y Mar del Plata (1953-2006) son 0,014 ± 0,005mm/año$^2$ y 0,120 ± 0,006mm/año$^2$ respectivamente. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores para diferentes lugares de la Tierra.

## Discusión de los resultados y evolución del nivel medio durante esta centuria

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran una tendencia relativa de ascenso del nivel medio del orden de 1,5mm/año, con aceleraciones inferiores a 0,15mm/año$^2$, revelando que en el siglo XX no ha habido una aceleración del ascenso del nivel medio significativa en la costa de la provincia de Buenos Aires.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su informe presentado en 2007 estima, a partir de registros mareográficos, un aumento global del orden de 1,7mm/año y una aceleración de 0,013mm/año$^2$. Como se observa, tanto las tendencias como las aceleraciones calculadas para la costa de la provincia de Buenos Aires concuerdan con las estimaciones globales realizadas por el IPCC.

Si bien las características geográficas e hidrodinámicas de ambas localidades son distintas, los resultados obtenidos son similares. Teniendo en cuenta esto, cabe preguntarse qué influencia tiene la descarga de los ríos Paraná y Uruguay en el nivel medio del puerto de Buenos Aires. La respuesta es que el nivel medio no es afectado significativamente por la descarga de estos ríos, excepto en aportes extremos de caudales como los sucedidos en 1983 y 1998 coincidentes con eventos El Niño-Oscilación Sur (ENSO; más información sobre este evento puede encontrarse en *http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/*). El caudal medio aportado por los ríos Paraná y Uruguay en conjunto es de aproximadamente 22.000m$^3$/s, mientras que los caudales máximos registrados durante las crecidas de 1983 y 1998 fueron de 71.290m$^3$/s y de 64.654m$^3$/s respectivamente. La razón por la cual el nivel medio no se ve afectado habitualmente por la descarga de estos ríos se debe a que el Río de la Plata va incrementando su ancho a medida que se acerca al océano Atlántico, permitiendo así que el agua proveniente de los ríos Paraná y Uruguay se distribuya sobre una gran superficie sin producir cambios significativos en el nivel medio. Estudios realizados para el puerto de Buenos Aires muestran que para caudales máximos anuales ma-

yores a 64.000m$^3$/s (suma de ambos ríos) y caudales medios anuales mayores a 41.000m$^3$/s (suma de ambos ríos) el nivel medio anual puede tener una variación de hasta 15cm. Desde 1905 hasta el presente esta situación se presentó solamente en las dos inundaciones ya mencionadas.

El IPCC en su informe de 2007 estima en todos los escenarios estudiados (ver Ciencia Hoy, 103: 42-49, 2008) que tanto la temperatura como el nivel del mar continuarán subiendo durante esta centuria. Los valores proyectados para el ascenso del nivel medio del mar estarían en el rango de 18-59cm para los próximos cien años.

Estos resultados fueron obtenidos utilizando modelos climáticos globales, que consisten fundamentalmente en la unión de un modelo atmosférico y uno oceanográfico, a los cuales se les agregan otros, por ejemplo, aquellos que tienen en cuenta el hielo marino o la evapotranspiración del suelo. La alta complejidad de estos modelos dificulta sus calibraciones, por lo que cabe esperar que en la medida en que se sigan efectuando mediciones, estos se vayan optimizando, lo que redundará en ajustes a las predicciones realizadas.

Los resultados aquí presentados aportan información significativa para la elaboración de las normas de manejo en las áreas costeras bonaerenses, sea propiciando la realización de obras de protección o desalentando la ocupación de áreas que puedan ser críticas.

Finalmente, dada la situación planteada y sus proyecciones futuras, es fundamental contar con una amplia red de estaciones mareográficas que posibiliten seguir monitoreando el nivel medio del mar, con la finalidad de mejorar las predicciones referidas a su comportamiento y de establecer políticas que mitiguen los efectos de su ascenso. CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**BARROS V**, 2004, *El cambio climático global*, Libros del Zorzal, Buenos Aires.

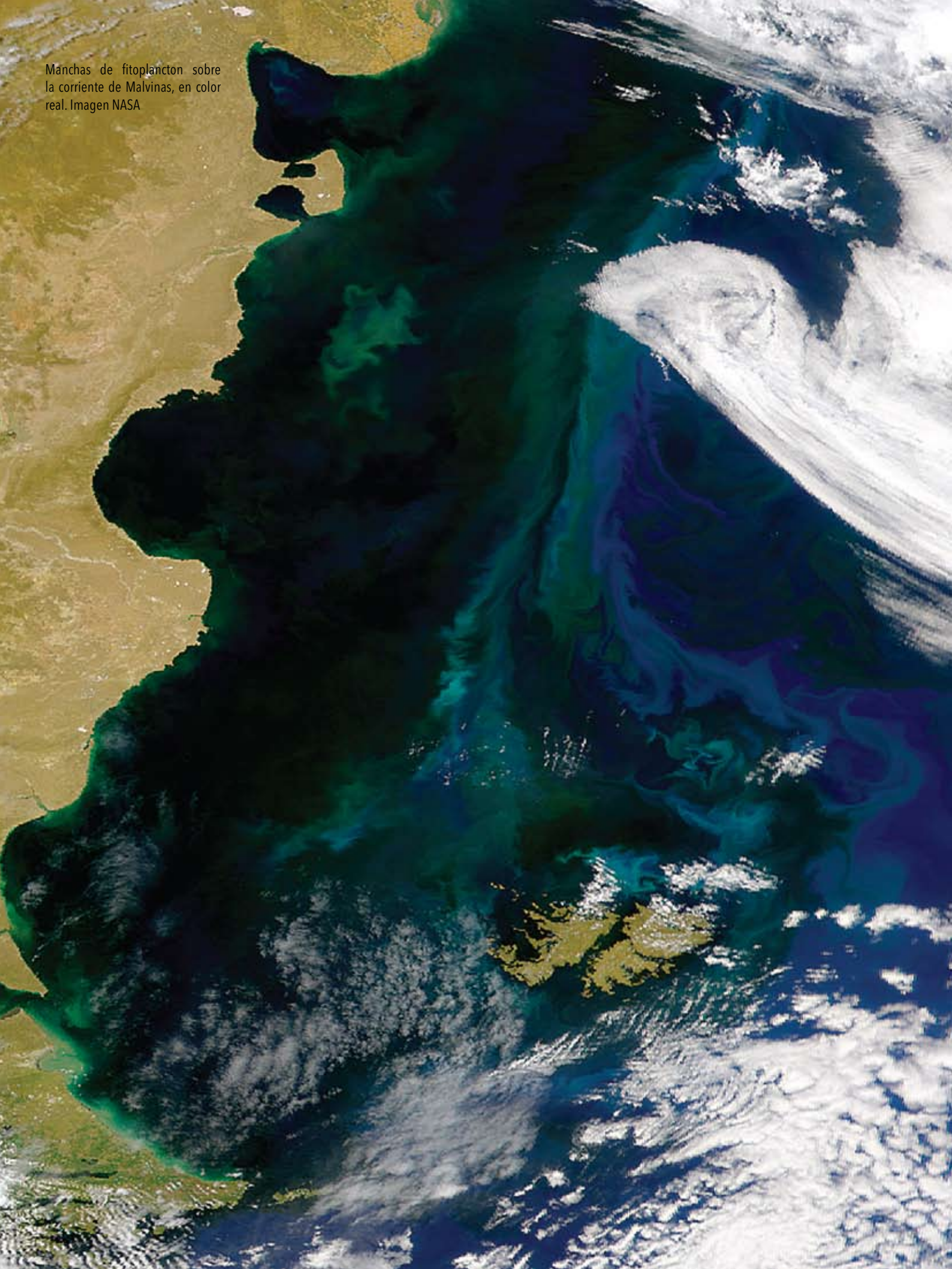
**BARROS V., MENÉNDEZ A y NAGY G**, 2005, *El cambio climático en el Río de la Plata*, CIMA, Buenos Aires.

**DOUGLAS BC, KEARNEY M S & LEATHERMAN S P**, 2001, *Sea Level Rise. History and Consequences*, Academic Press, San Diego-San Francisco-Nueva York-Boston-Londres-Sydney-Tokio, Internacional Geophysics Series, vol. 75.

Informe 2007 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: *http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm*

**LANFREDI N W, POUSA J L & D'ONOFRIO EE,** 1998, 'Sea-Level Rise and Related Potential Hazards on the Argentine Coast', *Journal of Coastal Research*, vol. 14, 1, 47-60.

**PUGH D T,** 2004, *Changing sea level. Effects of Tide, Weather and Climate*, Cambridge University Press.



Manchas de fitoplancton sobre la corriente de Malvinas, en color real. Imagen NASA

Ciencia Hoy volumen 19 número 114 diciembre 2009 - enero 2010

**Bárbara C Franco**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

**Alberto R Piola**
Investigador del Conicet en el Servicio de Hidrografía Naval

**Andrés L Rivas**
Investigador del Conicet en el Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

**Elbio D Palma**
Investigador del Conicet en la Universidad Nacional del Sur

# La corriente de Malvinas

## Ramas y frentes oceánicos en el mar patagónico

### Frentes oceánicos

La plataforma continental patagónica es una extensa planicie sumergida, de escaso relieve, que termina en un talud. Este es un declive del fondo marino, por el que la profundidad aumenta de entre unos cien a doscientos metros hasta varios miles de metros en algunas decenas de kilómetros. El borde exterior de esa plataforma, donde comienza el talud, está a entre 400 y 500 kilómetros de la costa, según la latitud; y en coincidencia con ese borde, la superficie del mar se caracteriza por una abundante concentración de fitoplancton, que es la base de la cadena alimentaria (o cadena trófica) marina. Es una zona del mar con muy rica diversidad biológica y ecológica, lo que incluye pesquerías de importancia económica regional.

El borde en cuestión marca la transición entre las aguas relativamente cálidas y poco salinas encontradas sobre la plataforma, y las aguas frías y de mayor salinidad de la corriente de Malvinas. Diversos organismos marinos, desde invertebrados o peces que habitan el fondo (o *especies bentónicas*) hasta otros peces, aves y los elefantes marinos australes (*Mirounga leonina*) están asociados con esa zona de transición.

Zonas de ese tipo se llaman también *frentes* o *sistemas frontales*. Los seres vivientes que habitan en ellos adaptan sus ciclos vitales a la dinámica de tales sistemas, la cual facilita la retención y agregación del plancton. Por esta razón, los organismos mayores, con capacidad de desplazamiento, también se benefician con la existencia de esas áreas, en las que, en consecuencia, suele haber alta concentración de organismos marinos de diversos niveles tróficos.

La corriente de Malvinas bordea el talud continental patagónico a lo largo de unos 1800 kilómetros, desde el pasaje de Drake hasta aproximadamente la latitud de Mar del Plata (38°S), como se aprecia en la figura 1. Genera una inyección permanente de aguas subpolares, frías y

**¿DE QUÉ SE TRATA?**

Los datos satelitales permiten avanzar en el estudio del mar patagónico en una zona en que las aguas de la plataforma continental cambian de temperatura por efecto de la corriente fría de Malvinas, lo que influye notablemente sobre la vida marina.

ricas en nutrientes en las latitudes subtropicales, un fenómeno que define condiciones ambientales y oceanográficas únicas en el sudoeste del Atlántico Sur.

Cerca de la mencionada latitud de 38ºS, la corriente de Malvinas sufre un abrupto cambio de dirección, primero hacia el este y luego, mar adentro, hacia el sur. Ello se debe a que se encuentra con la corriente del Brasil, que fluye a lo largo de la costa de ese país hacia el sur. Justamente allí termina la región biológicamente más productiva del mar sobre talud, lo que indica la importancia de la primera de esas corrientes en el enriquecimiento del medio marino o la columna de agua.

La transición entre las aguas de la plataforma patagónica y las más frías de la corriente de Malvinas forma un frente térmico superficial que sigue, aproximadamente, la línea que marca la profundidad oceánica de 200 metros (o *isobata* de 200m). Datos recogidos in situ y de origen satelital revelan que se trata de una franja con alta concentración de clorofila, lo que indica abundancia de fitoplancton. Probablemente este quede retenido allí por la dinámica del sistema frontal.

Durante la primavera y el verano el área de alta clorofila forma una franja casi continua sobre el borde de plataforma. El análisis de los datos satelitales revela que esa franja coincide en el tiempo y el espacio con la que marca un pronunciado cambio de la temperatura superficial del mar o un fuerte *gradiente térmico* sobre el borde de la plataforma. Esto sugiere que la posición del frente es determinada o tiene una fuerte relación con la topografía del fondo marino.

Algunos investigadores han sugerido que la abundancia superficial de clorofila se localiza al oeste (es decir, hacia la costa) del frente térmico del talud. La observación de altas concentraciones de zooplancton, peces, aves, mamíferos y, en el fondo, vieiras patagónicas (*Zygochlamys patagonica*) cerca de la línea del talud sugiere una estrecha relación entre los procesos físicos que rigen la dinámica del frente marino y la ecología de las especies marinas. La

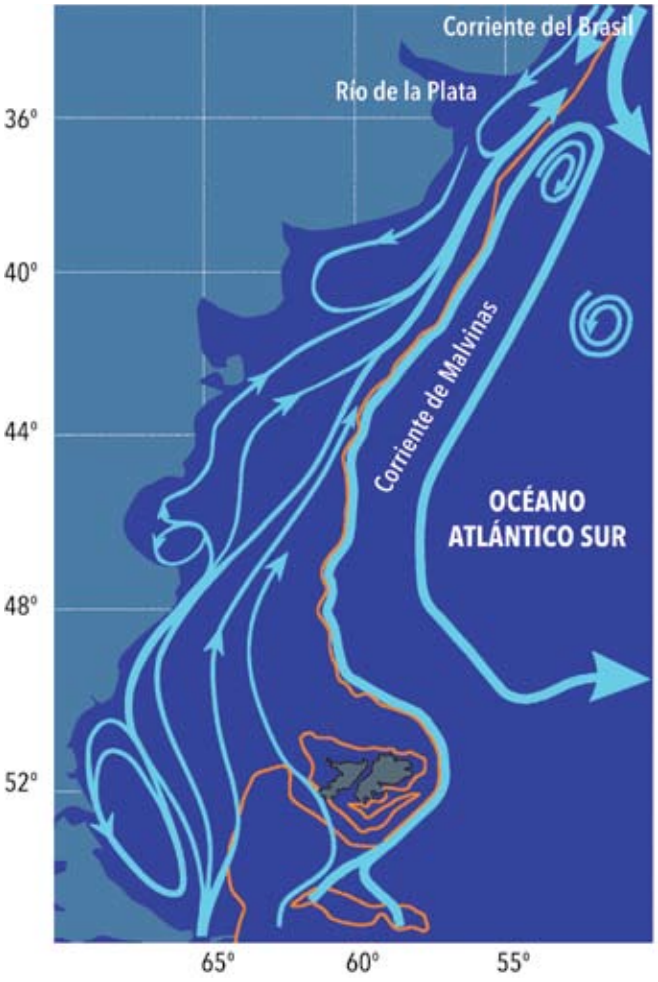



**Figura 1.** Esquema de la circulación oceánica sobre la plataforma continental y el talud patagónicos. En naranja, la isobata de 200m.

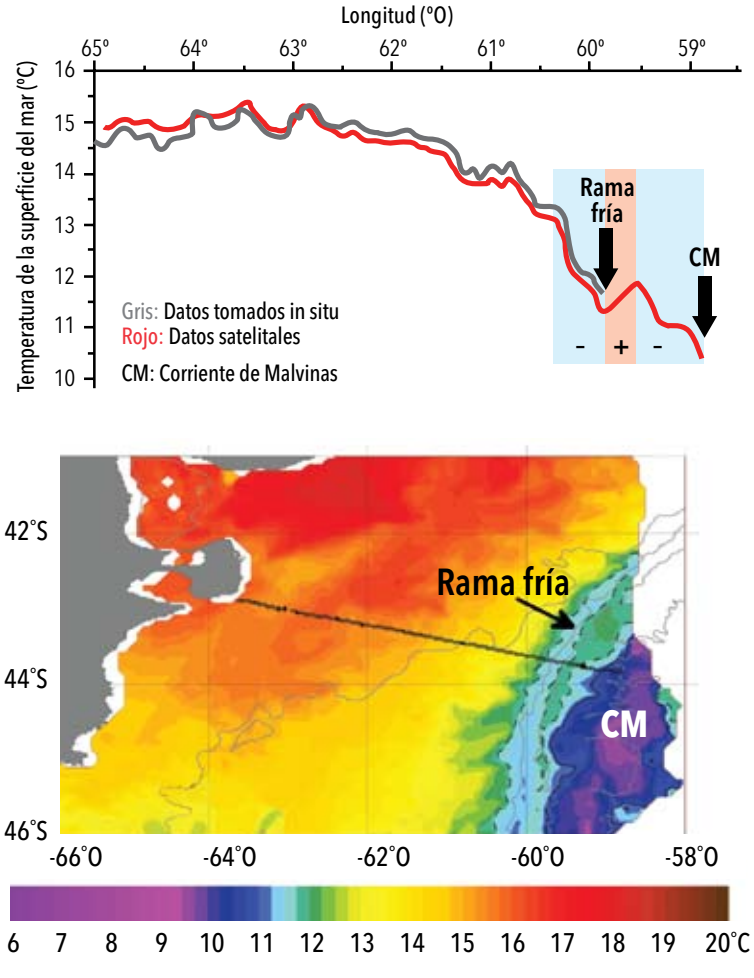



**Figura 2.** Temperatura superficial del mar determinada a partir de observaciones in situ y satelitales (curvas gris y roja en el panel superior). Los símbolos +/- indican el signo de los gradientes de temperatura. Los datos fueron medidos a lo largo del trayecto o transecta indicado en el mapa del panel inferior, que presenta una imagen satelital de temperatura del 26 de marzo de 2006.

acentuada biomasa de fitoplancton asociada con esa zona se atribuye a los nutrientes contenidos en las aguas que surgen de la profundidad a la superficie del océano.

El gradiente térmico en la superficie del frente es más intenso entre aproximadamente las latitudes 39° y 44°S, aunque ello varía según la época del año. Estudios recientes muestran la estrecha relación de la posición e intensidad del frente con la distribución de organismos asentados en el fondo marino, como la mencionada vieira patagónica.

Dada la importancia ecológica del frente, y debido a que variaciones de corto plazo en su dinámica pueden ser de vital importancia para las especies que le están asociadas, es importante conocer su variabilidad estacional y entender los procesos que la gobiernan. Recientes observaciones han revelado que el área del borde de la plataforma y comienzo del talud frecuentemente se caracteriza no por una sino por varias ramas de aguas frías, cada una con un ancho de pocas decenas de kilómetros y separadas por bandas más angostas de aguas relativamente cálidas. Esas ramas frías representan núcleos de corriente y deben estar asociadas con valores más altos de velocidad hacia el norte de aguas relativamente frías.

## Datos satelitales y detección de ramas y frentes térmicos

La temperatura superficial del mar puede medirse en forma indirecta desde satélites, empleando instrumentos llamados *radiómetros*, que captan la radiación electromagnética de la superficie en la banda del infrarrojo (figura 2). Esa forma de medir ofrece la ventaja de cubrir grandes extensiones del océano en forma rutinaria, y solo está limitada por la presencia de nubes. Las mediciones diarias de esas temperaturas hacen evidente que la corriente de Malvinas se divide con frecuencia en ramas, por ejemplo, una que fluye a lo largo de la isobata de 200m y otra cerca de la de 1000m. La segunda suele coincidir con el núcleo de la corriente. La posición media mensual del frente se ha determinado sobre la base de dieciocho años de datos satelitales tomados aproximadamente cada 10km (figura 3).

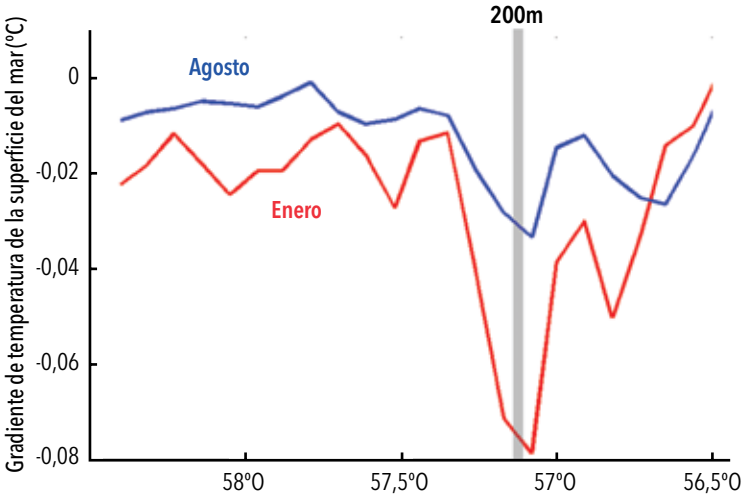



**Figura 3.** Promedio del gradiente de temperaturas (en °C/km) de la superficie del mar para los meses de agosto y enero de 1985 a 2002 en la latitud de 41°S y entre 56,5 y 58,5°O. La línea gris indica la isobata de 200m.

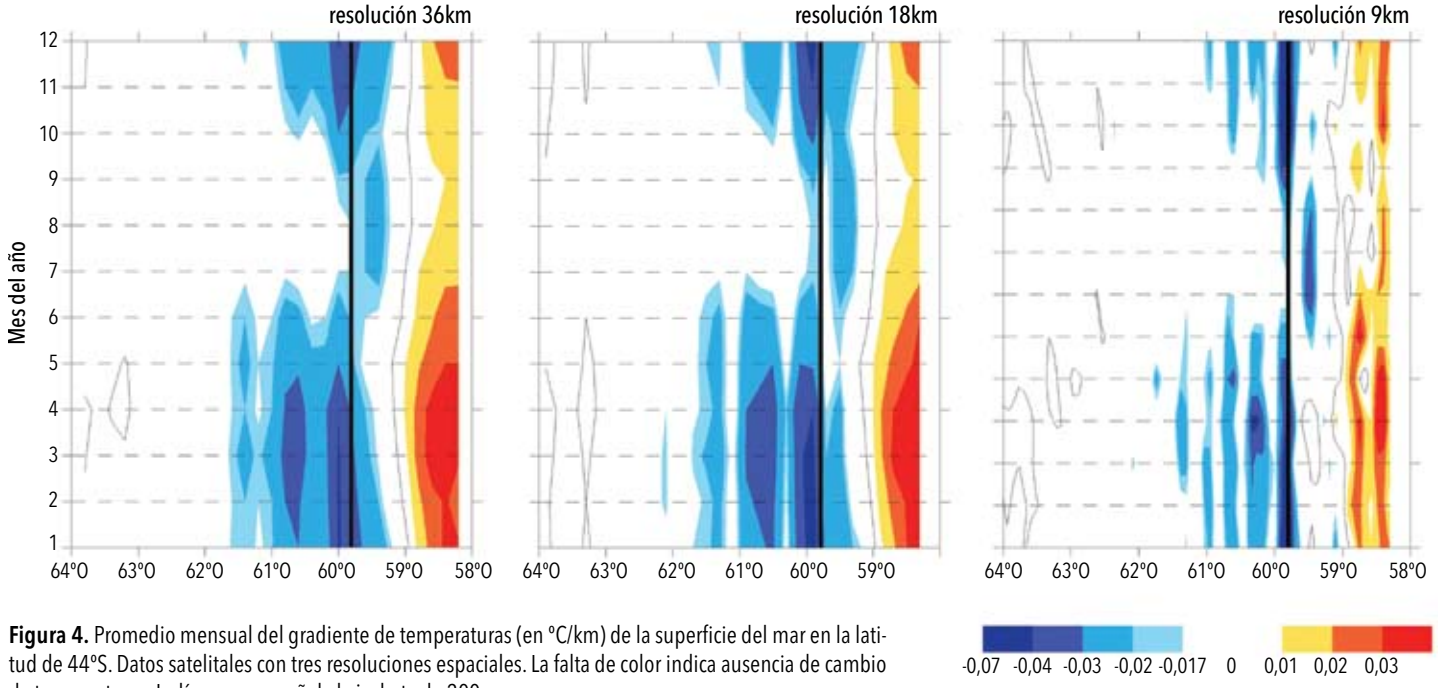



**Figura 4.** Promedio mensual del gradiente de temperaturas (en °C/km) de la superficie del mar en la latitud de 44°S. Datos satelitales con tres resoluciones espaciales. La falta de color indica ausencia de cambio de temperaturas. La línea negra señala la isobata de 200m.

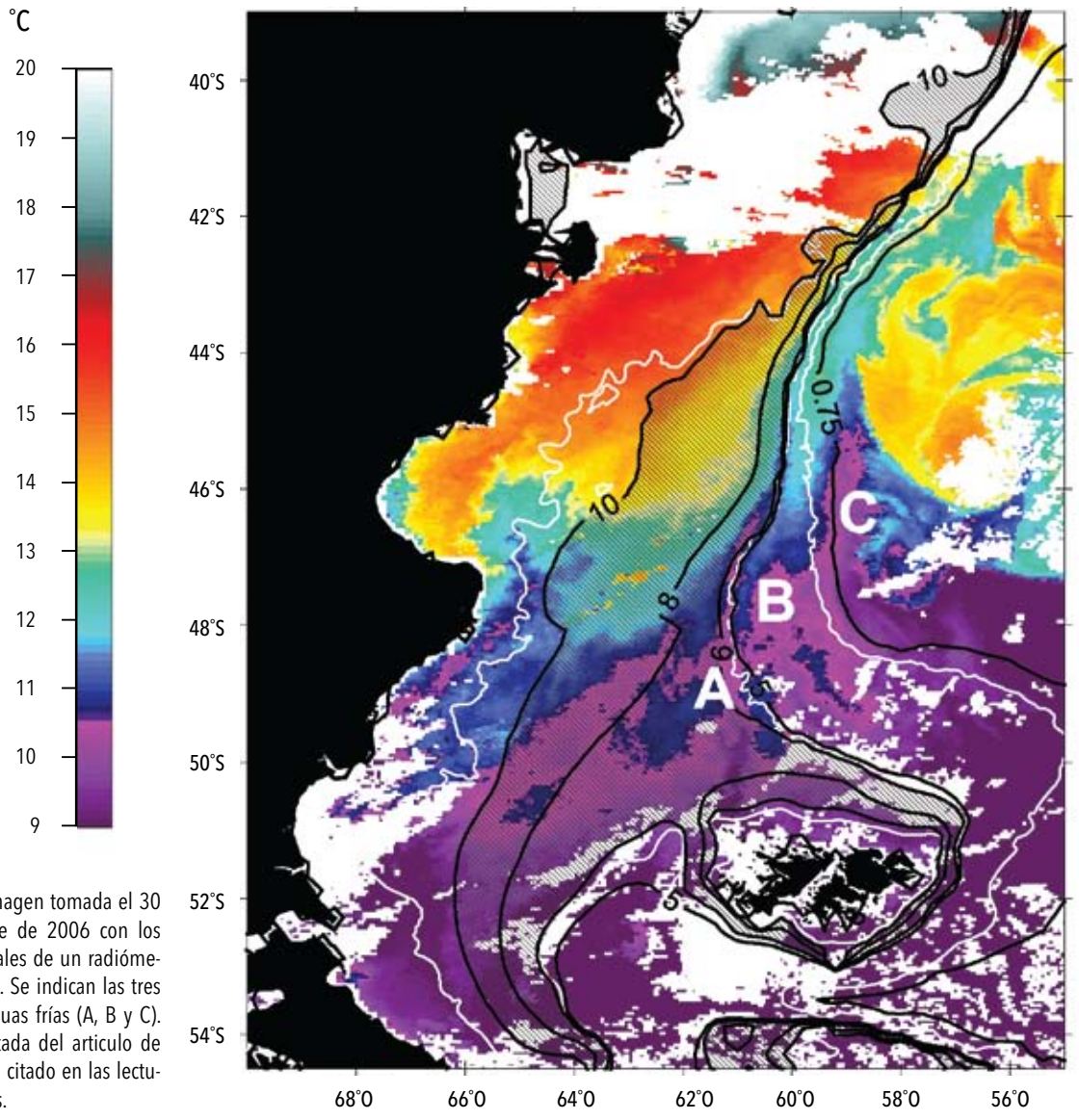



**Figura 5.** Imagen tomada el 30 de diciembre de 2006 con los datos satelitales de un radiómetro infrarrojo. Se indican las tres ramas de aguas frías (A, B y C). Figura adaptada del articulo de Franco ***et al.*** citado en las lecturas sugeridas.

Entre las latitudes indicadas de 39° y 44°S, el frente se caracteriza por máximos gradientes térmicos (mayores que 0,02°C por kilómetro) siguiendo aproximadamente la isobata de 200m. Una excepción ocurre a los 40°S, donde el frente se encuentra sobre la isobata de 100m. En algunos meses del año y en los extremos norte y sur del sistema frontal se identificaron los máximos gradientes térmicos alejados de la isobata de 200m. En esas áreas se registran intensos y persistentes gradientes térmicos durante gran parte del año, que no coinciden con dicha isobata de 200m, y gradientes térmicos más suaves (menos de 0,02°C por kilómetro) a unos 40km al oeste del talud. Entre primavera y otoño, al sur de 40°S, se observa que esos gradientes forman un frente persistente y continuo paralelo al del talud.

La figura 4 indica los gradientes térmicos calculados mediante datos satelitales correspondientes a la latitud de 44°S. Con datos tomados cada 36km (o con una *resolución espacial* de 36km) es posible distinguir groseramente entre diciembre y junio tres frentes térmicos sobre el borde de la plataforma y del talud. Sin embargo, con esa resolución, e incluso con una de 18km, es difícil detectar el frente en invierno (entre julio y septiembre) al este de la isobata de 200m. Con esos datos se podría concluir que el frente se desplaza hacia el este durante el invierno. Con mayor resolución espacial (9km) se advierte la presencia en invierno de otro sistema frontal, al este del talud, que corresponde a la rama fría de la corriente de Malvinas sobre la isobata de los 1000m.

El estudio de datos oceanográficos sugiere que la capa superior de la corriente de Malvinas se divide en dos ramas: una gira hacia el este y retorna hacia el sur, mientras que la otra, ubicada más al oeste, continúa hacia el norte a lo largo del talud continental. Las investigaciones de los autores de la presente nota los llevan a pensar que los frentes fríos detectados con el análisis de las temperaturas de la superficie marina revelan la presencia de esas dos ramas (indicadas como B y C en la figura 5), que siguen aproximadamente los contornos batimétricos. Revelan también una tercera rama sobre la plataforma,

indicada con A en esa figura, que no parece tener el mismo comportamiento.

## Los frentes y la ecología de las especies marinas

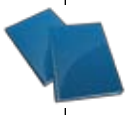
El carácter persistente de fuertes gradientes térmicos en la superficie del mar sobre el borde de la plataforma y del talud y la existencia de procesos de *surgencia* (el afloramiento en la superficie de aguas profundas) que les están asociados forman ambientes favorables para diversos organismos marinos. El frente ubicado más al oeste se localiza próximo a la posición media de los contenidos máximos superficiales de clorofila observados sobre el borde de la plataforma durante la primavera y el verano.

La presencia de ese frente al oeste del talud podría favorecer la retención en la superficie de las aguas de la corriente de Malvinas cerca del talud, lo que daría lugar a una franja de aguas ricas en nutrientes entre ambas zonas frontales. Al sur de los 40°S y al oeste de la isobata de 200m, los autores han encontrado una rama adicional de agua fría, que también se advierte al norte de esa latitud en otoño.

El frente del talud cumple una importante función en el ciclo de vida de una gran variedad de especies marinas. Por ejemplo, estudios recientes sugieren que la extensión en el sentido este-oeste de bancos de vieira patagónica coincide con la distancia de desplazamiento estacional de ese frente. Esa extensión también coincide con la distancia entre las posiciones medias del frente de talud y del que está ubicado más al oeste. Estos resultados sugieren que la rama de aguas frías observada al oeste de la isobata de los 200m podría también ejercer una importante influencia en la ecología de la zona marina. CH

Este trabajo es producto de estudios financiados por el Instituto Inter-Americano para el Estudio del Cambio Global, que recibe recursos de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, la Universidad de Buenos Aires y la firma Glaciar Pesquera brindaron apoyo adicional. Los datos de temperatura fueron obtenidos del *Physical Oceanography Distributed Active Center / Jet Propulsion Laboratory*, de la NASA.

## LECTURAS SUGERIDAS



**ACHA EM y MIANZAN H**, 2006, 'Oasis en el océano: los frentes costeros del Mar Argentino', Ciencia Hoy, 16, 44-56.

**FRANCO BC, PIOLA AR, RIVAS AL, BALDONI A & PISONI JP**, 2008, 'Multiple thermal fronts near the Patagonian shelf break', *Geophysical Research Letters*, 35, L02607, doi:10.1029/2007GL032066.

**PIOLA AR & GORDON AL**, 1989, 'Intermediate waters in the southwest South Atlantic', *Deep Sea Research*, 36:1-16.

**SARACENO M, PROVOST C & PIOLA AR**, 2005, 'On the relationship between satellite retrieved surface temperature fronts and chlorophyll-a in the western South Atlantic', *Journal of Geophysical Research*, 110, C11016, doi:10.1029/2004JC002736.



Nasa.gov

Ciencia Hoy Volumen 14 número 82 agosto - septiembre 2004

**Alberto R Piola**
Investigador del Conicet en el Servicio de Hidrografía Naval

**Osmar O Möller Jr.**
Fundação Universidade Federal do Rio Grande

**Elbio D Palma**
Investigador del Conicet en la Universidad Nacional del Sur

# El impacto del Plata sobre el océano Atlántico

## ¿Qué ocurre con el agua de río cuando llega al océano?

Los ríos impactan en el océano de múltiples formas, e influyen sobre sus características físicas, químicas y biológicas. El alcance del agua de mezcla entre el río y el océano determina las condiciones ambientales de la zona costera y de los seres vivos que la habitan. Las características del estuario, donde las aguas de origen continental encuentran a las vastas aguas oceánicas, son descriptas en otro artículo publicado en este volumen ('El estuario del Plata: donde el río se encuentra con el mar'). La influencia del Plata se manifiesta también a grandes distancias del estuario y este es el objeto del presente artículo. Por ejemplo, la observación esporádica de especies subantárticas y pingüinos en las playas del Brasil sugieren la influencia de una corriente fría desde el sur. ¿Podrían estas corrientes tener alguna relación con el Plata?

Los ríos descargan en el mar agua 'dulce' y gran cantidad de elementos de origen continental, por ello producen un fuerte impacto en la zona costera. El agua de

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los habitantes de la región costera desde la provincia de Buenos Aires en la Argentina hasta Río Grande, en el sur del Brasil, saben que en enero el agua de mar es casi 10°C más cálida que en julio. Lo que llama la atención es que en esta región se presentan las mayores variaciones estacionales de temperatura de todo el Atlántico Sur. Un observador algo más perceptivo notaría también cambios de color en su superficie de acuerdo con la época del año. Para explicar estas observaciones se ha especulado acerca de la existencia de frecuentes incursiones de agua fría, originadas en la corriente de Malvinas. En este artículo se presentan evidencias que sugieren que las más importantes alteraciones ambientales a lo largo de una franja costera de más de 1000km se deben a la variable influencia de las aguas que el Río de la Plata derrama sobre el océano Atlántico.

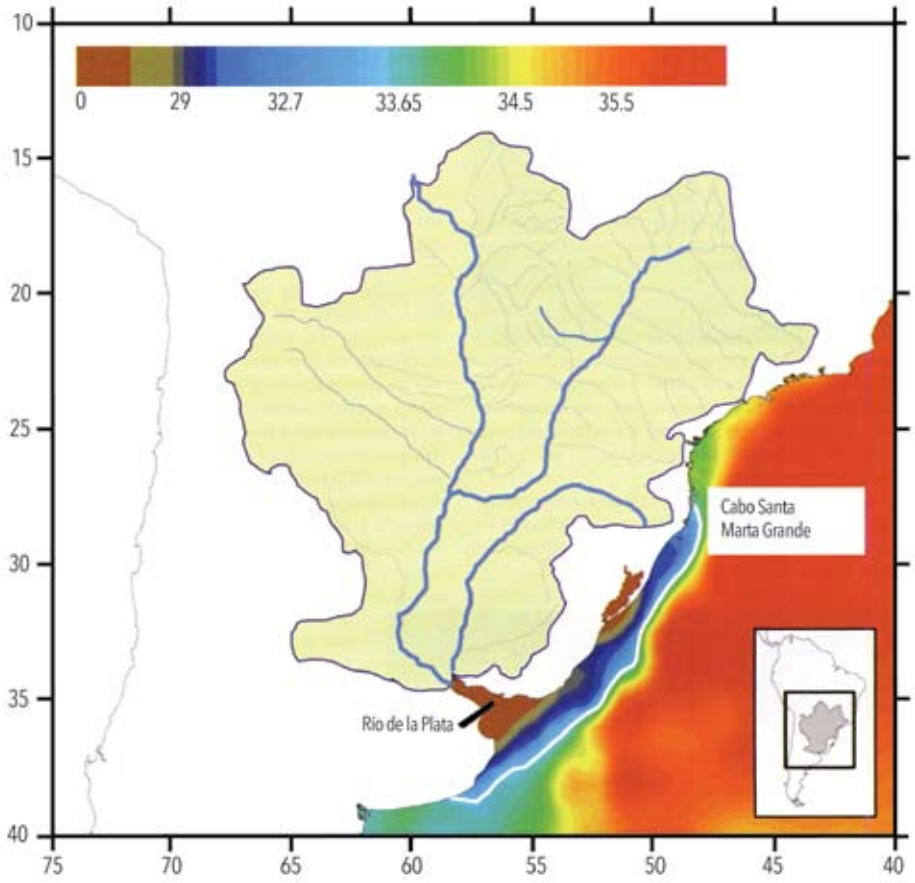



**Figura 1.** Cuenca del Plata, incluyendo los principales tributarios, y distribución superficial de salinidad en invierno. La escala de colores indica los valores de salinidad en el océano. Nótese la lengua de baja salinidad (tonos azules) que se extiende desde el estuario del Plata a lo largo de las costas del Uruguay y el Brasil.

río contiene baja concentración de sales disueltas, lo que definimos como salinidad. Lejos de las costas la salinidad del océano varía entre 34 y 38 gramos de sal por kilogramo de agua. Sin embargo, cerca de la desembocadura de grandes ríos, donde las aguas de origen continental se mezclan con agua de mar, la salinidad es considerablemente menor, y alcanza valores inferiores a 20. El agua de baja salinidad producto de esta mezcla tiene también menor densidad que el agua de mar y, por lo tanto, forma una capa relativamente delgada y produce lo que llamamos estratificación vertical. Aquí llamaremos 'pluma' al área de influencia de las aguas de río, la que tiene la característica de salinidad menor a la del agua oceánica circundante. En esa región los vientos arrastran las aguas superficiales y son también la principal fuente de energía disponible para mezclar verticalmente las aguas diluidas y el agua de mar. En la zona costera la descarga de agua dulce que proviene de los ríos crea la estratificación vertical y la mezcla vertical producida por el viento y, en menor medida la marea, la destruye.

Entre otros elementos, los ríos arrastran nutrientes al mar, que incluyen fertilizantes empleados en actividades agrícolas, como nitratos y fosfatos. En el mar la baja concentración de nutrientes suele limitar el crecimiento de algas marinas microscópicas en suspensión en el agua (que componen el fitoplancton). En consecuencia, la mayor disponibilidad de nutrientes aportados por los ríos a las zonas costeras suele estimular el desarrollo de la vida marina.

Cada segundo, el Río de la Plata descarga en promedio unos 22.000 metros cúbicos de agua de origen continental en el Atlántico Sur. El agua proviene de las cuencas de los ríos Paraná/Paraguay y Uruguay (figura 1), la segunda en extensión en Sudamérica después de la del Amazonas, y la cuarta en el mundo. La cuenca del Plata abarca unos 3.100.000km$^2$, que incluyen regiones remotas, como las nacientes del río Pilcomayo en el noroeste boliviano, en la cordillera central y las sierras al nordeste de Brasilia, que se encuentran a más de 2500km de la desembocadura. La sierra do Mar, próxima a la costa del SE del Brasil, impide el flujo directo de las aguas de lluvia hacia el océano y estas se derraman hacia la cuenca del Plata. Por ejemplo, las aguas de los ríos Tietê y Pinheiros, que atraviesan la ciudad de San Pablo, situada a menos de 50km del Atlántico, recorren más de 2800km para alcanzar el océano recién después de llegar al Río de la Plata.

Las aguas diluidas por la descarga del Río de la Plata sobre la plataforma continental producen un fuerte impacto en el ecosistema marino. Por ejemplo, la abundancia de ciertas especies del fitoplancton y de larvas de anchoa de banco (*Pomatomus saltatrix*), que es la especie de mayor importancia en términos de volúmenes de captura del sur del Brasil, está ligada a la presencia de aguas diluidas en el área costera, y presenta variaciones relacionadas con la distribución espacial de las mismas. Durante los años en que las aguas costeras de baja salinidad tienen mayor presencia, en la plataforma continental se observa un sensible aumento en la captura de la sardina (*Sardinella brasilensis*) en el sur del Brasil. Si bien las aguas de origen continental modifican notablemente tanto la estratificación vertical como las corrientes y las características químicas y biológicas de la zona costera, los mecanismos involucrados no son bien conocidos.

Durante el otoño y el invierno, cuando predominan vientos del sudoeste, las aguas de baja salinidad influidas por la descarga continental del Plata se extienden sobre una banda angosta a lo largo de las costas del Uruguay y

del sur del Brasil, hasta más al norte de la isla de Florianópolis, ubicada a más de 1200km del estuario (figura 1). En ocasiones extraordinarias, pueden llegar al litoral paulista. En cambio, en primavera y verano la rama costera se retrae hasta la latitud de Río Grande, en las proximidades de la boca de la laguna de los Patos. En esta época del año las aguas de baja salinidad se extienden hacia el este, más allá del talud continental sudamericano, donde se mezclan con aguas superficiales de las corrientes de Brasil y Malvinas. Algunos sensores satelitales capaces de cuantificar los sedimentos en suspensión arrastrados por los ríos y los florecimientos del fitoplancton asociados al aporte de nutrientes confirman estas marcadas oscilaciones estacionales de las aguas costeras. Entre 1998 y 2002, los promedios para los meses de julio muestran una importante penetración de aguas de origen continental sobre una angosta franja litoral a lo largo de la costa del Uruguay y sur del Brasil (figura 2). En cambio, en enero el área de influencia del río se ensancha cerca del estuario y la franja costera se retrae considerablemente. Estos cambios en la distribución de aguas diluidas alteran las condiciones ambientales costeras.

## ¿Por qué varía la 'pluma' del Plata?

Existen tres factores principales que determinan la distribución de aguas diluidas por la desembocadura de un río en el océano: 1) la rotación de la tierra produce la fuerza denominada de Coriolis[1] que, en el hemisferio sur, desvía las aguas hacia la izquierda de la desembocadura; 2) el viento que actúa directamente sobre la capa superficial le transfiere parte de su energía, y 3) el caudal del río determina la cantidad de agua 'dulce' disponible para la mezcla con las aguas oceánicas. Por lo general los últimos dos factores presentan variaciones temporales que alteran la distribución de las aguas diluidas. En el área de influencia del Río de la Plata el viento predominante varía de acuerdo con la época del año, en verano sopla desde el NE y en invierno desde el SO. Estas variaciones del viento serían las principales responsables de los cambios estacionales observados en la distribución de las aguas diluidas antes descripta.

El caudal del Plata también presenta fluctuaciones significativas. Estas variaciones no tienen un carácter estacional bien definido. En los períodos de marzo a agosto de 1983 y de abril a mayo de 1998 se registraron los caudales más intensos del siglo XX. Durante estos períodos la descarga promedio superó los 60.000 metros cúbicos por segundo, casi tres veces el valor medio del caudal

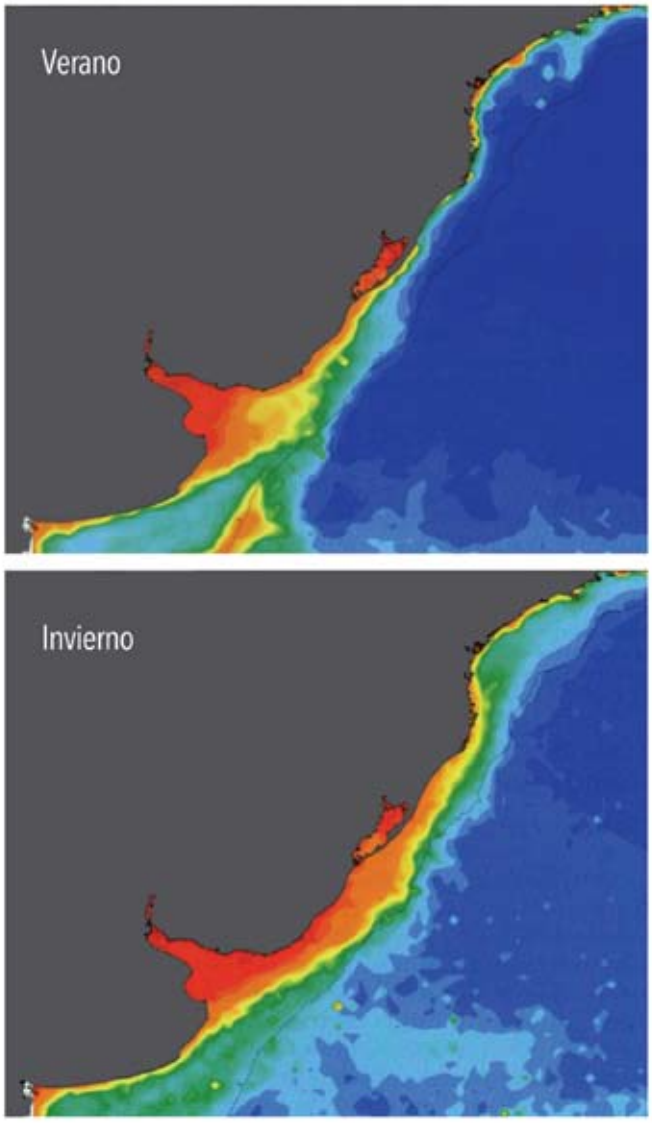


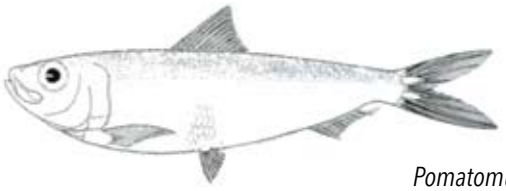

**Figura 2.** Imágenes satelitales de concentración de clorofila, promedios de enero (izquierda) y julio (derecha). Los colores rojos, amarillos y verdes indican valores decrecientes de clorofila satelital y el azul indica áreas de menor concentración. Esta variable refleja el efecto combinado de la concentración de clorofila y sedimentos en suspensión en la superficie, siendo máximos los valores asociados a la descarga del Río de la Plata. Nótese la marcada penetración de las altas concentraciones sobre una estrecha franja a lo largo de las costas del Uruguay y sur del Brasil durante el invierno. Compárese con la figura 1.

observado en los últimos cincuenta años. En contraste, en mayo de 1978 y entre diciembre de 1999 y enero de 2000, el caudal del Plata fue inferior a 12.000 metros cúbicos por segundo, es decir solo una quinta parte de los volúmenes más altos alcanzados. Varios estudios realizados durante la última década concluyen que el caudal del río Paraná, el principal tributario del Plata, presenta variaciones asociadas con El Niño. Así se denomina a un fenómeno climático que se origina en el Pacífico ecuatorial y que afecta gran parte del globo. Durante los años de El Niño se producen importantes alteraciones de los patrones climáticos 'normales', como sequías e inundaciones

1 En honor al ingeniero y matemático francés Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843). La fuerza de Coriolis aparece cuando referimos los movimientos de un cuerpo a un sistema de rotación, como es el caso de la Tierra.



*Sardinella brasilensis*



*Pomatomus saltatrix*





$$\text{Salinidad} = \frac{\text{masa de sal en gramos}}{\text{masa de agua en kilogramos}}$$

extraordinarias en diversos lugares del planeta. Durante esos períodos aumentan las precipitaciones en la cuenca del Plata y, en consecuencia, también el caudal del río. Los fenómenos de El Niño más intensos ocurrieron en 1982-1983 y 1997-1998, precisamente los años en los que el caudal del Plata fue máximo. Aún no conocemos con precisión de qué forma estos importantes aumentos del caudal del Plata afectan las condiciones ambientales de las aguas costeras. En teoría, durante los años de caudal alto, gracias a la mayor disponibilidad de agua dulce, se produciría un marcado aumento en la extensión de las aguas de baja salinidad. En consecuencia, durante épocas de grandes caudales, como los observados en años de El Niño, la salinidad superficial en el litoral del sur del Brasil debería disminuir. Sin embargo, los datos históricos disponibles indican que la extensión de aguas diluidas por la influencia del Plata no aumenta durante esos períodos sino que disminuye. Por ejemplo, la salinidad superficial del área próxima al cabo Santa Marta Grande, donde las variaciones estacionales de salinidad son máximas, es mayor en los años de El Niño, asociados a caudal alto, que en los años de caudal bajo, correspondientes a la fase opuesta de El Niño, denominada La Niña.



Draga para muestreos de sedimientos marinos.

Este comportamiento aparentemente contradictorio se debería a que en la cuenca del Plata, durante los períodos de grandes caudales, sobre la zona costera soplan con mayor frecuencia e intensidad vientos del nordeste. Debido al efecto producido por la rotación de la Tierra los vientos del nordeste actúan apartando las aguas de baja salinidad de la región costera hacia el océano abierto y reemplazándola por aguas más profundas y de mayor salinidad. Por lo tanto, independientemente de la época del año, la situación durante períodos de caudal alto es similar a la observada durante el verano. El aumento de las lluvias en la región subtropical de América del Sur, que incluye la cuenca del Plata, se debe, entre otros factores, a la mayor frecuencia de vientos del nordeste, que aportan mayor cantidad de humedad que en períodos de viento y caudal 'normales'. Los vientos predominantes del nordeste se extenderían también a la región costera, limitando así la extensión de las aguas de baja salinidad hacia el norte. Es decir que el mismo patrón de vientos que produce las lluvias intensas en la cuenca del Plata y el aumento del caudal del río limitaría la penetración de aguas de baja salinidad hacia el norte, a lo largo de la costa sudamericana.

Estudios recientes muestran que debajo de la capa superficial, ocupada por aguas de baja salinidad, se registra una abrupta transición entre aguas cálidas y de alta salinidad, de origen subtropical y aguas relativamente frías de origen subantártico. El frente se extiende hacia el sur, desde el área costera al norte de Río Grande, hasta el borde del talud continental.

Esta transición se denomina frente subtropical de plataforma. Las aguas frías ocupan casi la totalidad de la columna de agua en la plataforma continental patagónica y el litoral bonaerense, excepto el área de influencia del Río de la Plata. Es por ello que a profundidades de 100m, en los fondos marinos frente a la provincia de Buenos Aires viven moluscos, equinodermos y otros invertebrados, tí-

picos de ambientes litorales patagónicos. Por su parte, el agua subtropical de plataforma, diluida por la mezcla con aguas del Plata, ocupa la extensa plataforma brasileña al sur del cabo Frío. El frente podría ser también una barrera para la distribución de especies, limitando la extensión geográfica tanto de especies subantárticas como subtropicales, pero las observaciones biológicas en esta región todavía son escasas y no son concluyentes.

## La situación observada en invierno de 2003 y verano de 2004

La falta de observaciones en el área de transición se debe, parcialmente, a que esta está próxima a la frontera oceánica entre el Uruguay y el Brasil. Dado que históricamente la mayoría de los estudios realizados por estos países abarcaron solamente sus aguas territoriales, las observaciones no permiten describir adecuadamente la zona transición. Con el fin de determinar la variabilidad del impacto del Plata sobre el ecosistema de la plataforma continental, y evaluar los efectos de las variaciones del viento y la descarga continental, un equipo internacional de científicos de varias disciplinas diseñó un ambicioso proyecto de investigación que incluye la realización de campañas oceanográficas multidisciplinarias, relevamientos aéreos de salinidad, y un conjunto de modelos que simulan numéricamente las corrientes oceánicas de la región. El objetivo del proyecto es el estudio de las variaciones estacionales de la 'pluma' de agua de baja salinidad y del frente subtropical de plataforma, y sus impactos sobre la circulación, los procesos químicos y biológicos en la plataforma continental de Sudamérica.

En agosto de 2003 y febrero de 2004, se realizaron dos campañas oceanográficas a bordo de los buques oceanográficos *Puerto Deseado* y *Antares* respectivamente, y dos relevamientos aéreos de salinidad, que abarcaron más de 1500km a lo largo de la costa entre Mar del Plata (la Argentina) e Itajaí (Brasil). Durante estas campañas se cubrieron 174 estaciones oceanográficas sobre 11 secciones transversales a la costa (figura 3). En cada estación, donde el barco se detiene para hacer observaciones, se midió temperatura, salinidad, turbidez y concentración de oxígeno disuelto y nutrientes. También se realizaron observaciones de la radiación solar incidente y radiación emitida por la superficie del mar, y se tomaron 120 muestras de fondo para el análisis de organismos que viven en los sedimentos marinos y son sensibles a los cambios ambientales. En algunas estaciones seleccionadas se tomaron muestras de plancton mediante barridos verticales y horizontales empleando diversos tipos de redes.

Estas nuevas observaciones multidisciplinarias ilustran elocuentemente las dramáticas variaciones estacionales de las aguas de baja salinidad en la zona costera (figura 4). Por

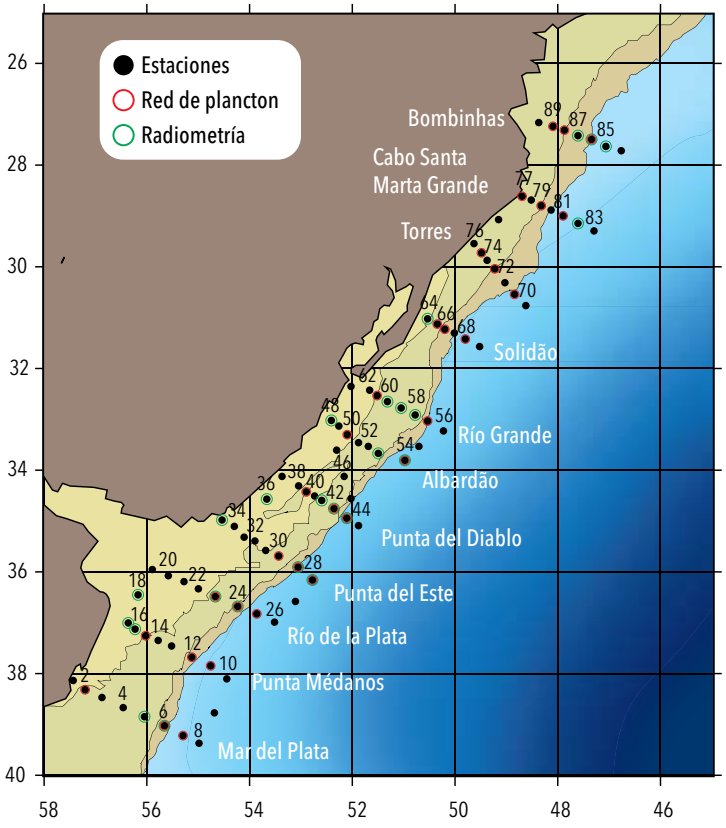



**Figura 3.** Actividades realizadas a bordo del buque oceanográfico *Antares* en febrero de 2004.



Maniobra con sonda CTD, utilizada para medir conductividad, temperatura y profundidad del agua.

ejemplo, en invierno de 2003 los rastros de las aguas del Plata, mezcladas con aguas de la plataforma continental, se extendieron más allá de los 26°S, sobrepasando el límite entre los estados de Santa Catalina y Paraná. En cambio, en febrero de 2004 no se halló rastro alguno de aguas del Plata más allá de Río Grande. La región donde se registran las mayores variaciones estacionales de salinidad superfi-

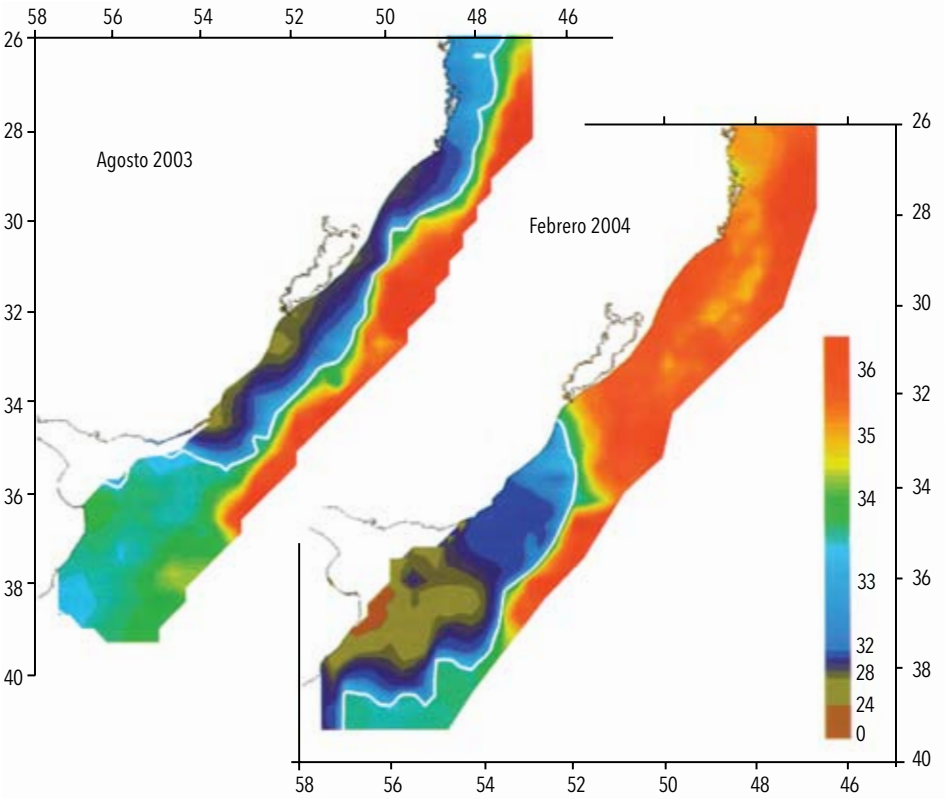



**Figura 4.** La salinidad superficial en las áreas de influencia del Plata en agosto de 2003 (izquierda) y febrero de 2004 (derecha). Las aguas de menor salinidad se indican con los tonos marrón y azul (ver escala de colores a la derecha). Nótese, en invierno, la extensión de las aguas diluidas por el Plata, más allá de 26°S.

cial abarca una franja costera de más de 800km de largo y tiene un ancho promedio de más de 100km. La figura 4 muestra que en invierno las aguas menos salinas (salinidad < 28) se extienden más de 500km a lo largo de la costa del Uruguay y sur del Brasil, desde la boca del Río de la Plata hasta más allá de Río Grande. En cambio, en verano estas se localizan frente a la boca del río, se extienden hacia el sudeste hasta unos 250km de Mar del Plata y alcanzan más de 160km al este del cabo Polonio. En invierno en cambio no hay rastros del Plata frente a Mar del Plata y la 'pluma' de agua diluida alcanza apenas unos 50km de ancho frente a las costas del Uruguay.

En el otoño e invierno de 2003 el caudal del Plata osciló entre 13.200 y 16.100 metros cúbicos por segundo, muy por debajo de los valores típicos, y en verano de 2004 osciló entre 16.200 y 25.400 metros cúbicos por segundo. Es decir que los cambios de caudal no parecen poder justificar las

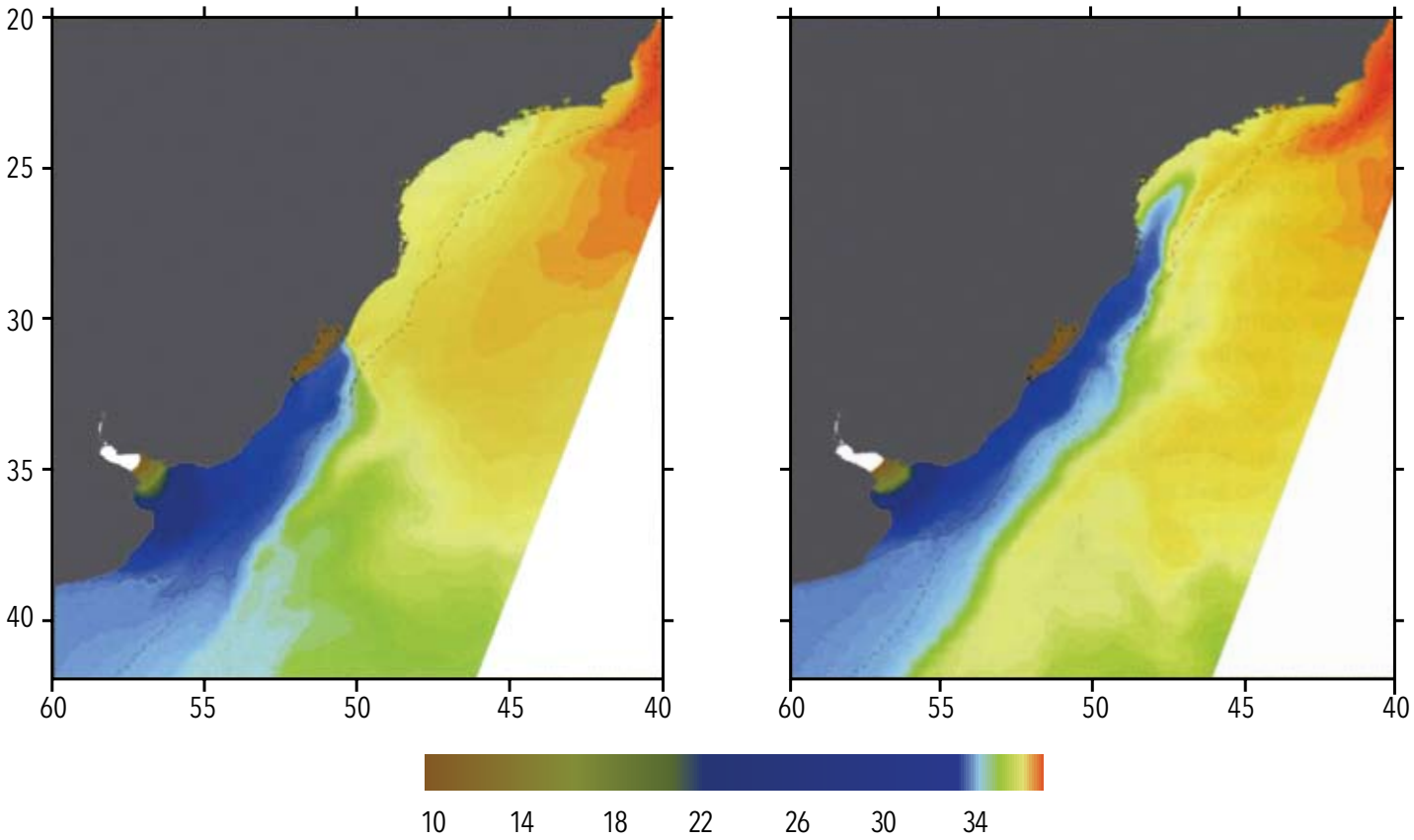


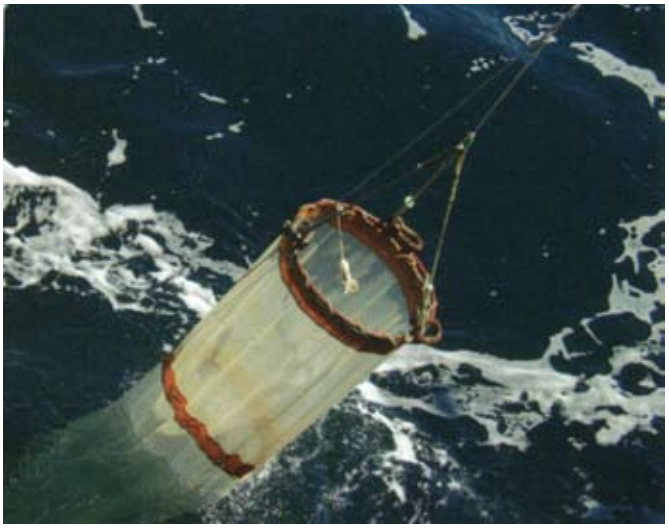

**Figura 5.** Salinidad de superficie simulada con el Princeton Ocean Model, para un caudal del Río de la Plata igual a 20.000m$^3$/s y vientos típicos de enero (izquierda) y julio (derecha).

grandes variaciones en la distribución de las aguas del Plata. Durante agosto de 2003 los vientos predominantes fueron intensos del sudoeste y contribuyeron a la propagación de agua diluida hacia el nordeste. En cambio en febrero de 2004 los vientos soplaron desde el nordeste y empujaron a las aguas del Plata hacia el sudoeste. Las nuevas observaciones confirman la hipótesis de que el viento ejerce una influencia dominante sobre las marcadas variaciones estacionales de la 'pluma' del Plata.

## Simulaciones numéricas

Con el fin de comprender más completamente las complejas interacciones entre las variaciones del viento y el caudal, y evaluar el efecto de otros factores como la topografía del fondo marino, las mareas, y los procesos de mezcla entre aguas del río y aguas oceánicas, también se están realizando simulaciones de las corrientes de la región. Estas se basan en modelos matemáticos que permiten determinar la velocidad y las propiedades del agua en función de leyes físicas, como la segunda ley de Newton, la conservación de la masa, el calor y la salinidad. Los modelos también requieren la especificación de los valores de las variables en los bordes del dominio y de las condiciones iniciales. Dado que no es posible hallar una solución analítica a las ecuaciones que describen la evolución temporal de los campos de velocidad, temperatura y salinidad, para su resolución se emplean métodos numéricos. La misma estrategia se emplea, por ejemplo, para estimar el estado de la atmósfera y producir pronósticos meteorológicos. En nuestras aplicaciones recurrimos a un modelo desarrollado en la Universidad de Princeton (Estados Unidos) a finales de la década de los 80 y que ha sido adaptado a la región costera del este de Sudamérica.

En la figura 5 se presenta la distribución superficial de salinidad media de invierno, producida a partir de una de estas simulaciones. En este caso aplicamos los caudales promedio del Río de la Plata y de la laguna de los Patos, y vientos medios de invierno determinados por el Centro Europeo de Pronóstico a Mediano Plazo. La distribución de la salinidad sugerida por el modelo presenta rasgos muy cercanos a la realidad. Las áreas de mayor salinidad corresponden a la corriente de Brasil (salinidad > 36), que fluye hacia el sur desde regiones de alta tasa de evaporación ubicadas en el Atlántico subtropical, más allá del límite norte de nuestro modelo. La corriente de Malvinas fluye hacia el norte con valores intermedios de salinidad (~34). En la plataforma continental el rasgo más sobresaliente es la descarga del Río de la Plata que forma la franja costera de baja salinidad que se extiende más allá del cabo Santa Marta Grande (salinidad < 33,5). La simulación de verano (figura 5), en cambio, presenta las aguas del Plata extendidas hacia el sur, apenas sobrepasando la desembocadura de la laguna de los Patos, en el sur del Brasil, también en concordancia con las observaciones de salinidad típicas de esta época del año. Si bien estas simulaciones numéricas reproducen los rasgos más notables del campo de salinidad sobre la plataforma continental, los modelos no están todavía correctamente calibrados como para producir pronósticos del estado del ambiente oceánico costero a partir de los datos de viento y caudal.



Red de plancton de arrastre horizontal.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO LAPLATA

- Determinar la importancia relativa del viento y la descarga de agua de baja salinidad por las descargas del Río de la Plata y las lagunas de los Patos/Mirim a lo largo de la plataforma continental.
- Establecer las condiciones en las cuales la temperatura y el color de la superficie del mar pueden utilizarse como indicadores de la distribución de aguas de baja salinidad.
- Investigar la influencia del frente subtropical de plataforma y la capa de baja salinidad sobre el componente planctónico del ecosistema pelágico.
- Investigar las conexiones dinámicas de la localización del frente subtropical de plataforma con la variabilidad de la descarga continental y las corrientes de Brasil y Malvinas.
- Identificar las posibles correlaciones entre las variaciones estacionales en el espesor y la extensión de la capa de agua de baja salinidad y el frente subtropical de plataforma con los procesos químicos y biológicos de la región. Ver *http://glaucus.fcien.edu.uy/pcmya/sacc/*



Preparación de una red de plancton.

## Los próximos pasos

Los modelos numéricos y las nuevas observaciones confirman algunas hipótesis acerca del papel que desempeñan las fluctuaciones en la intensidad y dirección del viento y el caudal de agua dulce sobre la distribución de aguas de baja salinidad en la plataforma continental, tanto a escala estacional como interanual. Pero las corrientes oceánicas responden a variaciones del viento en lapsos muy cortos, de apenas unos días, y dado que el viento también varía típicamente en pocos días, es probable que existan variaciones significativas de las corrientes superficiales en esa escala temporal. Nuestros estudios se han dirigido a comprender las variaciones de las corrientes y la distribución de aguas de origen continental en la escala estacional, ahora debemos abocarnos al estudio de las escalas temporales más cortas. ¿Cómo se altera la distribución de salinidad y nutrientes cuando pasa una tormenta sobre la región? ¿Puede un evento de este tipo alterar significativamente los patrones medios estacionales?

Hay múltiples evidencias de que la distribución del fitoplancton, la base fundamental de la cadena alimentaria marina, fluctúa de acuerdo con las condiciones de estratificación del agua y con la disponibilidad de nutrientes, indispensables para su desarrollo, y directamente ligados a la presencia de aguas diluidas. Sin embargo, la relación entre las condiciones ambientales y los niveles más altos de la cadena alimentaria, que ocupan generalmente las especies de mayor interés comercial, es considerablemente más compleja y aún no bien comprendida. También es importante investigar cómo las modificaciones en el ambiente costero afectan a los organismos vivos. CH

*Las fotografías fueron tomadas por C Balestrini, C Martínez, J Muelbert y O Möller. Las imágenes satelitales provienen del Projecto SeaWiFS del Goddard Space Flight Center (NASA, Estados Unidos) y fueron procesadas por S Romero. Estos estudios son financiados por el Instituto Inter-Americano para el Estudio del Cambio Global, la Oficina de Investigaciones Navales (Estados Unidos), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT99 07-06420), la Universidad de Buenos Aires (X084) y Universidad Nacional del Sur (F025).*

## LECTURAS SUGERIDAS

**FRAMIÑAN MB, ETALA MP, ACHA EM, GUERRERO RA, LASTA CA & BROWN OB**, 1999, 'Physical characteristics and processes of the Río de la Plata Estuary', en Perillo GM, Piccolo MC & Pino-Quivira M (eds.), *Estuaries of South America. Their Geomorphology and Dynamics*, Chapter 8, edited by, Springer-Verlag, Berlín, pp. 161-194.

**GUERRERO RA, LASTA CA, ACHA EM, MIANZAN HW** y **FRAMIÑAN MB**, 1997, *Atlas hidrográfico del Río de la Plata*, Comisión Administradora del Río de la Plata, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Buenos Aires-Montevideo.

**PALMA ED, MATANO RP** & **PIOLA AR**, 'Three dimensional barotropic response of the southwestern Atlantic shelf circulation to tidal and wind forcing', *Journal of Geophysical Research* (en prensa).

**PIOLA AR, CAMPOS EJD, MÖLLER OO JR, CHARO M & MARTÍNEZ C**, 2000, 'Subtropical shelf front off eastern South America', *Journal of Geophysical Research*, 105: 6566-6578.

Ciencia Hoy Volumen 8 número 45 marzo - abril 1998

**Horacio E Zagarese y Walter R Cravero**
Centro Regional Universitario Bariloche,
Universidad Nacional del Comahue

**Virgina Villafañe y Walter Helbling**
Estación de Fotobiología Playa Unión, Rawson

# Efecto de la radiación ultravioleta sobre los ecosistemas acuáticos

La radiación solar es la principal fuente de energía en la mayoría de los ecosistemas naturales. Las algas y las plantas verdes utilizan la energía radiante proveniente del sol para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas que toman del medio –o sea, que pueden realizar fotosíntesis–, por lo que así se convierten en la base de la vida en la Tierra (ver 'Agua, carbono, luz y vida', Ciencia Hoy, 27: 41-55, 1994). Sin embargo, la exposición a niveles altos de radiación solar, en particular de radiación ultravioleta, tiene efectos perjudiciales sobre la mayoría de los seres vivos (ver el recuadro 'Luz: ondas y partículas').

Apenas unas décadas atrás se consideraba que la radiación ultravioleta carecía de importancia como factor ambiental en los ecosistemas acuáticos, ya que se suponía que se absorbía totalmente en los primeros centímetros de la columna de agua. El descubrimiento del 'agujero de ozono' sobre la Antártida estimuló el desarrollo de mejores instrumentos de medición, algunos de ellos capaces de funcionar debajo del agua. Gracias a ellos hoy se sabe que la penetración de la radiación ultravioleta es mucho mayor, y que sus efectos biológicos resultan observables hasta decenas de metros de profundidad.

El ozono es uno de los factores que determinan la intensidad de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra (ver 'Radiación ultravioleta y ozono atmosférico', Ciencia Hoy, 9: 40-48, 1990) pero, una vez que ella ha penetrado en el agua, su atenuación depende fundamentalmente de la concentración de materia orgánica disuelta y de la cantidad de microorganismos presentes.

El hombre ha causado cambios sustanciales en el medio ambiente. La producción de *clorofluorcarbonos* ha resultado en una disminución de la concentración de ozono estratosférico, mientras que el aumento del efecto invernadero está alterando el balance de materia orgánica disuelta en los lagos (véanse el recuadro 'Ozono estratosférico y tro-

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Recién en los últimos años comenzamos a comprender algunos de los complejos procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en la interacción de la radiación ultravioleta con el medio acuático. A partir de ese conocimiento será posible evaluar con mayor certeza la vulnerabilidad de los ecosistemas y proponer acciones para disminuir el impacto que tienen las actividades del hombre sobre las barreras naturales a la radiación ultravioleta.

posférico' y el artículo 'Los clorofluorcarbonos y el ozono estratosférico: un problema global', Ciencia Hoy, 36: 51-61, 1996). Es decir que se puede prever un aumento de la radiación ultravioleta en el medio acuático a mediano y largo plazo. Esto podría afectar las cadenas alimentarias de algunos ecosistemas lacustres y marinos, y perjudicar, por ejemplo, la producción pesquera.

Otros factores, además del ozono estratosférico, condicionan la intensidad –o *irradiancia*– y la calidad –es decir, la *composición espectral*– de la radiación que llega a la superficie de la Tierra (ver el recuadro 'Factores que afectan la intensidad de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre'). Algunos de estos factores resultan sumamente variables y difíciles de cuantificar, por ejemplo, la nubosidad o el nivel y tipo de polución ambiental en áreas urbanas. Por este motivo, las estimaciones satelitales del nivel de ozono solo brindan una idea aproximada de la intensidad de la radiación que alcanza la superficie terrestre. Resulta imprescindible complementar las estimaciones satelitales con mediciones locales que se integren en redes de monitoreo. La Argentina ha sido precursora en la instalación de este tipo de estaciones de medición y desde 1994 se encuentra en funcionamiento la primera red latitudinal de monitoreo de radiación ultravioleta y visible de América Latina, con estaciones en Ushuaia (Tierra del Fuego), Playa Unión (Chubut), Buenos Aires y Huaico Hondo (Jujuy), a las cuales se sumará próximamente San Carlos de Bariloche (Río Negro).

La atenuación de la radiación ultravioleta en el medio acuático es el resultado de la combinación de los procesos físicos de absorción y dispersión. Un fotón que ha sido dispersado continúa libre para seguir interactuando con el medio hasta ser definitivamente absorbido por el agua, otras sustancias en solución, o partículas u organismos en suspensión.

La proporción de fotones absorbidos por cada metro de agua es constante. Por ejemplo, si en el primer metro la radiación se reduce del 100% al 10%, en el segundo metro se reducirá del 10% al 1%. Por lo tanto, cuando se grafican los datos de radiación versus profundidad en una escala semilogarítmica se obtiene una línea recta, cuya pendiente representa el coeficiente de atenuación para la longitud de

## LUZ: ONDAS Y PARTÍCULAS

Lo que habitualmente conocemos por luz no es otra cosa que radiación electromagnética. La fuente más importante de esta radiación es el movimiento acelerado de los electrones que forman parte de los átomos. La luz visible constituye una pequeña porción de la amplia familia de ondas electromagnéticas (figura I); otras formas que también nos resultan familiares son, por ejemplo, las ondas de radio, las microondas, los rayos X y la radiación ultravioleta. Los diferentes nombres que les damos solo son producto de una clasificación histórica, ya que solamente se diferencian en la *longitud de onda y frecuencia* (figura II). Sin embargo, esta diferencia es crucial a la hora de establecer sus propiedades, en particular, las que tienen que ver con la emisión y absorción de la radiación electromagnética.

Las ondas electromagnéticas transportan energía; cuando inciden sobre la materia, dicha energía se transmite a los átomos. Para comprender cómo estas se absorben y emiten luz, la descripción ondulatoria de la luz no es suficiente. Una descripción en términos de partículas –o fotones– resulta mucho más apropiada en este caso. Los fotones son paquetes de energía electromagnética, absorbidos o emitidos por los átomos en cantidades discretas. La energía que lleva uno de esos fotones depende de la frecuencia de la radiación electromagnética en cuestión: a mayor frecuencia, mayor energía por fotón.

Podemos considerar que los electrones se encuentran orbitando los núcleos atómicos en órbitas fijas. Cuando un átomo absorbe un fotón, uno de sus electrones cambia de órbita (decimos que el átomo se *excita*); para que esto suceda la energía del fotón debe coincidir con la energía necesaria para que el electrón cambie de órbita. Luego de ser absorbido, el fotón puede ser reemitido, el electrón involucrado vuelve a su órbita original y el átomo abandona el estado excitado. Sin embargo, si durante el tiempo en que el átomo está excitado se produce una colisión con un átomo vecino, la energía puede transferirse como movimiento, y el átomo puede abandonar el estado excitado sin emitir. En este caso, el fotón se habrá absorbido definitivamente, cediendo su energía. Los fotones de la radiación ultravioleta poseen suficiente energía como para excitar a la mayoría de los átomos, y aun arrancarles electrones –*ionizalos*– en ciertos casos. Radiaciones más energéticas, como los rayos X y gamma, provocan la expulsión

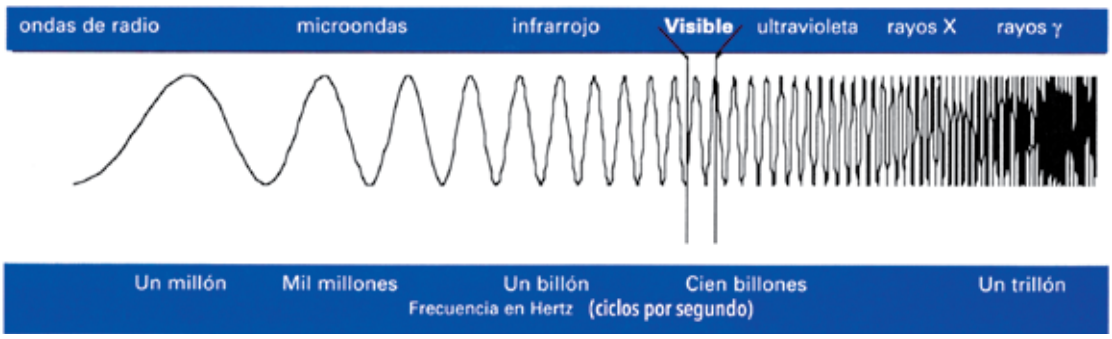



**Figura I.** El espectro electromagnético es una gama continua de ondas que abarca desde las ondas de radio hasta los rayos gamma.

onda considerada. En la figura 1 se muestra la atenuación de la radiación ultravioleta para distintos tipos de agua. En esa figura se observa que la penetración de la radiación ultravioleta es mucho mayor en los lagos de alta montaña y en el océano abierto que en lagos de planicie o en las zonas marinas costeras, las cuales poseen un mayor contenido de materia orgánica disuelta.

Los efectos de la radiación ultravioleta sobre los organismos vivos dependen tanto de la irradiancia como del tiempo de exposición. La radiación recibida por organismos *sésiles* –fijos a un soporte o *sustrato*– puede calcularse con bastante precisión a partir del coeficiente de atenuación del agua y mediciones de la irradiancia en superficie. En el caso de organismos móviles, como el *plancton*, los cálculos de la radiación recibida son mucho más complicados ya que estos organismos están expuestos a intensidades de radiación fluctuantes. En el medio marino, la posición del *fitoplancton* –o sea, la comunidad integrada por microalgas– dentro de la columna de agua está determinada por las características físicas de la masa de agua. Como el fitoplancton se desplaza dentro de la denominada *capa superficial de mezcla*, está expuesto a una variación continua de radiación. Recordemos que esta capa es la parte superior de un cuerpo de agua, y que se halla expuesta a la acción del viento y las olas. La 'mezcla' que se produce origina una capa de agua homogénea en cuanto a temperatura y salinidad y, por consecuencia, su densidad también es uniforme.

Para caracterizar las fluctuaciones de radiación a las que se ven expuestos los organismos planctónicos, debemos conocer su amplitud, determinada por la profundidad de la capa superficial de mezcla, y su frecuencia, determinada por la velocidad dentro de ella. Ambos parámetros, amplitud y frecuencia, varían de un lugar a otro y dependen además de ciertas condiciones meteorológicas, por ejemplo, la velocidad del viento. En zonas polares, como consecuencia de los fuertes vientos dominantes, la capa superficial de mezcla alcanza un espesor de alrededor de 100 metros de profundidad, mientras que en las zonas tropicales su espesor varía entre 10 y 30 metros.

Para estudiar los efectos de la radiación solar sobre el plancton, nuestro grupo ha realizado varios experimentos simulando el movimiento de los organismos inducido

de gran cantidad de electrones del medio que atraviesen. Es esta propiedad la que las hace tan peligrosas para los seres vivos. Cuando un átomo reemite la radiación electromagnética que ha incidido sobre él, habitualmente no lo hace en la misma dirección de la radiación incidente, sino que emite luz en múltiples direcciones. Este fenómeno se conoce como *dispersión de Rayleigh*. Las moléculas de oxígeno y nitrógeno, que constituyen la mayor parte de la atmósfera, dispersan de este modo la radiación solar. Como la magnitud de la dispersión de Rayleigh es inversamente proporcional a la longitud de onda de la radiación, la dispersión de la radiación ultravioleta es mayor que la visible. Dentro de esta última, los componentes violeta y azul son los que más se dispersan, mientras que los colores rojos son los menos afectados por el fenómeno. Esa es la razón de la apariencia azul del cielo; lo que vemos no es otra cosa que luz reemitida por los átomos de oxígeno y nitrógeno excitados a su vez por la luz directa del Sol. Por la misma razón, la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra es, en una proporción importante, radiación difusa proveniente, no del disco solar en forma directa, sino del resto del cielo.

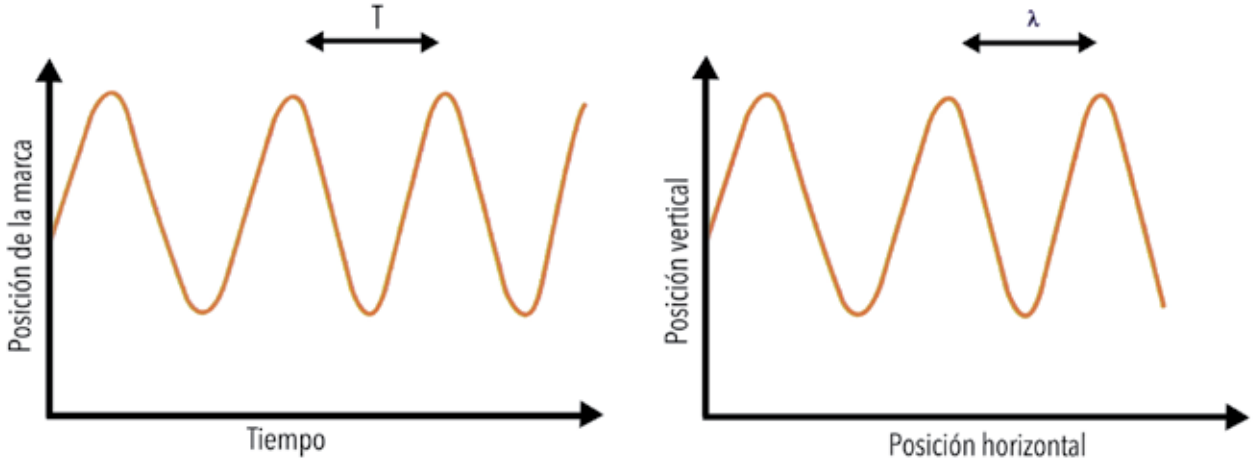



**Figura II.** Podemos imaginar una onda como oscilación en el tiempo y en el espacio. Si observamos el movimiento que realiza, por ejemplo, una marca en una cuerda que hacemos oscilar, veremos que esta sube y baja. Si representamos ese movimiento en un gráfico, obtendremos algo similar al gráfico de la izquierda. El tiempo que transcurre para que la marca vuelva a la misma posición es el período; la inversa del período es la frecuencia. Si, en cambio, le sacamos una fotografía a la cuerda en un determinado instante, lo que observaremos es algo similar al gráfico de la derecha. La distancia entre las crestas consecutivas es lo que denominamos *longitud de onda*. Para cualquier onda, se cumple que a mayor frecuencia, menor longitud de onda.

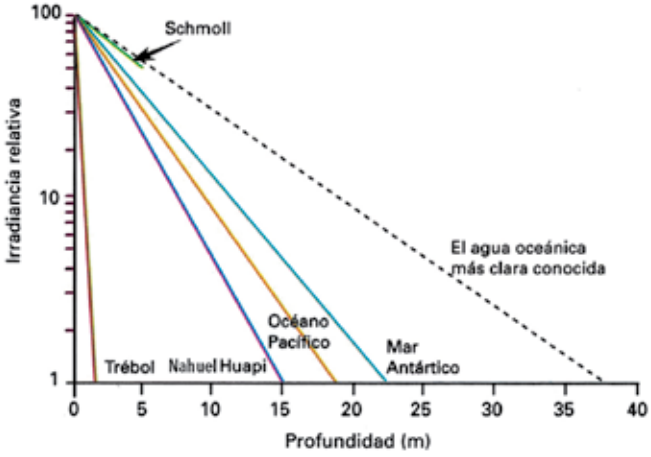



**Figura 1.** Atenuación de la radiación ultravioleta (λ = 305nm) para diferentes lagos de la zona de Bariloche y su comparación con mares costeros (océano Pacífico, Mar Antártico) y con el océano abierto. La intersección de las líneas con el eje horizontal indica la profundidad a la cual llega el 1% de la radiación incidente en la superficie. La línea correspondiente al lago Schmoll se corta a causa de que su profundidad es solo de cinco metros.

por la circulación de agua en un lago poco profundo. Los resultados indicaron que la cantidad de radiación a la que están expuestos los organismos móviles es muy superior a la que recibirían si permanecieran fijos a una profundidad media comparable.

Hemos convivido desde siempre con la radiación ultravioleta; más aún, se considera que ella ha jugado un papel fundamental en el origen de la vida en nuestro planeta.

## OZONO ESTRATOSFÉRICO Y TROPOSFÉRICO

La capa de atmósfera más cercana a la superficie se llama *troposfera* y tiene un espesor de unos 10km. En la tropofera la temperatura disminuye con la altura hasta los -70°C. Luego sigue otra capa de unos 10km dentro de la cual la temperatura se mantiene más o menos constante. Por ese motivo se la denomina *tropopausa*. Por encima de esta y hasta los 50km de altura se extiende la *estratosfera*. La circulación entre la troposfera y la estratosfera está relativamente restringida por la tropopausa, que actúa como una barrera.

El *ozono estratosférico* se forma principalmente en la región ecuatorial de la estratosfera, desde donde luego se distribuye al resto de ella. Este proceso ocurre en forma natural.

Las principales fuentes del ozono troposférico son el ozono estratosférico transportado hacia abajo por movimientos atmosféricos que consiguen atravesar la tropopausa, como la *convección tropical* o *frentes* en latitudes medias, y la fotodisociación natural y antropogénica de dióxido de nitrógeno, por radiación ultravioleta, que tiene lugar en la troposfera. Muchas de estas reacciones involucran la fotooxidación de productos químicos, como monóxido de carbono, metano y otros hidrocarburos. Por este motivo, la producción de ozono troposférico aumenta en áreas densamente pobladas e industrializadas, donde la concentración de estos contaminantes es mayor.

A pesar de que esta radiación es necesaria para la síntesis de vitamina D y de que algunas algas pueden utilizar una porción del espectro ultravioleta en el proceso de fotosíntesis, la radiación ultravioleta afecta las complejas moléculas orgánicas de los seres vivos, debido a su elevada energía. Sus efectos son variados y dependen de la sensibilidad de cada especie. La radiación ultravioleta puede inhibir la fotosíntesis en muchas algas (induciendo simultáneamente una disminución de la cantidad de pigmentos fotosintéticos en las células), influye sobre la velocidad de crecimiento de los organismos, provoca alteraciones en las moléculas de ácido desoxirribonucleico –el ADN–, daña las membranas celulares y, además, afecta la capacidad de locomoción u orientación en los *ciliados* y *dinoflagelados* –organismos planctónicos que poseen un flagelo transversal y otro longitudinal–. Finalmente, y como resultado de todas las alteraciones mencionadas, una exposición prolongada a la radiación ultravioleta puede resultar en un incremento de la mortalidad de organismos muy sensibles.

La radiación ultravioleta puede provocar reacciones fotoquímicas que alteran la composición del medio e indirectamente afectan a los organismos. Esta radiación es la responsable de la formación de especies químicas altamente reactivas, como el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada ($H_2O_2$), radicales hidroxilos ($HO^-$), superóxidos ($O_2^-$), etcétera, que provocan daños en la estructura de las células y alteraciones de la fisiología celular (ver 'Antioxidante de origen vegetal', Ciencia Hoy, 44: 32-41, 1998).

Existe otro conjunto de reacciones fotoquímicas que produce modificaciones en la materia orgánica disuelta en los lagos, la cual proviene del ambiente terrestre circundante. Antes de llegar al agua, la materia orgánica ha estado expuesta a la actividad de los microorganismos del suelo. Puesto que las moléculas más pequeñas y lábiles son más susceptibles al ataque microbiano, la materia que finalmente llega al lago –denominada *sustancia amarilla*– está compuesta por moléculas relativamente grandes que resultan muy resistentes al ataque microbiano. Sin embargo, gracias a la acción de la radiación ultravioleta, la sustancia amarilla puede escindirse en moléculas de menor tamaño y, de esta forma, convertirse en un material aprovechable por bacterias y otros microorganismos. Este proceso produce una progresiva decoloración del agua del lago, lo cual constituye un interesante ejemplo de retroalimentación positiva: la radiación ultravioleta provoca la decoloración del agua, lo que a su vez se traduce en su mayor capacidad de penetración en la columna de agua (figura 2).

Otra consecuencia importante de la fotooxidación de la materia orgánica es la liberación de algunos elementos contenidos en la sustancia amarilla. En algunos casos, esta liberación tiene efectos positivos, ya que aumenta la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales, como el hierro; pero en otros casos puede resultar perjudicial, como cuando se liberan metales que resultan tóxicos aun en concentraciones extremadamente bajas.

Independientemente del aumento de irradiancia en superficie, provocado por la disminución de ozono estratosférico, cualquier factor que disminuya la concentración de materia orgánica provocará un aumento de la transparencia del agua que redundará en una mayor exposición de los organismos a la radiación ultravioleta. Un estudio reciente realizado en varios lagos canadienses ha demostrado que el aumento tanto de la acidez como de la temperatura del agua puede disminuir la concentración de materia orgánica disuelta. Ambas variables son perturbadas por el desarrollo de la sociedad; el aumento de acidez está directamente relacionado con la lluvia ácida que afecta la mayor parte de las regiones templadas del hemisferio norte (ver 'Lluvia ácida', Ciencia Hoy, 9: 34-39, 1990), mientras que los cambios de temperatura están relacionados con el aumento del efecto invernadero. Se ha hallado que un aumento en la acidez del agua provoca la precipitación de la materia orgánica, mientras que la relación entre esta y la temperatura no es tan directa. En el estudio que relatamos, el aumento de temperatura estuvo acompañado por una disminución de las precipitaciones en el área, lo cual se tradujo en una menor *escorrentía*, o sea que disminuyó el drenaje del agua desde la cuenca terrestre hacia los cuerpos de agua. El resultado neto fue una disminución del transporte de materia orgánica hacia los lagos.

Los seres vivos hemos desarrollado una serie de mecanismos para acotar los efectos negativos de la radiación solar. El más obvio consiste en evitar o minimizar la exposición a la radiación solar tanto como sea posible. Una persona puede permanecer en el interior de su hogar o a la sombra de un árbol; de la misma manera, los organismos acuáticos pueden buscar refugio en la profundidad del agua. Sin embargo, no siempre es posible, ni conveniente, evitar la exposición al sol. El caso más evidente es el de las algas planctónicas, que utilizan la luz del sol para sintetizar moléculas orgánicas a través del proceso de fotosíntesis. Si bien las algas utilizan longitudes de onda dentro del espectro visible, su dependencia de la radiación solar las obliga a exponerse a la radiación ultravioleta. Las especies típicas de ambientes muy expuestos suelen estar mejor adaptadas a altos niveles de radiación. Por ejemplo, las especies tropicales son mucho más resistentes que las especies de las zonas polares, ya que en los trópicos no solo es mayor la irradiancia en la superficie sino que, como ya se mencionó, la capa superficial de mezcla es menos profunda.

Aun cuando la exposición a la radiación ultravioleta sea inevitable, a veces es posible minimizar sus consecuencias. Los seres humanos nos cubrimos con ropa y utilizamos cremas o filtros solares. Además, el bronceado nos protege, ya que nuestro organismo ha respondido aumentando la producción de melanina, la cual absorbe gran parte de la radiación solar y evita que esta alcance tejidos más sensibles. Muchos organismos acuáticos son capaces de producir compuestos que tienen alguna función protectora, como es el caso de las pulgas de agua, que también generan melanina. Otros ejemplos de moléculas protectoras son los carotenos, presentes en *copépodos* –pequeños crustáceos–, que actúan como antioxidantes, y un grupo de sustancias conocido como MAA (por *mycosporine like aminoacids*). Los MAA constituyen una familia de compuestos que tienen un ciclohexeno unido a un grupo aminoácido o aminoalcohol; son solubles en agua y tienen un máximo de absorción entre 310 y 360nm.

Los carotenos y los MAA son producidos exclusivamente por algas y cianobacterias. Pueden ser sintetizados a gran velocidad por ciertas especies, dependiendo, en la mayoría de los casos, de la cantidad y calidad de radiación recibida anteriormente, es decir, de su historia lumínica. Los organismos que no son capaces de sintetizar sus propios compuestos protectores pueden incorporarlos a través de la dieta. Por ejemplo, los erizos de mar acumulan MAA en sus gónadas y posteriormente los transfieren a sus larvas. Se ha observado que las larvas de erizos de mar cuya dieta es pobre en MAA son más sensibles a la radiación ultravioleta. Además, algunos organismos desarrollan una 'protección externa' –una cubierta calcárea o de celulosa, en ciertos casos– que ayuda a dispersar la radiación.

A veces no es posible evitar la exposición a la radiación solar, ni resulta posible disminuir el daño provocado por la exposición. En este caso todavía queda la posibilidad de reparar el daño producido. Algunos tejidos o estructuras celulares dañadas –por ejemplo, la epidermis, las membranas y los cloroplastos– pueden ser reemplazados, y las alteraciones causadas en el ADN pueden ser corregidas por enzimas especializadas.

Una de las lesiones más frecuentes que la radiación ultravioleta produce en el ADN es la formación de dímeros entre dos pirimidinas adyacentes (para consultar la estructura del ADN, véase 'ADN: una molécula maravillosa', Ciencia Hoy, 8: 26-35, 1990). Esta lesión puede ser reparada mediante un proceso llamado *fotorreactivación*, debido a que se requiere la presencia de luz. En el proceso interviene la

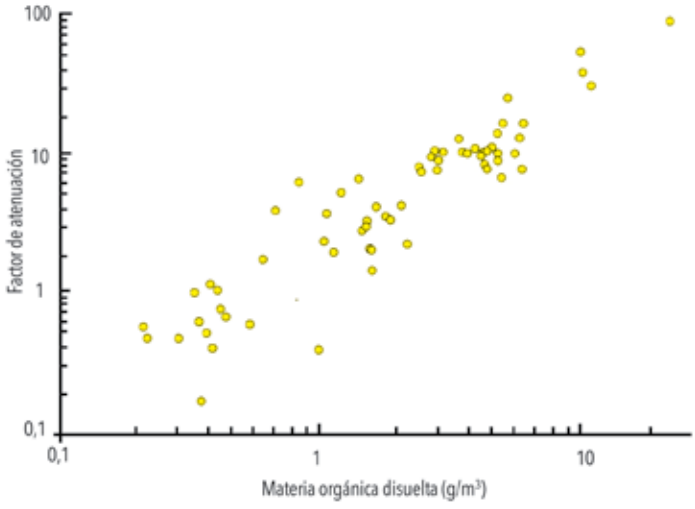



**Figura 2.** Atenuación de la radiación ultravioleta (λ = 305nm) en función de la concentración de materia orgánica disuelta en distintos lagos de la región andino-patagónica argentina y de América del Norte.

## FACTORES QUE AFECTAN LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA QUE LLEGA A LA SUPERFICIE TERRESTRE

• La intensidad de radiación ultravioleta producida por el Sol tiene leves variaciones, asociadas a su período de rotación aparente –27 días–, al ciclo de manchas solares –11 años– y a la aparición de protuberancias y explosiones en la fotosfera. Estas fluctuaciones afectan sobre todo los componentes más energéticos del espectro, que no llegan a la superficie terrestre. Sin embargo, pueden afectar el ciclo de producción y destrucción de ozono en la alta atmósfera, y en consecuencia, la transmisión atmosférica de otras porciones del espectro ultravioleta.

• Otro factor que determina la cantidad de esta radiación que llega a nuestro planeta es la distancia entre la Tierra y el Sol, la cual, debido a la forma elíptica de la órbita terrestre, oscila un 3,4% a lo largo del año. Como la atenuación de la radiación es cuadrática con esta distancia, el resultado es una variación de alrededor del 7% en la intensidad de radiación ultravioleta extraterrestre, y es máxima en diciembre, al comienzo del verano austral.

• Se denomina *ángulo cenital* al que forma la dirección aparente del Sol con la vertical local. Este ángulo depende a su vez de la hora del día, la estación y la latitud del sitio. La influencia de este factor tiene dos aspectos, uno de ellos puramente geométrico, ya que el flujo de radiación que atraviesa una superficie cualquier varía con la orientación de la superficie. Si esta es paralela a la dirección de incidencia, el flujo de radiación es cero, mientras que si es perpendicular, resulta máximo. Además de este efecto, el aumento del ángulo cenital implica que la radiación tiene que atravesar una capa atmosférica más gruesa, y por consecuente su atenuación será mayor.

• Dentro de los factores atmosféricos, el más conocido es la atenuación que produce la capa de ozono (ver 'Radiación ultravioleta y ozono atmosférico', Ciencia Hoy, 9: 40-48, 1990). Podemos dividir este fenómeno en dos fases; en la primera, una molécula de oxígeno absorbe radiación –*h*ν representa un fotón– de longitud de onda (λ) menor de 240nm y se disocia. Este *oxígeno atómico*, con ayuda de alguna otra molécula, forma ozono ($O_3$):

$$O_2 + h\nu\ (\lambda \leq 240nm) \rightarrow 2O$$
$$3O + x \rightarrow O_3 + x$$

La segunda parte consiste en la disociación del ozono mediante la absorción de más radiación ultravioleta, pero esta vez de longitud de onda más larga:

$$O_3 + h\nu\ (\lambda \leq 320nm) \rightarrow O + O_2$$

La porción del espectro que comprenden longitudes de onda entre 240 y 320nm no se absorbe uniformemente, por lo que algo de radiación ultravioleta de $\lambda > 290nm$ llega a la superficie terrestre. Esta banda es justamente la más seriamente afectada por la disminución de las concentraciones de ozono estratosférico.

• La atenuación de la radiación solar no solo se produce por absorción sino también por la denominada dispersión de Rayleigh. En el fenómeno de dispersión, el fotón involucrado no desaparece sino que es desviado en su dirección de propagación (ver el recuadro 'Luz: ondas y partículas'). La distribución angular de la radiación dispersada es simétrica, lo que implica que la probabilidad de que la luz sea dispersada en alguna dirección 'hacia arriba' es equivalente a la de ser dispersada en alguna dirección 'hacia abajo'. Para la porción ultravioleta del espectro, la dispersión de Rayleigh resulta importante hasta el punto de que más del 40% de la irradiancia de 300nm que llega a la superficie terrestre no proviene directamente del disco solar –*radiación directa*– sino del resto del cielo –*radiación difusa*–.

• La fracción del cielo cubierto y el tipo de nubes afectan la *intensidad* y la *composición espectral* de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Este efecto es debido principalmente a la reflexión de la radiación ultravioleta por las gotas de agua o cristales de hielo que forman la nube. No siempre el efecto neto es la disminución de la irradiancia; en ocasiones, las nubes cubren gran parte del cielo, pero no ocultan el disco solar. En estas circunstancias, la radiación solar reflejada por la superficie terrestre hacia arriba es reflejada a su vez por las nubes nuevamente hacia la Tierra, por lo que así aumenta el nivel de irradiancia en la superficie.

• En áreas urbanas se producen concentraciones importantes de gases contaminantes a nivel de la atmósfera baja, entre ellos: ozono troposférico, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, que absorben radiación ultravioleta. El aumento de concentración de estos gases lleva a una disminución de la intensidad de radiación ultravioleta en las áreas urbanas, a pesar del debilitamiento de la capa de ozono estratosférico.

enzima fotoliasa, la cual se une a los dímeros de pirimidina en una reacción independiente de la luz. Luego se requiere un fotón cuya longitud de onda esté comprendida entre 300 y 500nm para que la enzima pueda donar un electrón al dímero. Esto último inicia una reorganización electrónica que finalmente restablece las dos pirimidinas intactas.

En este caso se observa que el daño producido por la radiación ultravioleta es mucho mayor cuando los organismos son irradiados exclusivamente con ella que cuando se los irradia simultáneamente con luz visible, como ocurre en la naturaleza. Aunque la fotoliasa está presente en la mayoría de los organismos acuáticos, incluyendo bacterias, algas, crustáceos y peces, en algunas especies no se observa fotorreactivación. En nuestros estudios con copépodos del género *Boeckella* hemos observado fotorreactivación en dos especies y ausencia en una tercera. Esta es-

pecie es muy sensible a la radiación ultravioleta, por lo que debe permanecer debajo de los 10 metros de profundidad en los lagos más transparentes. Otros organismos que no poseen mecanismos de fotorreactivación, como los virus y ciertas cepas mutantes de *Escherichia coli* –una de las bacterias que viven en nuestro intestino–, resultan muy útiles como dosímetros biológicos, ya que el daño observado en ellos es exclusivamente función de la dosis de radiación ultravioleta acumulada. Otro mecanismo de reparación del daño es el de escisión y reparación que se observa, por ejemplo, en algunos organismos planctónicos y ciertas especies de peces. Este mecanismo involucra un proceso de reconocimiento del daño, escisión y resíntesis del ADN en el sitio dañado con ayuda de la enzima ADN-polimerasa.

A pesar de esta batería de recursos, cuando el nivel de exposición a la radiación ultravioleta es grande, los mecanismos de reparación se ven desbordados: el daño se acumula y eventualmente sobreviene la muerte. Esto explica el hecho de que solo unas pocas especies altamente especializadas pueden habitar en lagos transparentes de alta montaña, que normalmente reciben niveles de radiación muy altos.

Las respuestas de los organismos a los cambios ambientales raramente son instantáneas. En muchos casos, dichos organismos son inicialmente vulnerables a la radiación ultravioleta, pero a lo largo de exposiciones sucesivas adquieren una mayor resistencia, es decir que se produce su *aclimatación*. Por ejemplo, la producción de algunos pigmentos fotoprotectores es gradual y depende de las condiciones de la exposición previa del organismo a la radiación. A medida que aumenta la presencia de estos pigmentos, los organismos se vuelven progresivamente más resistentes. En otros casos ocurre lo contrario, ya que existe un proceso de *sensibilización*. Al comienzo no se observa ningún daño aparente, pero si las condiciones de irradiación continúan, se observa cada vez un daño mayor. Es imprescindible tener en cuenta los procesos de aclimatación y sensibilización, particularmente en experimentos de corto plazo –menos de un día–, para no cometer groseros errores de interpretación.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es el tiempo de respuesta de los distintos procesos desencadenados por la exposición a la radiación ultravioleta. Por ejemplo, el daño de la molécula de ADN se produce en una fracción de segundo, pero el proceso de reparación insume minutos, y la producción de compuestos fotoprotectores demanda horas e incluso días. Cuando se estudian los efectos sobre poblaciones o sobre toda la comunidad, la escala de tiempo considerada debe ser aun mayor. Observar cambios en la tasa de crecimiento, la estructura de edades o la composición de especies puede demorar días o incluso varias semanas.

Durante la mayor parte de la historia, los cambios ocasionados por el hombre han tenido una dimensión relativamente local, o bien han sido graduales. En los últimos 150 años los efectos del desarrollo han adquirido una dimensión global y la velocidad de los cambios se ha acelerado enormemente. Al mismo tiempo, nuestra capacidad para recolectar y procesar información nos permite apreciar la magnitud de los cambios ambientales casi al mismo tiempo en que estos se producen.

El aumento de los gases responsables del efecto invernadero y de la disminución de la concentración de ozono estratosférico hace sentir sus efectos en regiones completamente alejadas de las zonas donde fueron librados. Es probable que la disminución de la capa de ozono, como también el calentamiento global, se traduzcan en un aumento de la radiación ultravioleta que llega a los ecosistemas acuáticos. Existen distintos mecanismos que la naturaleza puede utilizar para contrarrestar sus efectos negativos, aunque el menú de opciones disponibles varía de una especie a otra. Las diferencias entre especies pueden resultar en el reemplazo de unas por otras. Lo que hemos aprendido en los últimos veinte años nos permite ser más optimistas con respecto a la posibilidad de que se produzcan cambios catastróficos o colapsos en los ecosistemas acuáticos en el futuro inmediato, pero la capacidad de adaptación de los ecosistemas no puede de ningún modo confundirse con invulnerabilidad. CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**BIGGS RH & JOYNER MEB**, 1994, 'Stratospheric Ozone Depletion / UV-B Radiation in the Biosphere', *NATO ASI Series*, vol. 18, Springer-Verlag, Berlín.

**WEILER CS & PENHALE PA**, 1994, 'Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects', *Antarctic Research Series*, vol. 64. American Geophysical Union, Washington DC.

**WILLIAMSON CE & ZAGARESE HE**, 1994, 'Impact of UV-B Radiation on Pelagic Freshwater Ecosystems', *Archiv fuer Hydrobiologie*, vol. 43, E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

**YOUNG AR, BJOERN LO, MOAN J & NULTSCH L**, 1993, *Environmental UV Photobiology*, Plenum Press, Nueva York.




Buque de investigación *Puerto Deseado*, utilizado en los programas de cooperación entre la Argentina y Francia. Foto Conicet

Ciencia Hoy volumen 20 número 119 octubre - noviembre 2010

**Alejandro A Bianchi, Ana Paula Osiroff,**
**Carlos F Balestrini**
Servicio de Hidrografía Naval

**Alberto R Piola**
Investigador del Conicet en el Servicio de Hidrografía Naval

**Hernán Isbert Perlender**
Servicio Naval de Investigación y Desarrollo

# Atrapando $CO_2$ en el mar patagónico

## El $CO_2$ y el cambio climático

Los gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran presentes en la atmósfera terrestre en concentraciones bajas, pero tienen gran importancia climática ya que atrapan parte de la radiación que emite la superficie terrestre hacia el espacio exterior y por lo tanto tienden a aumentar la temperatura del planeta. Uno de los factores que intervienen en el cambio climático es la emisión antropogénica de estos GEI, a cuyo incremento se atribuye el aumento de cerca de 1°C observado en la temperatura media de la atmósfera en los últimos 150 años. Para evaluar la magnitud de este cambio de temperatura, tengamos en cuenta, por ejemplo, que durante la última glaciación, cuyo máximo ocurrió hace unos 18.000 años, la temperatura media global no descendió más que unos 2 a 4°C, pero tuvo efectos extraordinarios para la vida en la Tierra, la extensión de los hielos marinos y continentales, la circulación general de la atmósfera y los océanos e, incluso, para la geografía del planeta.

Pese a que solo constituye un 0,04% de la masa de la atmósfera, el dióxido de carbono ($CO_2$) desempeña un papel fundamental en su balance energético. La concentración de $CO_2$ en la atmósfera depende de grandes cantidades intercambiadas entre esta, la tierra, los océanos y

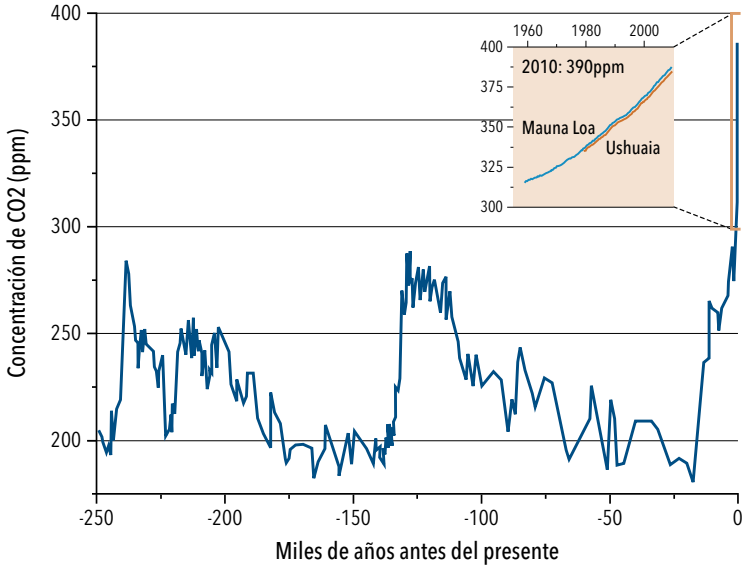



**Figura 1.** Evolución temporal de la concentración de $CO_2$ en la atmósfera en los últimos 250.000 años. Nótese que el máximo actual supera los máximos relativos ocurridos anteriormente (durante períodos glaciales). En la parte superior derecha, se observa la evolución en el tiempo de la concentración de $CO_2$ en la atmósfera en la isla de Mauna Loa (Hawai) en los últimos cincuenta años. La tendencia de aumento a partir de 2000 es de más de 2,1ppm/año. También se observa la concentración de $CO_2$ en Ushuaia, donde se advierte la misma tendencia.

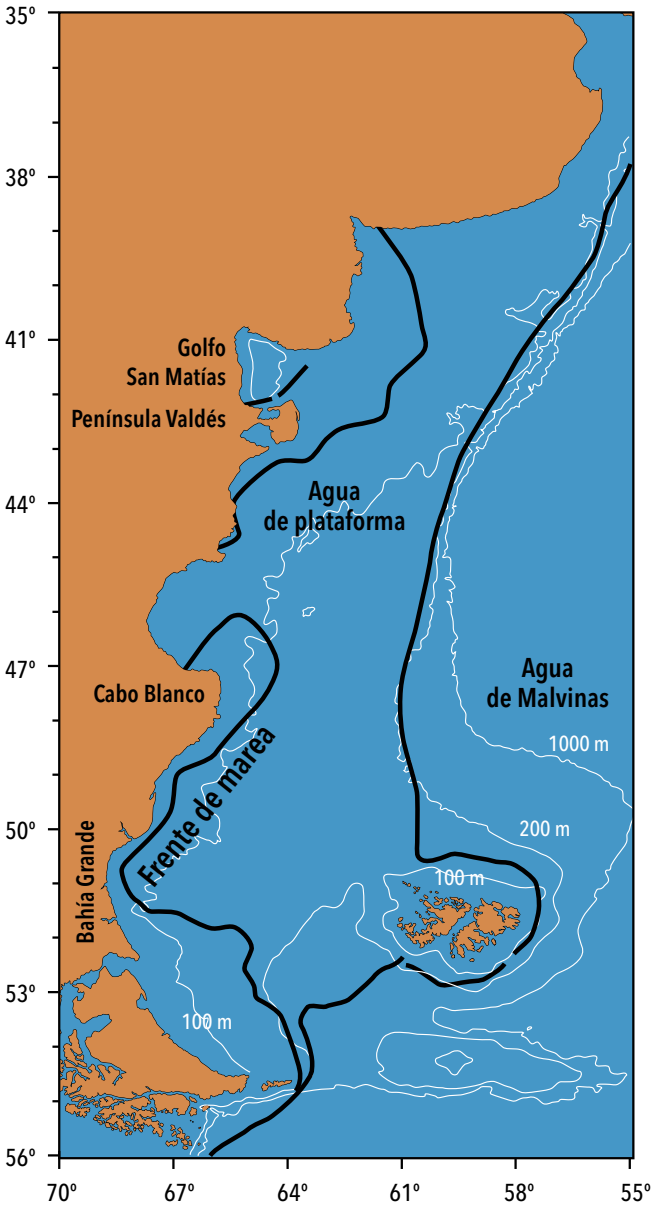



**Figura 2.** Posición del frente de marea y del frente de talud en el mar patagónico.

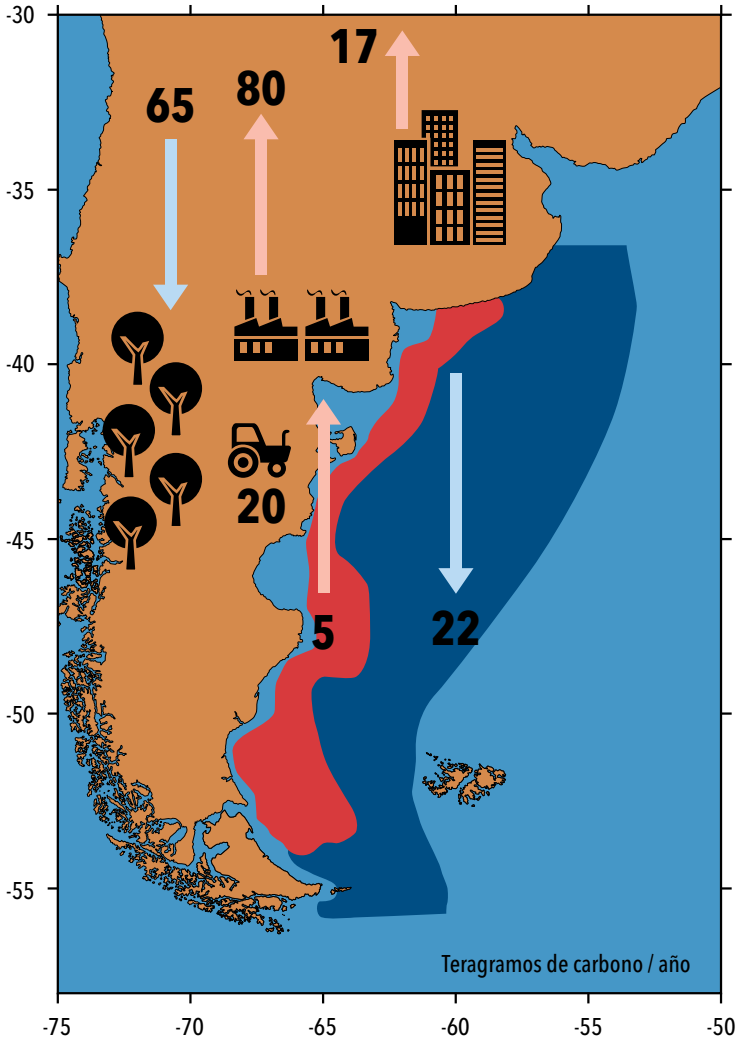



**Figura 3.** Esquema de las principales fuentes de emisión en la Argentina (flechas hacia arriba, color rosa) y de captura o sumidero de CO2 (color celeste), según sus orígenes, en Tg ($10^{12}$ g) de carbono. El uso residencial (edificios), el cambio en el uso del suelo (tractores) y la industria (chimeneas) son las principales fuentes de emisión, mientras que la vegetación (bosques) y el océano son las que capturan el CO2 atmosférico. Puede observarse que todo el CO2 emitido en el uso residencial en el país (que incluye la generación de electricidad, combustión de gas, etcétera) es equivalente a lo capturado por el mar patagónico.

la biota. La quema de combustibles fósiles desde el inicio de la revolución industrial, los cambios en el uso de la tierra a través de la deforestación, la adaptación de la tierra para la agricultura y otras actividades humanas han provocado el aumento del CO2 en la atmósfera de 280 a más de 380 partes por millón (ppm) a nivel global, lo cual se observa en la figura 1.

## La importancia del océano en el ciclo del carbono

El océano contiene aproximadamente cincuenta veces más CO2 que la atmósfera y el intercambio anual de CO2 entre ambos medios es, en términos absolutos, quince veces mayor que el producido en el mismo lapso por la utilización de combustibles fósiles y la deforestación. Consecuentemente, la concentración de CO2 en la atmósfera está gobernada principalmente no solo por los continentes sino también por los reservorios dinámicos representados por los océanos. Por lo tanto, para entender la naturaleza de los cambios de la concentración de CO2 en la atmósfera, es indispensable comprender de qué manera los procesos biológicos, físicos y químicos que tienen lugar en el océano determinan el sentido del intercambio entre el mar y la atmósfera.

En ausencia de otros procesos la concentración de CO2 en la superficie del mar tendería a equilibrarse con la concentración atmosférica y por lo tanto la concentración de CO2 en la superficie del mar presentaría un aumento similar al observado en la atmósfera. Sin em-

bargo, varios procesos influyen sobre la concentración de CO2 en el mar y por ende en el ciclo de carbono.

## La bomba biológica

Durante el proceso fotosintético las plantas emplean la luz solar para transformar carbono de la molécula de CO2 disuelto en carbono orgánico, siendo las algas marinas responsables de aproximadamente el 50% de la fotosíntesis planetaria. Por lo tanto, el consumo biológico de CO2 reduce la concentración del gas disuelto en el agua. En el océano, la mayor parte de este proceso se lleva a cabo en los primeros 100 metros de la columna de agua, donde la intensidad de la luz solar lo permite. Al mismo tiempo, la respiración de los animales y la descomposición de plantas y animales muertos son una fuente de CO2 en el mar y la mayor parte del carbono orgánico se descompone durante su hundimiento. Dado que la mezcla vertical en el mar está inhibida por la estratificación vertical (el agua profunda es más densa que el agua superficial), el regreso del CO2 a la superficie solo ocurre en algunas regiones donde el agua profunda asciende (aguas de surgencia). El carbono puede ser almacenado en el océano profundo y en los sedimentos marinos por largos períodos. Este movimiento de CO2 desde la superficie hacia el océano profundo es conocido como bomba biológica.

## El flujo mar-atmósfera de $CO_2$

El flujo de CO2 entre el océano y la atmósfera puede calcularse como el producto entre su solubilidad en agua de mar, la intensidad del viento y la diferencia de concentraciones de dicho gas entre el aire y el agua. En la práctica, las concentraciones dependen de las 'presiones parciales' en cada uno de los fluidos, o la presión que el CO2 ejercería si ocupara todo el volumen del fluido.

Dado que el CO2 en la atmósfera está bien mezclado, su presión parcial varía en un rango muy estrecho respecto de su valor medio (~5%). Esto implica que el aumento observado en Mauna Loa (Hawai), por ejemplo, es similar al observado en cualquier otro lugar en la Tierra, como se observa en la figura 1. Sin embargo, la presión parcial en la superficie del mar varía entre 200 y 530 microatmósferas (µatm), según las estimaciones más recientes. Por lo tanto, el sentido y la magnitud del flujo de CO2 entre el mar y la atmósfera son determinados mayormente por la magnitud de la presión parcial del gas en el océano.

## La importancia de los mares costeros

El rol de los océanos marginales o costeros en la absorción del CO2 es tema de discusión. Los mares que se extienden sobre las plataformas continentales y sus márgenes son una de las áreas biogeoquímicamente más activas de la biósfera, ya que reciben masivas descargas continentales de carbono y nutrientes que, a su vez, intercambian con la atmósfera y el océano abierto. Consecuentemente, las zonas marginales representan importantes contribuciones al ciclo del carbono. Por otra parte, el carbono es el elemento base en la construcción de vida. Las plantas terrestres y las algas marinas capturan CO2 y convierten esta forma gaseosa del carbono en productos orgánicos, como carbohidratos, proteínas,

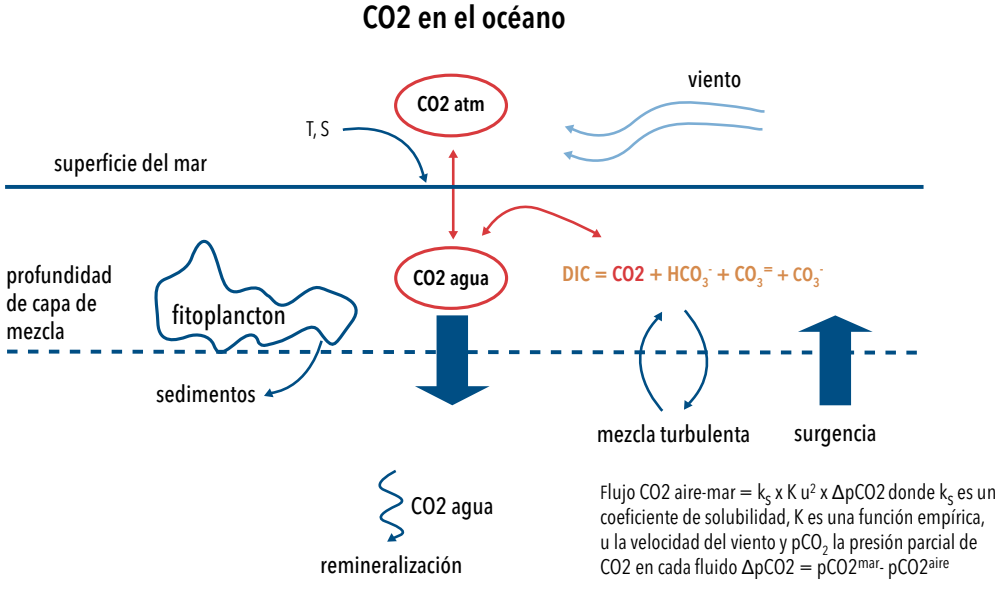



**Figura 4.** El esquema muestra los principales factores y procesos que intervienen en el ciclo del carbono en el océano.
T, S son la temperatura y la salinidad en la superficie del mar que determinan la solubilidad del CO2 como gas en el agua.
CO2 agua es la forma acuosa del dióxido de carbono disuelto.
DIC es el carbono inorgánico disuelto. El DIC en el mar está compuesto por CO2, el ácido carbónico ($HCO_3^-$), los carbonatos ($CO_3^-$) y bicarbonatos ($CO_3^{2-}$).
Las flechas gruesas indican el ascenso (surgencia) y el descenso de las aguas, mientras que las delgadas muestran el hundimiento del fitoplancton que desciende como detrito hacia los sedimentos del fondo. Parte del fitoplancton puede remineralizarse. Otro proceso involucrado es la mezcla turbulenta entre las masas de agua.

lípidos, etcétera. La mayor parte de la vida marina, desde las microalgas hasta las más importantes pesquerías, se desarrolla en los mares marginales.

Las mediciones de flujos aire-mar de $CO_2$ realizadas en distintos mares costeros y luego extrapoladas al total de las áreas marinas marginales, que representan apenas un 7% del océano global, indican que alrededor del 20% de la captura total de este GEI en el mar se produciría en dichas zonas. Existen, sin embargo, importantes discrepancias en estas estimaciones debido al aún pobre conocimiento del balance de $CO_2$ en esas áreas. Entre estos mares se destaca el mar patagónico, una de las más extensas plataformas continentales, que abarca una superficie de más de un millón de $km^2$.

## Los frentes oceánicos en el mar patagónico

La distribución del fitoplancton y de muchas especies marinas es bastante heterogénea y las mayores concentraciones parecen estrechamente ligadas a los llamados frentes oceánicos. Al igual que en la atmósfera, los frentes son regiones donde se observan cambios relativamente abruptos en las propiedades físicas y/o biogeoquímicas del mar en distancias relativamente cortas. En el mar patagónico existen principalmente dos tipos de frentes. Uno de ellos es el frente de talud (FT), que se encuentra entre las aguas de la corriente de Malvinas, que corre hacia el norte paralela al talud continental, y las aguas de plataforma, de menor salinidad (figura 2). Las mareas en la Patagonia son de las más energéticas del planeta y, por lo tanto, producen muy fuertes corrientes, que por fricción con el fondo marino mezclan verticalmente las aguas cercanas a la costa. A una cierta distancia de la costa, aumenta la profundidad y disminuye la velocidad de la corriente, por lo que la mezcla no es tan efectiva como para alcanzar toda la columna de agua. Consecuentemente se desarrolla estratificación vertical, en la que las aguas más calientes y livianas ocupan la parte superior de la columna de agua, mientras que las más frías y densas permanecen por debajo. La transición entre las aguas homogéneas y las estratificadas da origen, entre primavera y otoño, a los frentes de marea (FM), que son comunes en la boca del golfo San Matías, frente a la península Valdés, el cabo Blanco y en la zona de la bahía Grande.

## El balance de $CO_2$ en el mar patagónico: observaciones y resultados

Programas científicos de cooperación entre la Argentina y Francia permitieron medir las diferencias de presión parcial de $CO_2$ ($pCO_2$) y estimar los flujos mar-aire

El rompehielos *Almirante Irízar*.



del mismo gas sobre la plataforma continental patagónica y el talud continental adyacente. Las observaciones se obtuvieron a bordo del rompehielos *Almirante Irízar* y del buque oceanográfico *Puerto Deseado* entre marzo de 2000 y octubre de 2006. Los sistemas de medición de $CO_2$ se observan en las figuras 5 y 6. También se llevaron a cabo determinaciones de clorofila (Cl *a*) y de la estructura térmica y de salinidad, que fueron analizadas especialmente en los frentes con el objeto de relacionar estas variables con el balance de $CO_2$. Desde la primavera hasta el fin del otoño, las aguas costeras, mezcladas verticalmente, actuaron como una fuente de $CO_2$ hacia la atmósfera, mientras que en el resto de la plataforma, especialmente en los frentes oceánicos, se verificaron fuertes hundimientos o sumideros de $CO_2$ hacia el mar. Las mayores concentraciones de clorofila, que indican una mayor biomasa fitoplanctónica, se situaron en los sitios de mayor hundimiento de $CO_2$, sugiriendo que la fotosíntesis representa uno de los principales procesos de captura de $CO_2$ efectuada por el mar, resaltando la importancia de la 'bomba biológica'.

Para un desarrollo masivo del fitoplancton son necesarias ciertas condiciones ambientales. Entre estas, la luz, los nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos, etcétera) y una capa superior menos densa que las aguas más profundas son imprescindibles. Los flujos máximos de hundimiento de $CO_2$, causados por la fotosíntesis realizada por las algas, se observan en la primavera debido al florecimiento del fitoplancton marino. En esta época del año abundan los nutrientes, comienza a haber estratificación y el período de luz disponible aumenta de manera significativa. Inversamente, durante el invierno, cuando los días son más cortos y la estratificación desaparece debido al enfriamiento de la capa superior, existe un equilibrio entre la emisión y la captura de $CO_2$ en el mar. Los valores medios anuales del flujo de $CO_2$ entre el mar y la atmósfera muestran una captura de $CO_2$ por parte del océano muy por encima de los promedios correspondientes a otros mares. Estos valores indican que el mar patagónico secuestra cuatro veces más $CO_2$ ($4 mmol \cdot C \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$) que el promedio del océano global, en términos de balance anual, lo que la transforma en una de las regiones de mayor captura de $CO_2$ del planeta.



**Figura 5.** Sistema de medición de las presiones parciales de $CO_2$ en el agua de mar y en la atmósfera.



**Figura 6.** Un integrante del grupo de trabajo realizando determinaciones de alcalinidad y contenido total de $CO_2$ en muestras de agua. El sistema puede realizar las mismas en forma automática durante la navegación de la superficie de mar, pero permite también su utilización para el análisis de laboratorio.

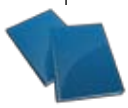
## Discusión

Existen diversos caminos para la mitigación de los efectos del incremento antropogénico de los GEI. Los bonos de carbono son un mecanismo internacional propuesto en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones de GEI y sus consecuencias nocivas sobre el medio ambiente. El sistema ofrece incentivos económicos para las empresas privadas que contribuyan a la mejora de la calidad ambiental suprimiendo o disminuyendo la emisión GEI generada por sus procesos productivos, mientras que las que emiten más de lo establecido quedarían sujetas a un régimen de penalidades. De este modo se considera el derecho a emitir $CO_2$ como un bien canjeable a un precio establecido en el mercado. Si bien la captura de dióxido de carbono realizada por el mar patagónico no es canjeable por bonos, la misma superaría los 600 millones de dólares anuales en el mercado antes descripto. En la figura 3, se observa un esquema de las emisiones y capturas de $CO_2$ en la Argentina. Esto da otra medida de la magnitud del hundimiento de $CO_2$ en nuestros mares.

A escala global la absorción oceánica neta de CO2 está conduciendo a un aumento de la concentración de CO2 y la de sus derivados inorgánicos, como el ácido carbónico, reduciendo el pH y causando la denominada acidificación del océano. La acidificación representa una amenaza para ciertas formas de vida marina, por ejemplo la decoloración y el deterioro de los corales que estaría asociado, en parte, al aumento del CO2. En ausencia de otras fuentes o sumideros, la captura neta de CO2 a través de la superficie observada durante un lapso de alrededor de siete años en el mar patagónico podría conducir a un aumento de la concentración del gas en el agua. Suponiendo que el CO2 se distribuya en forma homogénea en el mar patagónico, la presión parcial del gas debería haber aumentado. Sin embargo, debido a las significativas variaciones interanuales y estacionales de CO2, nuestras observaciones no permiten detectar con suficiente precisión la tendencia temporal. Si no existiera un aumento de CO2, cabe preguntarse cuál es el destino del gas absorbido en el mar patagónico. ¿Es el exceso de CO2 almacenado en el sedimento marino o 'exportado' al océano profundo?

Dada la magnitud de los intercambios de CO2 observados en mar patagónico, estos resultados abren nuevos interrogantes de importancia ambiental y económica a nivel regional y global. CH

## LECTURAS SUGERIDAS




**ACHA EM, MIANZAN HW, GUERRERO RA, FAVERO M & BAVA J,** 2004, 'Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes', *Journal of Marine Systems*, 44 (1-2), pp. 83-105.

**ACHA EM y Mianzan HW**, 2006, 'Oasis en el océano', Ciencia Hoy, 16, N° 92.

**BIANCHI A, RUIZ PINO D, ISBERT PERLENDER HG, OSIROFF AP, SEGURA V, LUTZ V, CLARA ML, BALESTRINI CF & PIOLA AR,** 2009, 'Annual balance and seasonal variability of sea-air CO2 fluxes in the Patagonia Sea: Their relationship with fronts and chlorophyll distribution', *Journal of Geophysical Research*, 114, C03018, 11PP., doi:10.1029/2008JC004854

**MULLER-KARGER FE, VARELA R, THUNELL R, LUERSSEN R, HU C & WALSH JJ,** 2005, 'The importance of continental margins in the global carbon cycle', *Geophysical Research Letters*, 32, L01602, doi:10.1029/2004GL021346.

**PALMA ED, MATANO RP & PIOLA AR,** 2004, 'A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing', *Journal of Geophysical Research*, 109, C08014, doi:10.1029/2004JC002315.

**ROMERO SL, PIOLA AR, CHARO M & EIRAS GARCÍA C,** 2006, 'Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data', *Journal of Geophysical Research*, 111, C05021, doi:10.1029/2005JC003244

**SARMIENTO JL & GRUBER N,** 2006, 'Carbon Cycle, CO2 and Climate', en *Ocean Biogeochemical Dynamics*, Princeton University Press, pp. 526.

**TAKAHASHI T** *et al.*, 2009, 'Climatological mean and decadal changes in surface ocean CO2, and net sea-air CO2 flux over the global oceans', *Deep-Sea Research*, II, 56, pp. 554-577.

Ciencia Hoy Volumen 14 número 81 junio - julio 2004

**Gerardo ME Perillo**
**M Cintia Piccolo**
Investigadores del Conicet en el Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca

# ¿Qué es el estuario de Bahía Blanca?

Los visitantes a la ciudad de Bahía Blanca suelen hacer estas preguntas y muchas otras similares, provocadas por un nombre que quizá asocien con playas de arena, palmeras y clima tropical. Pero, excepto para pescar tiburones, prácticamente nadie hace turismo ni se dirige por razones recreativas a ese estuario de costas fangosas y aguas marrones. Por otro lado, más de la mitad de la población de los partidos a los que pertenecen sus costas –es decir los de Bahía Blanca, Coronel Rosales y Villarino– jamás ha visitado el estuario, y un importante porcentaje de esa población ni siquiera sabe bien dónde está. Y no hablamos de la desembocadura de un pequeño arroyo perdido en la inmensidad de la costa patagónica, sino de un área de algo más de 3000km$^2$ que, en su tipo, es solo superada en extensión en la Argentina por el estuario del Plata. Además, tiene características biológicas, geomorfológicas y oceanográficas excepcionales. ¿Por qué este notable desconocimiento de uno de los accidentes costeros más llamativos del país, aun por parte de quienes viven en sus cercanías?

Principalmente porque ninguna de las localidades urbanas cercanas al estuario –las ciudades de Bahía Blanca y Punta Alta y los pueblos de General Cerri y Villa del Mar– está realmente ubicada en sus orillas. Solamente Ingeniero White, con su puerto, podría considerarse una localidad costera, aunque, en realidad, la visión del mar que tienen sus pobladores es en extremo escueta. Además, la población solo puede acceder con facilidad al estuario en unos pocos lugares de su costa norte. En el resto, la actividad humana se restringe a una escasa pesca, sea comercial, artesanal o deportiva, realizada desde embarcaciones menores, y a una limitada producción agropecuaria en determinadas islas. Actualmente se procura eliminar la última, debido a que el gobierno provincial declaró a gran parte del área reserva natural de usos múltiples.

Los locales llaman 'ría' al estuario, a pesar de que no posee los atributos que corresponden a las rías, como tampoco las propias de los fiordos. De hecho, muchos estuarios de la costa argentina además del de Bahía Blanca, como el canal Lavalle o la bahía San Antonio, son erróneamente denominados rías por los pobladores, una práctica

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Dónde está el estuario de Bahía Blanca? ¿Podemos caminar a lo largo de su costa? ¿Existe una rambla?

lingüística difícil de cambiar. Toda ría o fiordo, sin embargo, es propiamente un estuario, porque este es un término genérico que se aplica a los muchos cuerpos acuáticos parcialmente cerrados en los que se mezclan aguas dulces y marinas. Por ello numerosos accidentes costeros llamados con otros nombres pueden también denominarse estuarios, porque en ellos se mezclan aguas dulces y marinas. Pero no sucede lo inverso: no todos los estuarios son rías o fiordos, por lo que no corresponde darles esos nombres. Entre los que no encuadran en estas dos últimas categorías está el estuario de Bahía Blanca, cuya denominación específica es estuario de planicie costera (ver el recuadro 'Diferentes tipos de estuarios'). Los estuarios marcan la transición de los ambientes de aguas continentales a los marinos; son algo así como brazos de mar dentro del continente. En un sentido general, los límites de los estuarios vienen establecidos por límites de salinidad de las aguas más que por accidentes geográficos.

Se ha sugerido que el nombre de Bahía Blanca se debió a los marineros de la expedición de Magallanes de 1530, pues al divisar los médanos que bordeaban la costa o las salinas del fondo del estuario iluminados por el sol, los vieron aparecer de color blancuzco. Sin embargo, la primera utilización documentada de la denominación es la del piloto estadounidense Benjamín Morell que, en 1822, empleó la expresión White Bay en su libro de bitácora. En 1828, el coronel Juan Ramón Estomba recibió orden de Bernardino Rivadavia de instalar un fuerte en la bahía Blanca, cosa que hizo y fue el origen de la actual ciudad. Pero a pesar de las numerosas expediciones que pasaron por su boca antes de fines del siglo XVIII, ninguna se internó en el estuario debido a la existencia de bancos de arena –llamados deltas de reflujo– que cerraban las bocas de los canales mayores. Solo José de la Peña en 1794, que realizó su primer relevamiento sistemático, y Cándido de la Sala en 1806 (este posiblemente al mando del navío *Aránzazu*), penetraron por el canal principal y relevaron bancos e islas. En 1828 se publicó una *Carta geográfica de la provincia de Buenos Ayres*, en proyección Mercator, resultado de datos obtenidos en campañas de 1822 y 1823. En esa carta aparecen los nombres de caleta Brightman, bahía Falsa y bahía Verde.

El estuario tiene la forma aproximada de un triángulo rectángulo (figura 1), con un cateto en su boca hacia el mar y el otro formado por una línea que va del salitral de la Vidriera a Ingeniero White, Punta Alta y Punta Tejada. Entre esta y Punta Laberinto, los vértices del primer cateto, hay 53km que forman la boca del estuario, mientras que la longitud del canal principal –aproximadamente paralelo pero más corto que el segundo cateto– es de 67km. El área se puede describir como un conjunto de canales mayores (Principal, Bermejo, bahías Falsa y Verde, caleta Brightman) orientados en la dirección aproximada de noroeste a sudeste. Entre ellos hay islas, que las mareas no cubren, y humedales que resultan cubiertos por el mar por lo menos dos veces por día. Los humedales son de dos clases: planicies de marea y marismas, que se asemejan entre ellos porque son grandes extensiones con poca pendiente, constituidas por sedimentos muy finos de limos y arcillas; pero difieren porque las marismas poseen vegetación halófila (adaptada a vivir en ambientes salobres),




**Figura 1.** Mapa general del estuario de Bahía Blanca. Las islas están en amarillo, las marismas en verde y las planicies de marea en celeste. Mapa Walter D Melo, IADO.



**Figura 2.** Vista aérea de un sector interior del estuario en el que se distinguen canales de marea y marismas en bancos con forma de S poblados por plantas halófilas del género *Spartina*. Arriba, en la distancia, planicies de marea.

principalmente plantas de los géneros *Spartina* y *Salicornia*, mientras que las planicies no tienen vegetación. Ambos ambientes, sin embargo, ocupan posiciones topográficas similares y están surcados por miríadas de canales y arroyos de marea (figura 2).

El otro gran estuario de la costa argentina es el del Río de la Plata, pero en este lo esencial es el aporte de agua fluvial, que modifica la acción de las mareas. En Bahía Blanca, en cambio, el sistema está fuertemente dominado por las mareas, cuyas amplitudes medias varían entre 2m en la boca y hasta 4m en el salitral de la Vidriera, su cabecera. Comparativamente, en el Río de la Plata las mareas normales no superan el metro. Como ocurre a lo largo de toda la costa argentina, en ambos casos las mareas son de tipo semidiurno mixto, es decir, se producen dos pleamares y dos bajamares por día, pero de diferente altura. Por otro lado, el aporte de ríos y arroyos al estuario de Bahía Blanca, que alcanza unos $25m^3/s$ (con picos máximos de $200m^3/s$), es muy pequeño con relación al que recibe el Plata, cuyos valores medios se elevan a unos $15.000m^3/s$.

Ante estas cifras, cabe preguntarse si tan poca agua dulce justifica que se hable de un estuario, ya que para que exista tal accidente geográfico el aporte de aguas continentales, incluyendo las subterráneas que pudiesen emerger, tiene que ocasionar una dilución significativa del agua de mar. En otras palabras debe haber en un estuario aguas de diferente salinidad y, por ende, de distinta densidad, que interaccionen al punto de que se genere una circulación debido a esa causa. En términos técnicos, la dilución del agua marina por efecto del agua dulce tiene que permitir que se genere un gradiente de densidad y este determinar un gradiente de presión que origine una corriente. El fenómeno se denomina circulación gravitacional estuarial y fue claramente constatado por las investigaciones realizadas en los últimos veinte años en el estuario de Bahía Blanca.

Tanto las islas como los humedales constituyen restos de un antiguo delta de finales del Pleistoceno-Holoceno y comienzos del Holoceno (entre 18.000 y 8000 años atrás), cuando el mar estaba más de 100km alejado de la costa actual. Era el delta más grande de la región, pues se extendía hasta la boca del río Negro. Su tamaño muy bien podría competir con el delta del Nilo, que alcanza una extensión de unos 200km a lo largo de la costa. El estuario actual coincide con la parte norte de ese delta. El río Negro y el Colorado contribuyeron a su formación, más otros ríos que llegaban a la zona de Bahía Blanca y que hoy han desaparecido dejando un remanente de valles cubiertos por médanos de arena, lagunas y salitrales, algunos ubicados hasta 40m debajo del nivel del mar.

Con el paso de los milenios, la boca del delta retrocedió significativamente y fue cubierta, hace unos 5000 años, por más de 7m de agua, lo que la convirtió en un mar somero. La costa quedó marcada por acantilados pleistocénicos, típicos del sur de la provincia de Buenos Aires, en los que son muy frecuentes los fósiles de mamíferos terrestres, como lo constató Charles Darwin, que arribó a bordo del Beagle en 1833 y descubrió los primeros restos de megaterios mientras el capitán del navío, Robert Fitz Roy, realizaba un relevamiento batimétrico de la entrada del estuario. Años después, Florentino Ameghino realizó numerosas exploraciones en la zona. Punta Alta, donde Darwin hizo excavaciones, desapareció con la construcción de la base naval, pero todavía existen afloramientos no alterados a pocos kilómetros hacia el este de Punta Tejada, una zona explorada por Ameghino (figura 3).



**Figura 3.** Acantilados de la zona exterior del estuario, estudiados por Ameghino. Es todavía una zona rica en fósiles del pleistoceno.

En las islas, la flora, la fauna y el paisaje son de tipo patagónico, similares a lo que se veía hace unos años en tierra firme, antes de que la mayor lluvia y las prácticas agrícolas desplazaran hacia el sur la frontera entre pampa húmeda y Patagonia, que por entonces estaba en Bahía Blanca. Por ello, caminar por las islas es una curiosa experiencia, que remite a otro lugar y a otro tiempo.

Los canales y arroyos de marea que surcan tanto las planicies de marea como las marismas conforman una compleja red de drenaje (figura 4). Pero a diferencia de las redes fluviales, esta red del estuario no configura cuencas con límites bien definidos, ya que la circulación del agua solo se ve afectada por la topografía al principio y al final del ciclo de inundación y desagote producido por la marea. El grado de sinuosidad de los canales varía en función de la pendiente del terreno y del tipo de sedimento.

No solo son de interés las zonas intermareales. Los canales de marea también lo son, en particular, las formas de sus fondos. En la parte más honda del estuario, cerca de su boca, donde la profundidad media es del orden de 22m, hay un campo de dunas sumergidas de hasta 6m de alto y longitudes de onda (o separación entre dunas) del orden de 400m. Empleamos técnicamente la palabra duna para designar a formas producidas por la acción del agua que arrastra granos de arena, mientras llamamos médano a aquellas que resultan de la acción del viento. Dunas y

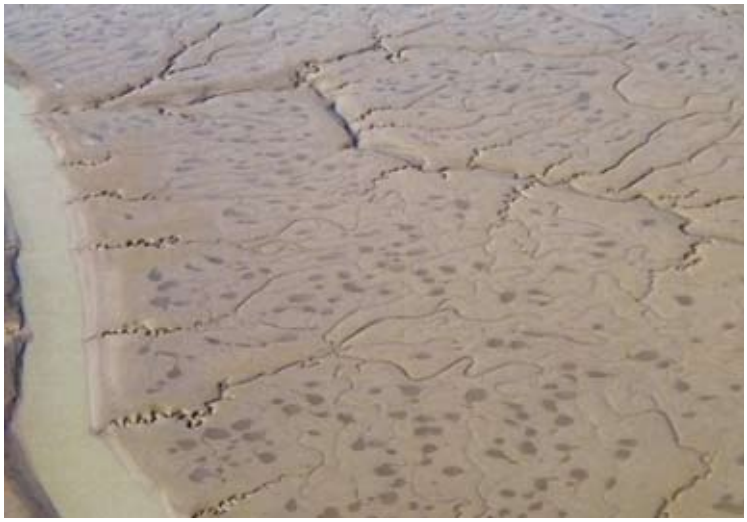


**Figura 4.** Vista aérea de una planicie de marea. Obsérvese la red de drenaje formada por los canales de marea.

médanos son estructuras móviles, que se trasladan y reproducen sus formas, ya que el agua o el viento recogen partículas de la cara que enfrenta a la circulación del fluido y las depositan en la otra: el viento levanta la arena del lado de barlovento del médano y la deposita del lado de sotavento, con lo que el médano se va trasladando sin variar su forma a determinada velocidad (por ejemplo, 20m por año). Las dunas son comunes en estuarios, ríos y plataformas marinas de todo el mundo: las hay de hasta 20m de alto en el golfo San Matías. Pero las del estuario de Bahía Blanca llaman la atención por la pendiente de su flanco más empinado (llamado talud), que es aquel en el que el agua deposita la arena que levantó del otro flanco (llamado rampa). El sentido del movimiento de la duna es de la rampa hacia el talud.

Los médanos de zonas costeras suelen tener taludes con una inclinación del orden de 33°, en la que quedan en

## DIFERENTES TIPOS DE ESTUARIOS

Existen tantos tipos de estuarios como ríos que desembocan en el mar. De hecho no hay dos iguales, lo que no obsta a que intentemos establecer maneras de clasificarlos. Pero antes de hacerlo, demos una definición: un estuario es un cuerpo de agua costero, semicerrado, que se extiende hasta el límite efectivo de la influencia de la marea, dentro del cual el agua salada que ingresa por una o más conexiones con el mar abierto o con cualquier otro cuerpo de agua salino es diluida significativamente con agua dulce derivada del drenaje terrestre, y puede sustentar especies biológicas eurihalinas ya sea por una parte o la totalidad de su ciclo de vida (*eurihalinos* son aquellos organismos acuáticos que toleran un amplio rango de salinidad en el medio que habitan. Los que no la toleran se llaman estenohalinos).

A la luz de esta definición, cabe distinguir cinco tipos de estuarios, a saber, aquellos que ocupan antiguos valles fluviales (que se dividen en estuarios de planicies costeras y rías), los ubicados en antiguos valles glaciares (que se dividen en fiordos y fiardos), los de influencia fluvial (que a su vez se dividen en estuarios de dominio mareal y de frente de delta), los estructurales y las lagunas costeras (que pueden ser semiobturadas de canal largo, semiobturadas de canal corto, restringidas y permeables).

Los estuarios que ocupan antiguos valles fluviales se formaron por la invasión del mar de esos valles en los cambios climáticos glaciares e interglaciares del Pleistoceno-Holoceno. De acuerdo con el relieve de la costa pueden ser estuarios de planicies costeras (cuando se trata de costas bajas) o rías (cuando son montañosas o acantiladas). El estuario de Bahía Blanca no tiene las características de una ría. Por lo tanto, se trata de un estuario de planicie costera, como son la mayoría de los estuarios argentinos. De esta clase son los de los ríos Chubut, Negro y Quequén Grande, mientras que los de los ríos Coig, Santa Cruz y Deseado se pueden considerar rías.

Los estuarios ubicados en antiguos valles glaciares también se formaron por la invasión del mar de esos valles, pero en ellos, durante el Pleistoceno, en vez de un río hubo un glaciar. También se dividen según el tipo de costa: se habla de fiordos si se trata de costas montañosas y fiardos si las costas son bajas. Si bien en la Argentina hay antiguos valles glaciares, no hay fiordos ni fiardos. De esa clase de valles, por ejemplo, son el estrecho de Magallanes, jurídicamente chileno, y la bahía San Sebastián, pero el primero no se comporta como un estuario y el segundo ha sido tan modificado por la dinámica marina que perdió su carácter original.

A los estuarios de influencia fluvial pertenece el Río de la Plata, y más específicamente a los de dominio mareal, definido en contraposición con los estuarios de frente de delta. Esta última identifica a las diferentes bocas del río Colorado, que están en el remanente actual de un extenso delta de ese río.

Los estuarios estructurales ocupan valles originados por movimientos de la corteza terrestre ocurridos dentro de los últimos dos millones de años. Suelen coincidir con fallas geológicas o deberse a explosiones volcánicas. La llamada por los lugareños ría del río Gallegos no reúne todas las características de esa clase de estuarios y muestra evidencias de que pudo haber sido producto de un movimiento geológico de la antigüedad indicada, si bien su verdadero origen y, por ende, su clasificación están aún por definirse.

El último grupo de estuarios se denomina con el nombre genérico de lagunas costeras. Por lo general se trata de ambientes en que los procesos marinos ocultaron las características del valle original. Se diferencian por su tipo de boca. La laguna de Mar Chiquita es una laguna costera semiobturada de canal largo; la bahía San Antonio y la caleta Valdés son semiobturadas de canal corto. La bahía San Sebastián es una laguna costera restringida, y una categoría de laguna costera inexistente en la Argentina es la permeable. Señalemos, de paso, que Mar Chiquita no es una albufera como algunos la llaman, pues esa denominación corresponde a un cuerpo costero de agua salina sin conexión directa con el mar.

reposo las arenas muy finas. Las dunas que permanecen siempre debajo del agua en zona de mareas no alcanzan pendientes que superen los 10°. Las observadas en el estuario de Bahía Blanca, en cambio, tienen pendientes medias de 11° y algunas alcanzan los 30°, algo de lo que no se conocen otros ejemplos. En esta situación, la corriente de agua que asciende la pendiente de la rampa y va arrastrando arena de esta, al cruzar la cresta no sigue hacia abajo continuando la pendiente del talud sino en la dirección que traía antes de llegar a la cima y, en consecuencia, se separa de la duna. Se genera así sobre el talud un vórtice o remolino de agua, que transporta arena en sentido contrario al flujo principal y termina generando unas estructuras semicirculares de dunas denominadas en la literatura técnica megaóndulas en abanico, que no han sido hasta ahora encontradas en otro lugar.

De la forma de estas dunas se deduce que su movimiento y por ende el de la corriente de agua tienen lugar hacia la boca del estuario, lo cual se confirmó por mediciones de transporte de sedimentos, que también indican un avance de estos en dirección al mar. Estos fenómenos son coherentes con el hecho de que, en verano, sale agua del estuario con una temperatura cercana a los 27°C, que circula hacia el norte a lo largo de la costa de la provincia de Buenos Aires. Por tal razón, la temperatura del agua en los balnearios de Pehuén Co y Monte Hermoso alcanza los 21°C, mientras que, si no existiera esa circulación, no excedería los 17°C.

Los bancos de arena que cierran la boca de los canales mayores impiden que los sedimentos de la plataforma continental ingresen en el estuario. Tales bancos se forman debido a la pérdida de velocidad de las corrientes de agua cuando pasan del canal a la plataforma, con lo que se depositan los sedimentos que arrastran. El proceso es similar al que tiene lugar en los deltas fluviales, que se forman por depósito de los sedimentos que arrastra el río. De ahí que esos bancos se denominen deltas de reflujo. Por otro lado, como el aporte al estuario de agua dulce y sedimentos fluviales es relativamente escaso y, además, esos sedimentos tienden a depositarse en la boca de los arroyos, el material en suspensión en las aguas del estuario proviene sobre todo de la erosión de los antiguos sedimentos del delta original. Ese material alcanza concentraciones del orden de 200 a 400mg/l. Son muy escasas las zonas del estuario en las que se observa que se esté depositando material en el fondo. Más bien sucede lo contrario: hay una exportación neta de sedimentos hacia la plataforma continental.



**Figura 5.** Flota pesquera artesanal, silos y montacargas en Ingeniero White.



**Figura 6.** Gaviotas cangrejeras (*Larus belcheri*) en una marisma poblada con plantas del género Salicornia. Foto Victoria Mazzola



**Figura 7.** Delfín franciscana (*Pontoporia blainvillei*) en las aguas turbias del estuario. Foto Victoria Mazzola

El Canal Principal del estuario de Bahía Blanca da acceso al mayor sistema portuario de aguas profundas de la Argentina, que incluye los puertos Ingeniero White, Galván, Rosales, Cuatreros y Belgrano, este como base naval militar (figura 5). En 1989, aproximadamente 90km del canal y los dos primeros puertos nombrados fueron dragados hasta 13,5m (45 pies) de profundidad, lo que permite el ingreso de buques de gran calado. Pero hacia el oeste y el sudoeste del Canal Principal se extiende, hasta donde alcanza la vista, una extensión de mar interrumpida cada tanto por una isla en la que solo crecen arbustos, algunas plantas

De todos los animales que viven en el estuario, uno de los más modestos lleva a cabo una significativa labor de alteración ambiental. Se trata del cangrejo cavador (*Chasmagnatus granulata*) que habita en planicies de marea y marismas y excava infinidad de cuevas (figura 8). Igual que en otros lugares de la costa con ambientes similares, como las bahías Samborombón, Anegada y San Antonio, los lugareños hablan de cangrejales para referirse a los sitios en que se aposenta este crustáceo. Sus cuevas son pozos verticales de hasta un metro de profundidad y un diámetro que disminuye de 7cm en la boca a unos 2cm en el fondo. Su densidad llega hasta 30 por m2. Como se comprenderá, no es aconsejable caminar donde haya muchas cuevas y suelo poco resistente.

Aunque la mayor parte de los canales del estuario tiene su génesis en procesos netamente físicos de circulación de agua y sedimentos, existe un sector particular (y solo uno, hasta donde se sabe) cuyo ambiente sufre modificaciones debido a la interacción entre esos procesos físicos, los cangrejos y ciertas plantas halófilas. Ubicado a unos de 6km del centro de Bahía Blanca, fue identificado a comienzos de 2000 por Oscar Iribarne, un biólogo de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Es una marisma en la que vegeta el pequeño arbusto *Salicornia ambigua*. Cuando baja la marea y el suelo queda al descubierto, llama la atención encontrarse con anillos de salicornia rodeando islotes sin vegetación pero con gran cantidad de cuevas de cangrejos (figura 9).

Lo que aparentemente sucede es que los animalillos tienen preferencia por hacer sus pozos donde están esas plantas, por razones que aún se ignoran a ciencia cierta, quizá porque el suelo esté parcialmente alterado por las plantas y ello les facilite la excavación (figura 10A). Las cuevas, sin embargo, cambian las condiciones del sitio en que se habían asentado las salicornias y hacen imposible que permanezcan. Ello se debe a que, por su forma rastrera de propagación y reproducción, el arbusto requiere de un suelo estable para su arraigo efectivo, y los cangrejos, con su continuo cavar y desplazamiento de sedimento, le quitan esa cualidad.

Como consecuencia, en ciertos sectores o manchones las plantas mueren y, una vez secas, son removidas por las olas y corrientes (figura 10B). Al mismo tiempo, para sobrevivir, se propagan en lugares donde no se asentaron los cangrejos, los cuales, por su parte, cavan más cuevas en la zona libre de vegetación y hacen retroceder más a los arbustos. Así, cuantas más cuevas se forman, más retroceden las plantas, lo que da lugar a dichos anillos de vegetación que rodean un círculo sin ella, los que llegan a tener entre 1m y 8m de diámetro. Por su parte, al migrar, la salicornia cambia su proceso de reproducción de asexual a sexual, mecanismo de defensa propio de plantas de este tipo, que les permite una multiplicación más rápida para asegurar la supervivencia.

El crecimiento paulatino de círculos y anillos lleva a que se produzca la unión de los que están vecinos, lo cual da lugar a disposiciones con forma de ocho (figura 10C) con la zona sin plantas totalmente cubierta de cuevas de cangrejos.

Hasta donde hoy sabemos, a pesar de que las cuevas no tienen brazos o sectores horizontales, cuando están muy próximas entre ellas sufren el derrumbe de las paredes que las separan, con lo que quedan comunicadas y, por ese proceso, se forman conductos subterráneos horizontales por los que circula el agua, tanto la que entra desde la superficie al subir la marea como la que asciende desde el fondo. De hecho, las aguas que ascienden desde el fondo del pozo impulsadas por la presión hidráulica de la marea ascendente normalmente lo llenan antes de que se inunde por la boca. Como consecuencia, se produce una activa circulación de aguas subterráneas y, paulatinamente, las cuevas debilitan el terreno al punto de que este se desmorona y deja los canales subterráneos expuestos (figura 10D). Para entonces los cangrejos han abandonado las cuevas y los nuevos canales se incorporan al ritmo de flujo y reflujo de las mareas.

Desde que Iribarne descubriera este interesante fenómeno, investigadores de su grupo científico de la UNMDP y del IADO lo están estudiando, al punto de que hay dos tesis de doctorado y numerosas otras tareas en curso sobre sus características. Por ello, con el tiempo se conocerá mejor cómo operan los mecanismos descriptos en este recuadro, los que podrían ser confirmados, modificados o hasta algún punto cambiados por explicaciones diferentes.



**Figura 8.** Ejemplar del cangrejo cavador *Chasmagnatus granulata* saliendo de su cueva.

halófilas y talas. Es un extraño mar, cuya profundidad, salvo en los canales, no suele pasar de un metro cuando la marea alta cubre planicies y marismas. En las dos islas mayores, Bermejo y Trinidad, no hay más de diez o quince eucaliptos y algunos pequeños médanos que interrumpen la línea plana del horizonte. Con la creación de la reserva natural mencionada, los dos pobladores de Trinidad y el único de Bermejo cambiaron de domicilio. Mientras estaban allí, sus vidas solitarias eran perturbadas cada tanto por las visitas de investigadores del IADO, que durante sus campañas oceanográficas buscaban resguardo en días de fuerte viento, o bien por la llegada de un lanchón para transportar a Puerto Rosales y al mercado las ovejas que criaban.

En el ambiente del estuario abundan los pájaros (figura 6). En las costas de las islas no es raro ver desde flamen-



**Figura 9.** Anillo de *Salicornia ambigua* que rodea un islote sin vegetación pero con gran cantidad de cuevas de cangrejos.

tes y chingolos, lo mismo que guanacos, pumas, zorros, ñandúes y armadillos, todas especies nativas, para no mencionar especies no nativas o exóticas como liebres, ciervos y jabalíes.

En las aguas de los canales de marea, oscurecidas por los sedimentos en suspensión, hay tiburones, lobos marinos (con una colonia en la punta sudeste de la isla Trinidad) y delfines. El delfín conocido por franciscana (*Pontoporia blainvillei*) permanece por largos períodos en el estuario (figura 7), y no es raro encontrar ballenas y orcas en el Canal Principal. Hace unos años se halló un esqueleto de ballena en uno de los canales interiores, a unos 70km de la boca. Además de la vida silvestre reseñada, viven en las márgenes del estuario poblaciones muy densas de cangrejos, que han sido objeto de estudios particulares (ver recuadro 'Cangrejales').

A partir de estudios acerca de los efectos sobre la costa argentina de un posible ascenso del nivel medio del mar, que podría causar el llamado calentamiento global de la

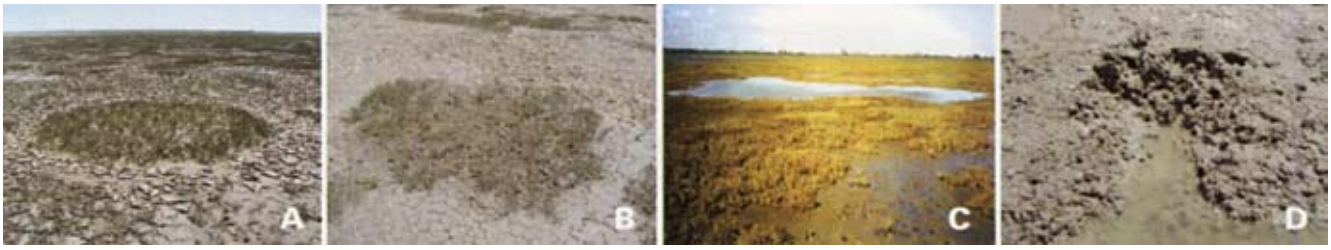



**Figura 10.** Alteración ambiental por la interacción de cangrejos cavadores con plantas halófilas del género *Salicornia*. A. Matas de Salicornia en las que hacen sus cuevas los cangrejos. B. Inicios de la formación de un anillo. C. Anillos combinados formando un ocho. D. Estadio final de la interacción de cangrejos y salicornias, en el que se produce la exposición de los canales subterráneos.

cos –que vuelan en bandadas y cuyo color rosa contrasta en otoño con el típico azul profundo del cielo–, gaviotas y palomas antárticas, hasta chorlos y chorlitos, que realizan allí una parada anual en su viaje migratorio, y algunos ocasionales pingüinos. Es también posible advertir en las islas la presencia de halcones, calandrias, chimangos, jo-

Tierra (algo acerca de cuya magnitud no existe consenso), se estableció que un incremento de ese nivel de 1m ocasionaría que la totalidad del estuario quede cubierto permanentemente por agua en 2100. En tales circunstancias desaparecería el hábitat que hoy configura el estuario de Bahía Blanca. CH

## LECTURAS SUGERIDAS

**ALIOTTA S y PERILLO GME**, 1987, 'A sand wave field in the entrance to the Bahía Blanca Estuary, Argentina', *Marine Geology*, 76: 1-14.

**ISLA FI**, 2002, *Los exploradores de la Patagonia de Magallanes a Fitz Roy*, Universidad Nacional de Mar del Plata.

**PERILLO GME** (ed.), 1995, *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, Elsevier, Amsterdam.

**PERILLO GME, PICCOLO MC y PINO QUIVIRA M** (ed), 1999, *Estuaries of South America: Their Geomorphology and Dynamics*, Springer Verlag, Berlín.

**PICCOLO MC y HOFFMEYER M** (eds.), 2004, *El ecosistema del estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca.



*Nasa.gov*

Ciencia Hoy Volumen 13 número 73 febrero - marzo 2003

**E Marcelo Acha y Hermes W Mianzan**
Investigadores del Conicet en el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

# El estuario del Plata: donde el río se encuentra con el mar

Navegar por la zona exterior del Río de la Plata puede deparar algunas sorpresas. Aguas afuera de Montevideo, por ejemplo, se puede apreciar el color leonado del río, cargado de sedimentos, y percibir que su olor posee tenues reminiscencias vegetales, en vez del desagradable vaho que desprende cerca de la costa de Buenos Aires. Esas aguas barrosas, que conforman lo que alguien llamó la pampa líquida, no tienen mal sabor y hasta resultan aceptables para combatir la sed. Si se echara una red de pesca, posiblemente se descubriese que la captura se compone de peces de mar, como si se la hubiese extendido frente a San Clemente del Tuyú o a La Paloma. Un observador desprevenido se preguntaría qué hacen corvinas, pescadillas, gatuzos y testolines en aguas cuya apariencia y efluvios harían esperar la presencia de bogas, bagres, sábalos y armados. La desmesura de los ríos caracteriza a América del Sur. El Orinoco, el Río de la Plata y el colosal Amazonas drenan las aguas de algo más de 11 millones de kilómetros cuadrados. Solo esos tres ríos canalizan el desagüe al mar del 63% de la superficie sudamericana. Es el continente en el que cae la mayor cantidad de lluvia por kilómetro cuadrado, y también aquel en el que mayor cantidad de agua por kilómetro cuadrado escurre al mar (en ambos casos, más del doble que en cualquier otro continente). El Río de la Plata vierte al Atlántico en promedio 22.000 metros cúbicos por segundo y fertiliza el océano adyacente con el aporte de nutrientes y detritos orgánicos. Hace sentir su influencia a centenares de kilómetros de su desembocadura. Su enorme caudal, al encontrar la suave pendiente de la plataforma continental, forma un estuario poco

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los estuarios, donde los ríos desembocan en los mares, son el lugar de encuentro de dos mundos fisicoquímicos y biológicos diferentes: el de las aguas dulces de aquellos y el de las saladas de estos. Son, por lo general, ecosistemas biológicamente más productivos que el río y el mar, por las condiciones particulares de circulación de las aguas, que provocan la retención de nutrientes.




**Figura 1**. El estuario del Plata con indicación de los frentes de salinidad. A la izquierda y abajo de la ilustración se indican los grados de latitud y longitud respectivamente.

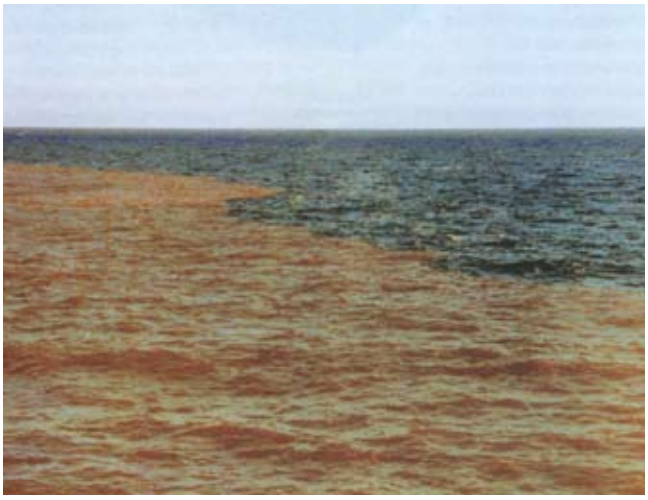


**Figura 2.** Imagen satelital con indicación del frente de turbidez (donde se produce el cambio de color).



Bahía Samborombón. El curso de agua (arriba a la derecha) es uno de los varios canales artificiales que desembocan en ella.

profundo y de enorme superficie. Ese es el escenario del encuentro entre el río y el mar (figuras 1 y 2), conformado por dos masas de agua que no se mezclan espontáneamente. Se deslizan una sobre la otra: el agua dulce continúa su camino hacia el océano por la superficie, en tanto que el agua marina, más pesada debido a su carga de sales, se mueve en dirección opuesta sobre el lecho del estuario hasta que la detiene un escalón en el fondo de este. El estuario es así un sistema acuático de dos capas, una superior de agua dulce y otra inferior de agua salada. Si se midiese la salinidad del río desde la superficie hasta el fondo, el instrumento empleado pasaría por un lugar en que cambia de forma brusca: el límite entre ambas capas, que se denomina *haloclina*. El espesor de la capa superior es relativamente uniforme en todo el estuario, pero el de la de abajo decrece a medida que se avanza río arriba desde la desembocadura y que se tiene el fondo a menos profundidad. La capa de agua salada es como una cuña que se introduce desde el mar entre el agua del río y el lecho de este. Tal cuña salina es típica de estuarios con poca amplitud de mareas y fondo de suave pendiente (figura 3A). El lugar que marca su máximo avance río arriba se denomina frente salino de fondo y constituye la frontera entre el río y el estuario. En la dirección opuesta, el máximo avance del agua dulce en el océano es el frente salino de superficie, el límite exterior del estuario, a partir del cual comienza el sistema marino. La diferencia de salinidad entre ambas capas va decreciendo a medida que se avanza por el río hacia el océano. Ello no ayuda a establecer con claridad dicho límite exterior del estuario, una frontera que puede concebirse como una zona variable de interacción entre este y el océano, cuya forma y posición geográfica dependen de la acción recíproca de fuerzas opuestas y fluctuantes. El caudal del Plata varía como resultado del aporte oscilante de sus dos principales tributarios: el Paraná y el Uruguay. Por lo general las alteraciones de caudal de ambos grandes ríos no se mueven en el mismo sentido, lo que conduce a que no haya marcados cambios estacionales en el caudal del Río de la Plata. En cambio, el viento encuentra en el gran espejo del estuario, de enorme superficie y escasa profundidad, características que lo hacen especialmente sensible a su acción. Los vientos de la región, por su lado, exhiben cierta regularidad estacional: en la primavera y el verano dominan los del océano, pero durante el otoño y el invierno se advierte algún equilibrio entre los marinos y los del continente. Como consecuencia, durante el otoño y el invierno se produce un mayor avance de agua dulce del estuario a lo largo de la costa uruguaya, en tanto que durante la primavera y el verano ese efecto se registra en la costa argentina. Lo último permite que las aguas de la plataforma continental, saladas y más claras, alcancen la costa de Punta del Este. En condiciones normales, los efectos del viento solo se hacen sentir en el estrato superior de las aguas del estuario; por debajo de la haloclina, al abrigo de una mayor profundidad, la capa inferior no recibe otras influencias que las de la topografía del fondo: por ello ese estrato de aguas evidencia escasos cambios estacionales. De tanto en tanto, soplan en el estuario fuertes vientos



Frente de turbidez

del sudeste. Dicho fenómeno se conoce con el nombre de sudestada y produce el efecto de un dique que detiene la descarga de agua dulce, mientras que, de todos modos, el Paraná y el Uruguay continúan realizando su aporte. Como consecuencia, crece el nivel de las aguas del Río de la Plata, particularmente en la costa argentina, muchas veces con consecuencias desastrosas para las zonas ribereñas de Buenos Aires y sus alrededores. Tales vientos, por otra parte, producen la mezcla de las aguas del estuario, en el que deja de haber dos capas de diferente salinidad (figura 3B). En pocas horas, el hábitat de los organismos del estuario cambia en forma marcada. Las especies que habitan por debajo de la haloclina resultan expuestas a menor salinidad, y sucede lo opuesto a las que ocupan el estrato superior. Para sobrellevar la situación, los organismos con mayor movilidad pueden desplazarse en busca de aguas más semejantes a las que normalmente habitan, mientras que los menos móviles se ven forzados a soportar las nuevas condiciones y resistir el cambio de presión osmótica (o perecer en el intento). Cuando el viento amaina, las cosas retornan a la normalidad, pero las aguas que se mezclaron no pueden volver a separarse en dos estratos de diferente salinidad. Simplemente, el río fluye nuevamente sin obstáculos, con renovada fuerza por el elevado nivel alcanzado, y, con ello, las aguas que ocupaban el estuario resultan desplazadas hacia el océano, se diseminan en este y lo fertilizan con sus nutrientes. En poco tiempo, nuevas aguas marinas penetran en el estuario por debajo de las fluviales y queda restablecida la condición originaria del sistema. En los estuarios la productividad biológica es muy alta, usualmente más elevada que en el río y en el océano lindantes: el abundante plancton que se encuentra en aquellos es una manifestación de tal fecundidad. El plancton está compuesto por una gran variedad de organismos, el grueso de unos pocos milímetros de longitud, pero con algunos de mayor porte, como las grandes medusas. Son seres que viven a distintas profundidades de la columna de agua y su distribución espacial depende del movimiento de las masas acuáticas. Algunos transcurren toda su vida como integrantes del plancton, mientras que otros, como las larvas de peces y de invertebrados, solo pasan una temporada en esa condición. El estrato superior de las aguas del estuario es pobre en organismos planctónicos. La mayoría habita el estrato inferior, de aguas más saladas, lo que acredita su abolengo marino. Se concentran en una densa capa situada inmediatamente por debajo de la haloclina, la que se comporta como una barrera que impide el paso del plancton, de la misma manera que el techo de una habitación impide seguir su ascenso a una bocanada de humo exhalada por un fumador. Esa capa formada por tenues criaturas del plancton es suficientemente densa como para producir un eco que se registra en la sonda de un buque y se extiende, a veces, por más de 200 kilómetros

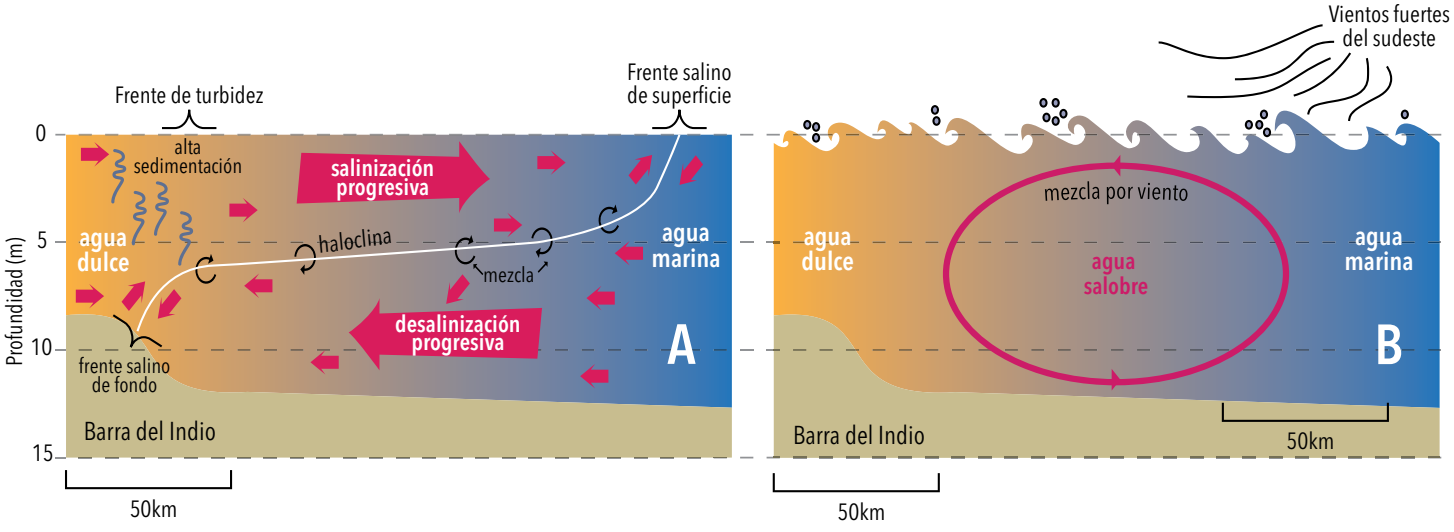



**Figura 3.** Esquema conceptual de la distribución de salinidad en un corte longitudinal del estuario. Las flechas rojas indican la dinámica de las aguas. A) Condición típica (alta estratificación). B) Efecto de la sudestada: los vientos fuertes del sector marítimo producen la mezcla vertical de la columna de agua.

a lo largo del eje del estuario. Su gran longitud conforma una copiosa acumulación de alimentos para diferentes tipos de organismos. En su composición dominan numéricamente unos pequeños crustáceos llamados copépodos, que constituyen el alimento de algunas medusas, de larvas de peces, las cuales encuentran en ellos un bocado a la medida de sus necesidades, y de peces filtradores, que nadan con sus branquispinas a modo de cedazo y filtran un gran volumen de agua por cada bocado de alimento. Como en los ambientes terrestres, también en los acuáticos las plantas son los únicos seres capaces de fabricar su propio alimento con la energía de la luz solar. El resto de los organismos depende de manera directa o indirecta de la producción vegetal. La zona del estuario en que la cuña salina alcanza la máxima penetración (el frente salino de fondo) se caracteriza por una extrema turbidez de las aguas. Si bien los nutrientes necesarios para las plantas son abundantes, la penetración de la luz es reducida, lo que limita el crecimiento de los vegetales. Pero en la base de la pirámide trófica del estuario hay una fuente alternativa de alimento: los detritos orgánicos que trae el río, restos en descomposición de plantas terrestres y acuáticas transportados por los afluentes desde distintos sitios de la cuenca. Diversos organismos dan cuenta de esos detritos: bacterias, microplancton unicelular (tintínidos, ciliados y rotíferos) y



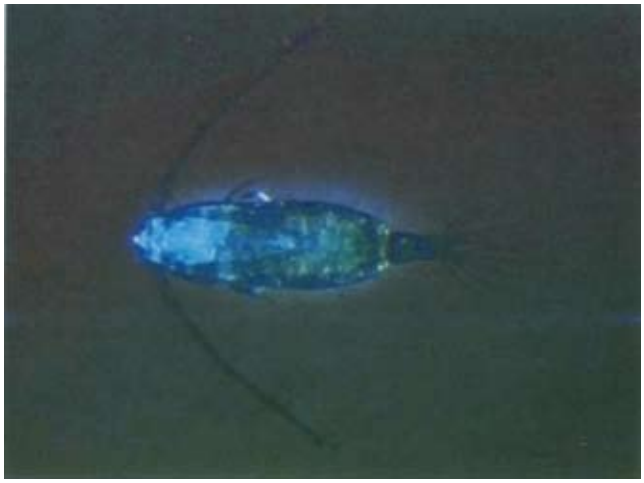
Anchoíta (*Engraulis anchoita*)



Corvina rubia o blanca (*Micropogonias furnieri*).



Corvina negra (*Pogonias cromis*)



Acartia (*Acartia tonsa*), copépodo que es el componente más numeroso del zooplancton del estuario.

copépodos omnívoros (aquellos capaces de alimentarse de esa materia orgánica en suspensión o del fitoplancton de aguas más límpidas). El origen de tales detritos no se ha establecido con precisión, pero tal vez sean las selvas del delta o, quizá, las misioneras las que aporten el primer eslabón de la trama alimentaria que enlaza a los organismos del estuario. Los estuarios se caracterizan por sufrir variaciones ambientales impredecibles. Los cambios bruscos de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y turbiedad son moneda corriente en tales ambientes. Pocas especies pueden tolerarlos, pero las que lo consiguen gozan de las ventajas de la alta productividad y la baja competencia por los alimentos, el espacio o cualquier otro recurso que caracterizan a estos sistemas, las que les permiten producir grandes poblaciones. Así el copépodo *Acartia tonsa* alcanza en el Río de la Plata densidades superiores a 50.000 individuos por metro cúbico. Su dominio numérico sobre los demás componentes del plancton es indiscutido en la capa inferior de aguas salobres, inmediatamente por debajo de la haloclina. Su tolerancia a la salinidad le permite prosperar en todo el espectro acuático del estuario, desde el agua casi dulce hasta la del océano. La haloclina no es una frontera inviolable. La fricción de las dos capas líquidas que separa produce minúsculos torbellinos que hacen penetrar ciertas cantidades de agua de una en la otra, y estas arrastran a criaturas de pequeñas dimensiones, como los *Acartia*. Pero en tales casos el brusco cambio de salinidad supera la capacidad de respuesta fisiológica de los organismos, los que mueren debido a la diferente presión osmótica y dan lugar a que haya un conjunto de tenues cadáveres a la deriva, que se concentran en el frente salino de superficie, donde convergen las aguas del estuario y del océano. Estas convergencias de masas de agua son eficientes acumuladoras de objetos flotantes, como organismos muertos, restos vegetales, espuma, plásticos,

etcétera. Existen en el océano organismos constituidos por los más sencillos materiales, como las medusas, salpas y ctenóforos, evanescentes especímenes que, aun proviniendo de linajes biológicos distintos, comparten la cualidad de estar compuestos en más de un 95% por agua. Constituyen el plancton gelatinoso y en su mayoría se alimentan por filtración, tamizando las aguas para retener los minúsculos componentes del plancton que forman sus dietas. Hay también medusas que son activas depredadoras y capturan pequeños peces y crustáceos con sus células urticantes. Se pensó durante mucho tiempo que esos acuosos organismos carecían de depredadores, pues proporcionarían un alimento poco energético. Sin embargo, lo que no ofrecen en consistencia lo hacen en abundancia. Especialmente durante la primavera, enormes florecimientos de ellos pueblan las aguas, principalmente en el frente salino de superficie, y alimentan a determinados peces, como los pampanitos (*Stromateus brasiliensis*) y las ñatas (*Peprilus paru*). Otros, como la anchoíta (*Engraulis anchoita*), en ausencia de bocados más suculentos, consumen salpas en cantidad. Hay organismos que pasan sus vidas en el fondo del estuario, sin mudar de sitio o realizando desplazamientos más bien modestos. Se los denomina organismos bentónicos o bentos. En su mayoría son invertebrados, pero también integran el bentos algunos peces sedentarios, aunque en total lo conforman más bien pocas especies capaces de soportar las variaciones del ambiente estuarino. Cuando sobrevienen en este cambios desfavorables, no tienen posibilidad de desplazarse y deben soportar el estrés fisiológico que les imponen. Como los árboles, mueren de pie. El fondo del Río de la Plata es una extensa planicie, un delta subfluvial que prolonga el del Paraná. Los profusos sedimentos que arrastran este y el Uruguay van depositándose de acuerdo con las leyes de la física: la desigual velocidad de las aguas en distintos sectores del río y las variaciones del tamaño de las partículas sedimentarias gobiernan ese proceso de deposición. Las partículas son en su mayoría pequeñas; pertenecen a limos, arcillas y algunas arenas finas. En la zona externa del estuario, el océano aporta arena. Las corrientes labran canales en esos sedimentos blandos y carentes de trabazón. Tales canales y algunos bancos son los únicos rasgos de relieve del lecho del estuario. La uniformidad del hábitat en el fondo y la mencionada severidad de las condiciones ambientales explican la escasa diversidad de la vida bentónica en el Plata. Almejas y gusanos viven enterrados en el sedimento y horadan sin esfuerzo el lodo, en tanto que algunos caracoles y cangrejos se desplazan sobre este. Sobre la costa uruguaya existen algu-





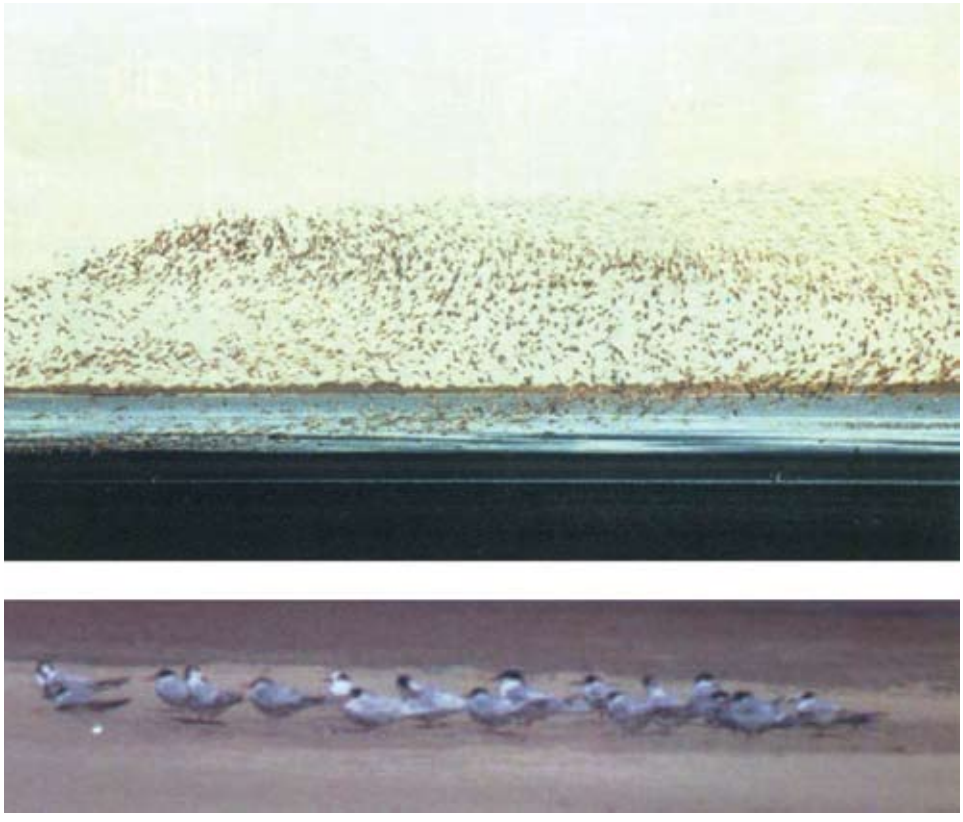





Pescadores



nas afloraciones rocosas menores, peligrosas para la navegación y bien señaladas en las cartas náuticas, pero de importancia biológica más bien modesta, dado que son pocas. Sirven de fundamento para otro tipo de organismos: el bentos de sustratos duros, que necesita un firme basamento en el cual anclarse y no puede prosperar en los fondos blandos que componen casi todo el sistema. Conforman esa fauna mejillones, dientes de perro, pequeños cangrejos y algunos gusanos. Una pequeña almeja de acervo marino predomina en el bentos del estuario. Pertenece al género *Mactra* y, posiblemente, a la especie isabelleana. Es un bivalvo que vive semienterrado en los fondos fangosos. Sus bancos más densos coinciden con el frente salino de fondo, una zona muy rica en materia orgánica en la que suceden singulares fenómenos dinámicos y fisicoquímicos. Esas almejas se alimentarían de la abundante materia orgánica que se deposita sobre el fondo. Su vida en apariencia plácida y desahogada tiene, sin embargo, sus sobresaltos, pues en ese hábitat constituyen el principal alimento de la corvina rubia. A diferencia del plancton o del bentos, los peces son capaces de desplazarse activamente en el medio que habitan. La mayoría de los del estuario son de origen marino, pues muy pocos de aguas dulces se aventuran en una región de características tan variables. No todas las especies marinas, sin embargo, toleran la baja salinidad, por lo que se registra una disminución progresiva del número de ellas a medida que se avanza por el estuario desde el mar hacia el río. Como el ambiente del estuario es altamente variable, la distribución espacial de la salinidad va cambiando con relación a las coordenadas geográficas o a los puntos fijos de tierra firme. La salinidad proporciona a los peces algo así como un sistema de coordenadas oceanográficas que les permite orientarse en sus incursiones. Con la penetración del mar como una cuña en el estuario, ingresan en él las especies marinas y ocupan la capa de fondo de aguas más salobres. Unas pocas especies alcanzan aguas de salinidades bajas, y en el remate de la cuña salina, en el confín entre el río y el estuario, se mantienen en un delgado estrato, muchas veces de menos de un metro de espesor. Ello explica la aparente paradoja del comienzo: mientras un buque puede flotar en aguas de río, sus redes pescan en aguas atlánticas. Un pez que consigue de algún modo burlar los severos efectos de los cambios osmóticos y cuyo ciclo de vida, complejo y admirable, transcurre en parte en el estuario, donde es muy frecuente hallarlo, aunque siempre en números modestos, es la anchoa de río o sardina española, llamada por los biólogos *Lycengraulis grossidens*. Sus áreas de alimentación se encuentran en la costa marina de la provincia de Buenos Aires pero se dirige para reproducirse a pequeños arroyos tributarios del Paraná y del Uruguay. Tales movimientos migratorios en los ciclos vitales de muchas especies son característicos de los estuarios. *Diadromía* es el término empleado para indicar las migraciones de los peces entre las aguas continentales y el océano. Esas migraciones son movimientos regulares e inevitables, que incluyen a la mayoría de los miembros de una población. Las anchoas de río no se pierden en la maraña de canales del delta y nadan río arriba cientos de kilómetros, hasta la vecindad de Rosario. En su estacional periplo, son visitantes temporarias del estuario del Plata, donde quizá los adultos se aclimaten a las bajas salinidades antes de proseguir su migración reproductiva. Entre los peces típicos del estuario están los integrantes de la familia Sciaenidae: el grupo de las corvinas y las pescadillas. Son siete especies en el estuario y la zona marítima adyacente: la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), la negra (*Pogonias cromis*), el pargo (*Umbrina canosai*), el córvalo (*Paralonchurus brasiliensis*), la burriqueta (*Menticirrhus americanus*), la pescadilla de red o común (*Cynoscion guatucupa*) y la real (*Macrodon ancylodon*). Por lo menos dos especies de la misma familia están totalmente adaptadas al agua dulce y habitan los ríos de la cuenca del Plata: *Pachyurus bonariensis* y *Plagioscion ternetzi*. Es un grupo



Gaviotín común (*Sterna hirundo*) en Punta Rasa.

múltiple y diverso, en el que es evidente un patrón común, un 'aire de familia'. Son peces costeros, que viven asociados en algún grado al fondo, con una tolerancia muy amplia a las variaciones ambientales, capaces de alimentarse de un espectro vasto de organismos que incluye tanto a peces como a invertebrados. Tienen cabeza, ojos y boca grandes. Muchos son capaces de emitir sonidos (de ahí su nombre popular de roncadoras o roncaderas), ligados en algunos casos a la reproducción. Prosperan particularmente bien en estuarios y regiones aledañas. No son numerosas las especies de peces que se adaptaron con éxito a las circunstancias del estuario. Aquellas que lo consiguieron, a menudo resultaron excepcionalmente abundantes, como es el caso de la corvina rubia, el principal recurso costero de las pesquerías de la Argentina, el Uruguay y el sur del Brasil. En estas poblaciones, la energía alimentaria ganada en los estuarios debe superar las pérdidas energéticas derivadas de su adaptación fisiológica a estos y de las migraciones, y compensar la mortalidad que les impone la vida en el estuario. La tolerancia de la corvina rubia a la baja salinidad es digna de mención: hay registros fidedignos de su presencia frente a Buenos Aires, en aguas completamente dulces y a algunos centenares de kilómetros del océano. El vasto estuario posee regiones singulares, áreas pequeñas con relación al resto pero en las que tienen lugar procesos naturales de gran importancia para la ecología del sistema. Nos detendremos en dos de las mejor comprendidas: la barra del Indio y la bahía Samborombón. El nombre de la primera alude a un accidente topográfico del lecho del estuario, un bajo entre Punta Piedras y Montevideo. Es, en realidad, un verdadero escalón, una suerte de grada que obstruye el avance de las aguas salobres y divide naturalmente al sistema en dos ambientes distintos: aguas arriba, el dominio de las aguas dulces; aguas abajo, la región de mezclas. Sobre la barra del Indio se asienta la frontera que separa al río del estuario y se produce la convergencia de las masas de agua de ambos. Allí se acumulan los elementos que flotan a merced de las corrientes, entre ellos los plásticos desechados en ciudades y embarcaciones, y que se asientan sobre un fondo de finos sedimentos, formados por minúsculas partículas arrastradas por las aguas dulces que se depositan después de que se aglomeran para formar partículas mayores (o floculan) al encontrarse con las aguas salobres, de mayor carga iónica. Cuando las ondas de marea recorren el estuario dos veces por día, levantan del fondo tales sedimentos y originan una banda o frente de agua de máxima turbidez, que se logra detectar con sensores remotos colocados en satélites. Así se ha podido estudiar su localización y dinámica y se ha demostrado que, durante la mayor parte del tiempo, se ubica sobre la barra del Indio y continúa hacia el sur a lo largo de la boca de la bahía Samborombón. Es un hecho conocido que los peces se reproducen en áreas muy pe-



Gatuzo (*Mustelus schimitti*)



Pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*)



Ejemplar juvenil de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*)



Lenguado (*Paralichthys orbignyanus*)



Saraca (*Brevoortia aurea*)



*Mactra sp.*

queñas del ámbito geográfico de cada especie. El área de puesta debe reunir requisitos que aseguren la supervivencia de huevos y larvas, los que son el resultado del acopio de materia y energía realizado por cada hembra durante muchos meses, cuyo despilfarro no sería perdonado por las severas fuerzas que gobiernan la evolución. Por lo menos dos de las especies más abundantes del estuario –la corvina rubia y la saraca (*Brevoortia aurea*)– desovan en la barra del Indio, en el extremo final de la cuña salina. Sus huevos, aunque flotan, permanecen en la capa de agua en contacto con el fondo, incapaces de atravesar la barrera de densidad conformada por la diferencia de salinidad de ambas capas. Las bondades de esa zona como hábitat reproductivo derivan de la convergencia de masas de agua, que facilita la retención de los huevos y las larvas en el estuario y evita su transporte al sistema costero adyacente. Es posible, además, que las oportunidades alimentarias proporcionadas a las larvas por la gran concentración de organismos planctónicos, y la protección visual contra predadores que brinda la turbidez, constituyan ventajas adicionales para un área de reproducción. Sin embargo, la barrera de densidad que mantiene a los huevos en el delgado estrato de fondo los expone a otro peligro: el canibalismo, o ingestión de huevos por adultos de la misma especie, algo que ha sido verificado en la corvina rubia y la saraca. La primera está adaptada a alimentarse en condiciones de baja visibilidad (por medio del tacto y el olfato), y la segunda es un pez filtrador que nada tamizando las aguas de manera incansable. A estas contrariedades debe añadirse el efecto de vientos fuertes, que de tanto en tanto alteran las propiedades oceanográficas del estuario y tal vez ocasionen la pérdida de camadas completas de huevos y larvas. De todas formas, debemos deducir que, con suficiente asiduidad, los beneficios superan a las pérdidas, y que por ello ambas especies establecieron allí sus principales áreas de puesta. También tienen su asentamiento en la barra del Indio importantes bancos de la almeja *Mactra sp.*, depredadas activamente por las corvinas, que trituran sus duras valvas con unas placas dotadas de potente musculatura y situadas en la faringe. El nombre de la bahía Samborombón tiene un dejo onomatopéyico, pero su origen y significado no son completamente claros. La bahía, de forma semicircular y aguas someras (figura 4), constituye un ambiente relativamente aislado del resto del estuario, del que está separada por un umbral sumergido. Su exigua profundidad la hace particularmente sensible a los efectos atmosféricos. Los ríos Samborombón y Salado, y los grandes canales artificiales que desagotan la zona central de la provincia de Buenos Aires, ejercen también su influencia en la bahía, aunque el volumen de agua llegado por esa vía es despreciable por comparación con el del caudaloso río. La bahía está flanqueada por un extenso pantano, de unas 170.000 hectáreas de extensión, cuya parte occidental corresponde a bañados de agua dulce y el resto a una marisma surcada por un profuso y arborescente sistema de canales que se llenan y vacían al compás de la marea (figura 4). La región posee una valiosa fauna silvestre, caracterizada por una multitud de aves, roedores, carpinchos y el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*). Sin embargo, los organismos emblemáticos del lugar son los cangrejos, a tal punto que los cangrejales del Tuyú han cobrado celebridad. Sus características son principalmente el resultado de la acción del cangrejo cavador (*Chasmagnathus granulata*), que horada profundas cuevas de ocupación semipermanente y vuelve difícilmente transitable el terreno, además de alterar la calidad del sedimento, el contenido de agua de los suelos y su tenor de materia orgánica, con lo que ejerce una poderosa influencia en las demás especies que habitan ese ambiente. Además de la nombrada hay allí otras dos especies de cangrejos, *Uca uruguayensis* y *Cyrtograpsus angulatus*. Las aguas de la bahía cobijan un raudal de peces juveniles, pequeños animales de escasos centímetros de talla que encuentran en ellas alimento abun-



**Figura 4.** Imagen satelital que muestra las marismas que bordean la bahía Samborombón y la mezcla de masas de agua de diferentes propiedades.



Cangrejo cavador (*Chasmagnathus granulata*)

dante y altas temperaturas favorables a su crecimiento. Muchos, entre ellos corvinas y saracas, nacen en otros lugares del estuario. Otros, como lisas, córvalos, palometas, lenguados y pescadillas, inician su vida en el plancton del estuario exterior o del océano vecino y emprenden luego un incierto viaje hacia Samborombón, impulsados por el viento y las corrientes. Según la especie, pasan en la bahía más o menos tiempo y luego dejan la zona de crianza y tienen diferentes relaciones con el estuario. Los peces adultos son relativamente escasos en aguas de Samborombón. Punta Rasa, el límite sur de la bahía, se extiende como una lengua de arena hacia la boca del estuario. Es apostadero de aves migratorias, que se congregan allí por decenas de miles. Algunas, como chorlitos y playeros (*Caradriformes*), se alimentan de pequeños organismos que viven en el fango expuesto durante la bajamar. Otras, como gaviotines (*Sternidae*) y rayadores (*Rynchopidae*), son voraces consumidores de pequeños peces que se crían en la bahía, a los que capturan con elevada eficacia. Los estuarios, en síntesis, son regiones singulares del planeta. Desde la perspectiva oceánica, solo constituyen una minúscula interfaz entre el mar y las aguas continentales. Pero su extraordinaria productividad biológica acentúa su importancia para las poblaciones acuáticas y su significación económica para la humanidad. Feraces a la vez que cambiantes, imponen a los seres vivos tensiones que pocas especies toleran. En esas circunstancias, muchas veces extremas, la vida presenta aspectos ecológicos y evolutivos de particular interés. La enorme dimensión geográfica es un rasgo distintivo del estuario del Plata. La ecología de los estuarios ha madurado como disciplina científica con el estudio de sistemas de mucho menor porte en otras regiones del globo y generado un rico cuerpo teórico. Poco sabemos, sin embargo, acerca de cómo el cambio de escala espacial afecta los procesos ecológicos de los estuarios. Esta es la oportunidad que nos ofrecen nuestro río y su estuario. Si bien el Río de la Plata no cumplió la promesa que evoca su nombre, pues sus navegantes jamás hallaron argénteas riquezas, tal vez encierre, de todos modos, un tesoro: el de su peculiar ecología. CH

*La fotos son cortesía de Rita Rico, Marcela Tobio, Laura Mauco y Eduardo Spivak. Las imágenes satelitales, obtenidas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales en su estación terrena de Falda del Carmen, Córdoba, fueron gentilmente provistas por Antonio Gagliardini. El trabajo se benefició grandemente del estímulo brindado por Héctor D'Antoni.*

## LECTURAS SUGERIDAS

**BALAY MA**, 1961, *El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar*, Buenos Aires, Servicio de Hidrografía Naval, Argentina.

**BOSCHI EE**, 1988, 'El ecosistema estuarial del Río de la Plata', *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México, 15 (2):159-182.

**D'ONOFRIO EE**, **FIORE ME & VALLADARES JA**, 2002, 'Mareas e inundaciones en la ciudad de Buenos Aires', Ciencia Hoy, 67: 38-45.

**GUERRERO R**, **LASTA C**, **ACHA EM**, **MIANZAN H & FRAMIÑAN M**, 1997, *Atlas hidrográfico del Río de la Plata*, Mar del Plata, CARP-INIDEP.

**MIANZAN H**, **LASTA C**, **ACHA EM**, **GUERRERO R**, **MACCHI GJ & BREMEC C**, 2001, 'The Río de la Plata estuary', en SEELIGER U & KJERFVE B (eds.), *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*, Berlín, Springer.

**RAMÍREZ F**, 2002, *Plancton sin formol*, Mar del Plata, INIDEP.



http://www.scmp.com/

Ciencia Hoy Volumen 1 número 4 octubre - noviembre 1989

**José I Carreto Iraurgui**
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero,
Mar del Plata

# Mareas rojas

'Y toda el agua del Nilo se convirtió en sangre. Los peces del Nilo murieron y el río dio un olor tan pestilente que los egipcios ya no pudieron beber sus aguas. Entonces hubo sangre en todo el territorio de Egipto', dice la Biblia (Éxodo, 7, 20-21), y se convierte así en el primer testimonio escrito acerca del cambio de color que puede sufrir la superficie de un cuerpo de agua. Sin embargo, es probable que las mareas rojas se hayan producido mucho antes de que existieran las palabras, hace ya cientos de millones de años, en los remotísimos tiempos en que aparecieron los organismos que las causan.

Según narra en sus *Naufragios* Álvar Núñez Cabeza de Vaca, el México precolombino conocía el peligro de comer moluscos extraídos al comienzo del año, época de las mareas rojas. Pero últimamente su frecuencia e intensidad han aumentado de manera significativa. Nuevas áreas se han visto afectadas y entre 1985 y 1988 se detectaron fenómenos producidos por especies inadvertidas hasta entonces por los planctólogos.

Las consecuencias de las mareas rojas suelen ser severas, incluso dramáticas, ya que cuando son tóxicas llegan a ser fatales para el hombre y otros consumidores de moluscos bivalvos. En 1987, durante la primera marea tóxica detectada en Guatemala, se registraron 201 intoxicaciones humanas de carácter grave; 26 de ellas resultaron fatales.

Pero hemos de ilustrar ahora las cuantiosas pérdidas económicas que estos fenómenos suelen provocar. Constituyen, por ejemplo, el mayor problema de la industria de pesca costera del Japón. En la costa de Harina Nada, la marea roja de 1972 produjo la muerte de 14 millones de peces limón con un costo aproximado de 70 millones de dólares, y es este solo un caso de los muy frecuentes y devastadores que se suscitan en la región.

También suelen ser cuantiosas las pérdidas causadas por declinación del turismo, y en este sentido baste recordar que en el estado de Florida, Estados Unidos, durante la temporada 1973-1974, dichas pérdidas se estimaron en 15 millones de dólares. Más recientemente, en

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Las mareas rojas, florecimientos extraordinarios de microorganismos muchas veces tóxicos, son catástrofes naturales inevitables y casi siempre impredecibles. Su frecuencia e intensidad se han incrementado notablemente en los últimos años, pero no podemos asegurar que esa alteración sea propia de nuestro tiempo ya que podríamos estar atravesando tan solo una fase dentro de un ciclo de larga duración… De hecho, el problema es, hoy, extremadamente grave y debemos por tanto preguntarnos cuáles son las condiciones actuales —¿disminución de la capa de ozono?, ¿hipernutrificación de las aguas?— que favorecen esta expansión. Conocer los factores determinantes del fenómeno ha de facilitar, obviamente, la solución del problema.

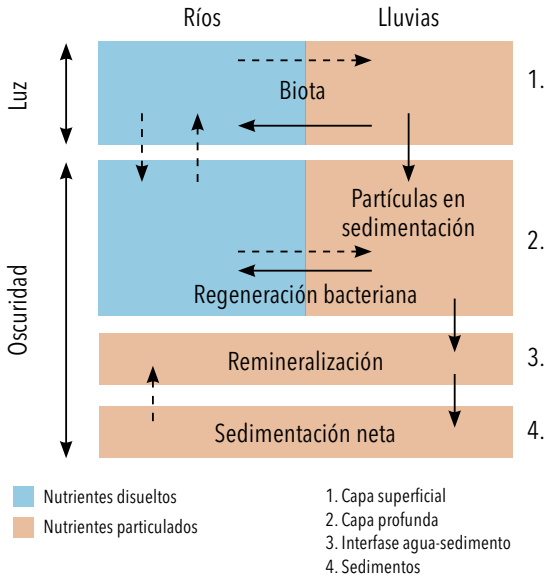
## FITOPLANCTON: CICLO DE NUTRIENTES EN EL OCÉANO

El ciclo de los elementos biogénicos de los ecosistemas terrestres se desarrolla en la superficie de terrenos sólidos, mientras que el de los ecosistemas acuáticos transcurre en todo el espesor de un volumen líquido. La figura esquematiza el ciclo de nutrientes disueltos o particulados en una columna de agua oceánica. La fotosíntesis, la generación de la mayoría de los organismos y la formación del material particulado tienen lugar en la capa superficial iluminada, donde se desarrolla la biota.

Las fuentes de nutrientes más importantes son la renegeración in situ que se opera a través del metabolismo de los seres vivos presentes y los aportes que proporciona el fondo oceánico mediante procesos de surgencia o afloramiento. Las contribuciones externas realizadas por los ríos y las lluvias solo proveen el 1% de los requerimientos.

La circulación de elementos biogénicos desde las grandes profundidades oceánicas hacia las capas superficiales más iluminadas es, normalmente, un proceso lento que retarda la multiplicación celular. Los factores físicos que generan mezcla vertical aceleran dicho proceso, resultando así importantes agentes reguladores en la producción de fitoplancton.

Las pérdidas de nutrientes se producen principalmente por el hundimiento de partículas de detrito que provienen de la capa superficial. En la capa profunda, los nutrientes se regeneran a través del proceso de descomposición parcial del material particulado provocado por acción bacteriana. Al fondo oceánico, donde se alojan los sedimentos, solo llegan las partículas de mayor dimensión. Estas son remineralizadas en la interfase agua-sedimento y los nutrientes disueltos pasan a la fase líquida por difusión y bioturbación del sedimento. Solo el 1% de este material se incorpora a la fase sólida como sedimentación neta.




Modelo esquemático del ciclo de nutrientes en el océano.

1988, la zona costera de Puerto Montt, Chile, se vio afectada por una marea roja de graves consecuencias para la salmonicultura. El perjuicio económico ocasionado fue de unos 14 millones de dólares.

Como las inundaciones, los terremotos y los incendios forestales, estas catástrofes naturales son inevitables y casi siempre impredecibles, pero sus efectos pueden minimizarse si se actúa con eficacia y serenidad en los casos de emergencia. La necesidad de explorar la naturaleza íntima de estos fenómenos resulta, entonces, evidente, y con este propósito hemos de introducirnos en el mundo del fitoplancton (del griego *fito*, vegetal, y *plankton*, errante).

El fitoplancton está compuesto por plantas microscópicas celulares que pueblan las capas superficiales de todos los cuerpos de agua tanto dulce como marina. Utilizando la luz solar como fuente de energía, ellas transforman sustancias simples que obtienen del medio ambiente en la materia orgánica necesaria para su crecimiento y multiplicación. Este es uno de los procesos más importantes del planeta, ya que constituye el primer eslabón de la compleja trama alimentaria acuática. Todos los animales acuáticos deben su subsistencia, en forma directa o indirecta, a la multiplicación celular de estas plantas microscópicas.

Diatomeas, flagelados y dinoflagelados son, por su cantidad, los grupos de algas más importantes que componen el fitoplancton. Se distinguen entre sí por las formas de vida o estrategias reproductivas adoptadas en el curso de su evolución en un medio dinámico y cambiante. Todas ellas requieren luz suficiente para poder multiplicarse, condición que solo se da en una capa superficial delgada (comparemos sus 80 metros de promedio con los 4000 metros promedio de las grandes profundidades oceánicas). También requieren sustancias biogénicas imprescindibles para su metabolismo, por ejemplo sales nutrientes (nitratos, fosfatos, silicatos), oligoelementos (hierro, cobre, manganeso, zinc, etcétera) y algunas sustancias orgánicas (vitaminas, ácidos húmicos, etcétera).

El ciclo de los elementos biogénicos transcurre en todo el espesor del mar, y su circulación desde las grandes profundidades a las capas iluminadas es un proceso lento que generalmente retarda la multiplicación celular del fitoplancton (ver 'Fitoplancton: ciclo de nutrientes en el océano'). Los procesos físicos que generan mezcla vertical aceleran el retorno de nutrientes a las capas iluminadas y son, en consecuencia, importantes factores regulares de la producción fitoplanctónica. Las áreas más fértiles del océano son aquellas en las que el agua profunda es forzada a elevarse hacia la superficie, fenómeno

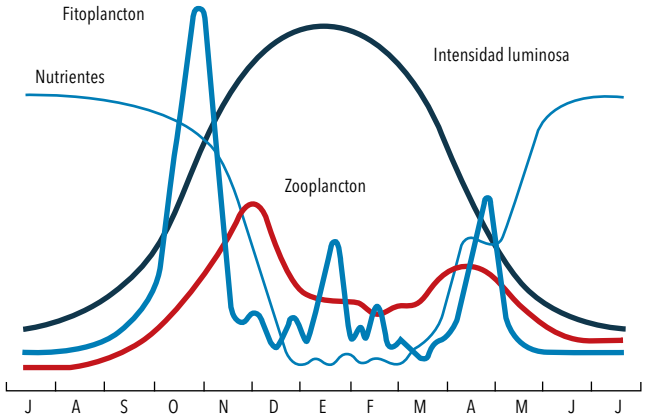



**Figura 1.** Variaciones estacionales de la disponibilidad de nutrientes y de luz y su correlación con la abundancia del fito y zooplacton en mares templados.

conocido como afloramiento o surgencia. Sin embargo, cuando la turbulencia del sistema es excesiva, la reproducción de los microorganismos se retarda a causa de la dispersión del fitoplancton fuera de la capa iluminada.

Las diferentes formas de vida compiten entre sí por la captura de los nutrientes disponibles en dicha etapa. En la competencia entre diatomeas y dinoflagelados, el resultado está determinado no solo por el ritmo de reproducción celular o por la velocidad con que asimilan los nutrientes. Los dinoflagelados se dividen una vez cada uno o dos días, mientras que las diatomeas lo hacen dos o tres veces por día. Sin embargo, la menor velocidad de división celular se ve compensada en los dinoflagelados por su mayor motilidad y fitotrofismo positivo que les permite concentrarse en la capa iluminada. Las diatomeas están más expuestas al hundimiento, pero requieren menos luz que los dinoflagelados. El resultado de la competencia dependerá de las condiciones impuestas por el ambiente, y el ambiente marino varía mucho según las regiones y según la época del año. Por ejemplo, en los mares templados, donde los cambios estacionales son muy intensos, se producen períodos de rápido crecimiento y decadencia de la población fitoplanctónica (figura 1). Durante el invierno, debido a la fuerte mezcla vertical provocada por el viento, el fitoplancton dispone de nutrientes, pero la baja radiación luminosa limita su crecimiento. En la primavera, con el incremento de la radiación luminosa y la disminución de la intensidad de los vientos, se calienta la capa superficial y la mezcla vertical o turbulencia comienza a disminuir. En estas condiciones, el fitoplancton puede permanecer en la capa iluminada, todavía rica en nutrientes, situación que permite un incremento exponencial del número de células. Este pulso de producción denominado 'floreci-

Dibujos Francisco Revelli

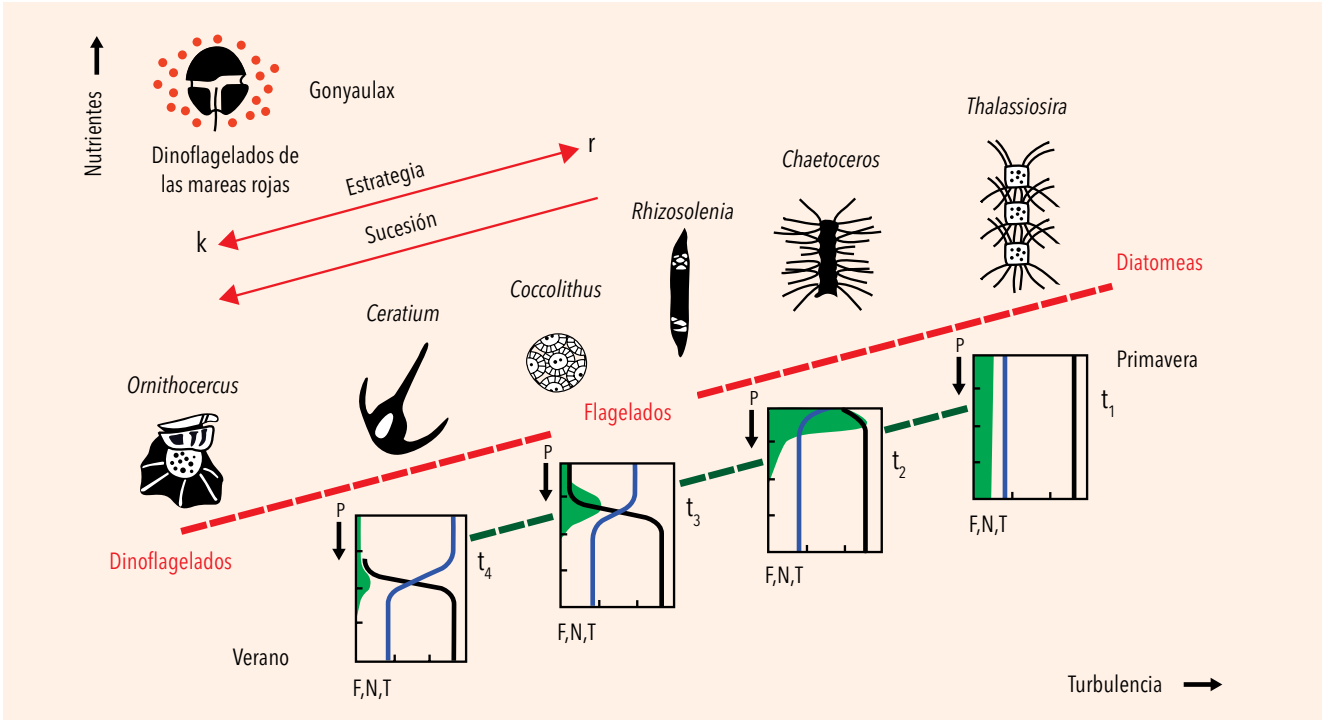
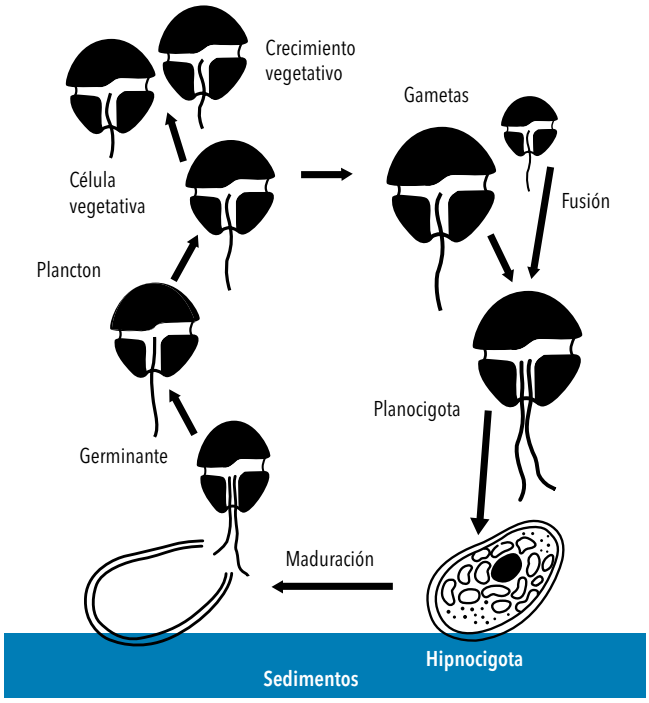
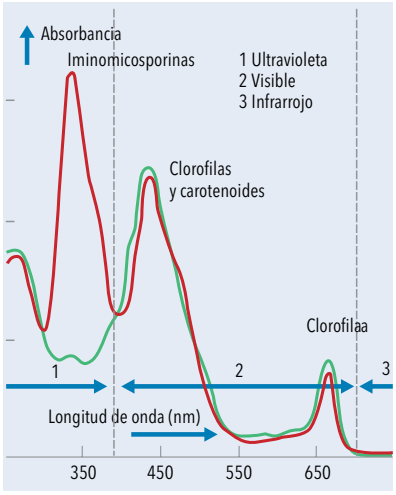



**Figura 2.** Esquema simplificado de la secuencia principal de la sucesión fitoplanctónica. Se observa el sucesivo reemplazo de formas de vida que imponen su estrategia reproductiva (r) en un ambiente rico en recursos, por otras más eficientes (k) capaces de explotar los medios cada vez más pobres en nutrientes impuestos por el consumo y la limitación de la mezcla vertical. La sucesión de especies es causada y corre paralela a la disminución de nutrientes y turbulencia de la capa iluminada. Los dinoflagelados formadores de mares rojas son solo componentes menores de esa secuencia principal. Su estrategia está diseñada para explotar ambientes 'anómalos' donde se combinan elevadas concentraciones de nutrientes con baja turbulencia. Para diversos tiempos, $t_1$, se esquematiza la concentración de nutrientes, N (línea negra), la temperatura, T (línea azul) y la abundancia de fitoplancton, F (zona verde), en función de la profundidad en la columna oceánica, P. Modificada de R Margalef, 1978, *Oceanologica Acta*, vol. 1, pp. 493-509.




**Figuras 3 y 4.** Arriba: ciclo de vida del dinoflagelado tóxico *Alexandrium excavatum*. Derecha: espectros de absorción de extractos metanólicos del dinoflagelado *A. excavatum*, según crezca en altas (curva roja) o bajas (curva verde) intensidades luminosas.

miento primaveral' lo inician las diatomeas, que con su mayor velocidad de división celular alcanzan su máxima densidad una o dos semanas después de haber comenzado el florecimiento. Su decadencia es también rápida ya que la disminución de nutrientes obliga a una correlativa disminución de la velocidad de división celular a punto tal que ya no alcanza a compensar las pérdidas debidas al hundimiento y al consumo por parte de un número creciente de pequeños animales plantónicos (zooplancton) a los que sirve de alimento.

A medida que disminuyen los nutrientes y se incrementa la estabilidad vertical, las diatomeas son gradualmente reemplazadas por otras formas de vida mejor adaptadas a las nuevas condiciones del medio. La secuencia principal se caracteriza por una sucesión de especies: primero las diatomeas de gran tamaño, luego otras más pequeñas reemplazadas a su vez por células móviles de velocidades de crecimiento intermedias (flagelados y pequeños dinoflagelados) y, finalmente, ya en el verano, los grandes dinoflagelados capaces de alimentarse de bacterias, pequeñas diatomeas y pequeños dinoflagelados (figura 2).

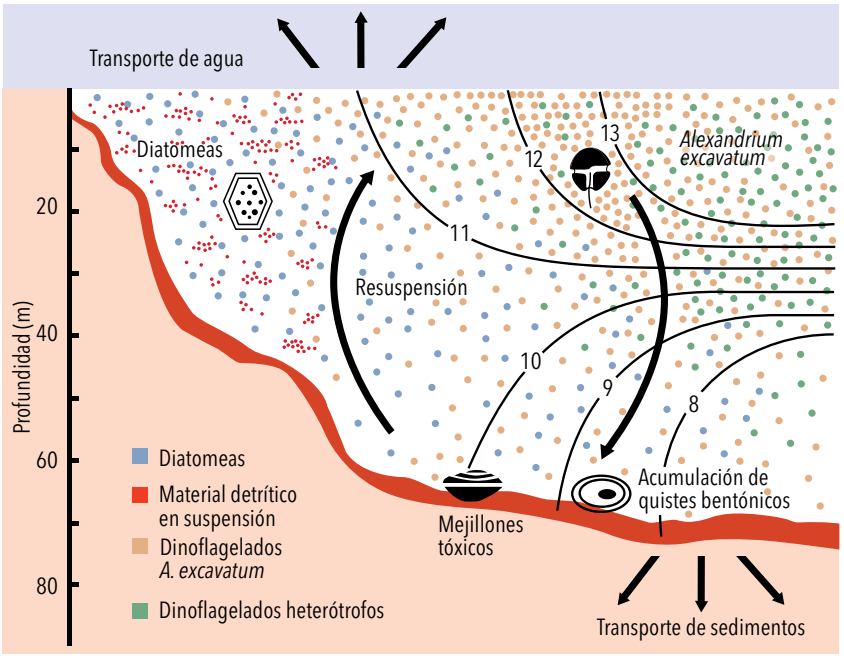
Diversos procesos, tales como descargas de ríos, surgencias costeras, inestabilidad en los bordes del talud, mareas y fuerzas originadas en la rotación terrestre, producen modificaciones locales en la abundancia de nutrientes y en la estabilidad vertical. Estas situaciones pueden dar origen a otros pulsos de producción, no necesariamente primaverales, originados en el crecimiento de alguna de las especies de la secuencia principal. En ciertos casos, la perturbación origina un ambiente peculiar en el que se combinan abundancia de nutrientes, elevada estabilidad vertical y disponibilidad de luz. La evolución ha diseñado formas de vida capaces de explotar estos ambientes 'anómalos' y de llegar a producir en ellos florecimientos excepcionales, las así llamadas 'mareas rojas'.

Las mareas rojas son florecimientos caracterizados por la escasa diversidad de la población fitoplanctónica y las excepcionalmente elevadas concentraciones celulares que se alcanzan (de un millón a mil millones de células/litro). Se produce así un cambio en la coloración de la superficie del mar que puede tomar distintos matices (amarillo, naranja, rojo, pardo…) de acuerdo con la naturaleza y concentración de los organismos presentes, sobre todo según la cantidad y el tipo de pigmentos que contienen. La expresión 'marea roja', aunque no la más apropiada para describir estos fenómenos, es un término popular que ha sido adoptado por la mayoría de los científicos. Entre los diversos organismos responsables de ellas, los dinoflagelados pequeños y redondeados, frecuentes portadores de potentes neurotoxinas, son los agentes causales más comunes.

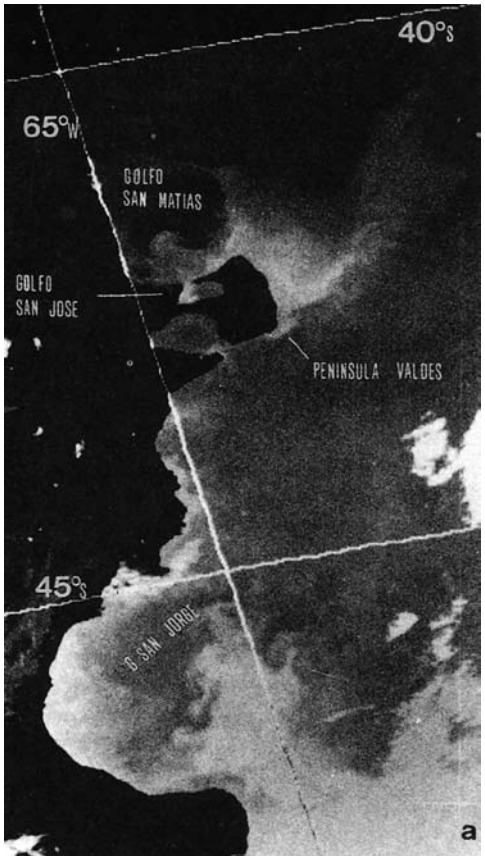
En la dinámica de los florecimientos planctónicos se distinguen tres etapas: iniciación, crecimiento y decadencia de la población. Un cuarto estadio, el de acumulación, caracteriza a las mareas rojas. La iniciación está relacionada con el ciclo de vida de los dinoflagelados. Este ciclo presenta dos fases: una de crecimiento vegetativo por simple división celular que da lugar al florecimiento extraordinario de la especie; otra, de reproducción sexual, que posibilita la existencia de una reserva en estado latente pronta a proveer los ejemplares que iniciarán una nueva proliferación en el momento adecuado. La figura 3 ejemplifica, con el caso del dinoflagelado tóxico *Alexandrium excavatum*, dicho ciclo de vida que pasamos a describir. La fusión de las gametas origina una cigota móvil con dos flagelos, la planocigota, esta sufre un proceso que pasa por la rotura de la teca y la consecuente liberación de protoplasma que, rodeado de una delgada membrana, acentúa su forma ovoide y se transforma posteriormente, con el engrosamiento de su pared por medio de una sustancia polimérica muy

# MAREAS ROJAS EN LA PENÍNSULA VALDÉS

En 1980 y como consecuencia de la muerte de dos pescadores del buque *Constanza* que operaba en la zona de la península Valdés, se detectó el primer episodio de envenenamiento por ingestión de moluscos bivalvos del Mar Argentino. La sintomatología de las intoxicaciones y el análisis de las toxinas coincidieron en señalar la existencia de 'veneno paralizante de moluscos' en los mejillones del área. La presencia del dinoflagelado *Alexandrium excavatum*, su cultivo y posterior análisis toxicológico, permitieron identificarlo como el organismo productor de las mencionadas toxinas. La distribución espacial de este organismo, en forma de manchas, estaba relacionada con las marcadas discontinuidades físico-químicas de área, que no habían sido advertidas anteriormente. Cerca de la costa, las aguas eran más frías y verticalmente homogéneas en relación con las más alejadas, de mayor temperatura superficial y fuertemente estratificadas. Entre ambas se pudo detectar una línea o estrecha zona de transición que se conoce con el nombre de 'zona frontal'. La imagen satelital infrarroja




Corte vertical perpendicular a la costa de la región marina. Precisamente en esa zona es donde ocurre el frente de mareas.




permite apreciar la posición de esta zona indicando una brusca variación de la temperatura superficial.

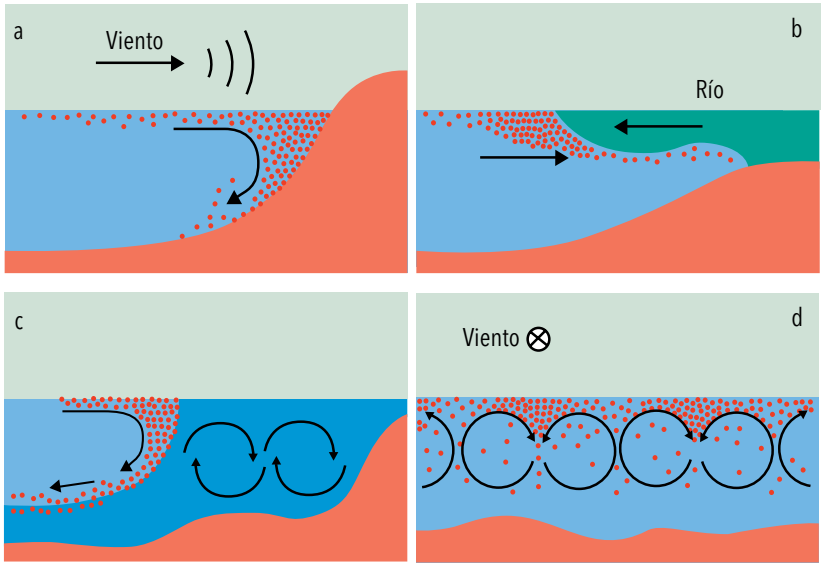
La presencia en los sedimentos del área de numerosos quistes de reposo nos permitió predecir la repetición del fenómeno en la próxima primavera; se inició entonces un sistema de monitoreo de toxinas en moluscos bivalvos. El corte perpendicular a la costa —donde se indican isotermas con temperaturas expresadas en grados centígrados— presenta una visión esquemática del florecimiento ocurrido en 1981. En las aguas costeras homogéneas predominan las diatomeas (puntos azules) y el material detrítico en suspensión (tonalidad marrón). En esta área la distribución homogénea de las propiedades del medio es consecuencia de la fuerte mezcla vertical inducida por las corrientes de marea. En la capa superficial del área de transición, el predominio del dinoflagelado tóxico *A. excavatum* es casi total (puntos rojos) y está flanqueado en la zona estratificada por otro dinoflagelado heterótrofo (puntos verdes) que preda intensamente sobre él. La iniciación de un nuevo florecimiento supone la resuspensión y el transporte de los quistes presentes en el sedimento hacia la zona iluminada. La expansión del área tóxica en el verano de 1980-1981 pudo originarse en el transporte de los quistes formado durante 1980. Otro mecanismo de dispersión es el transporte tanto de células vegetativas como de quistes de reposo por los movimientos laterales del agua. Finalmente, la 'lluvia' de células tóxicas (vegetativas y quistes) es consumida por lo mejillones del banco, que se tornan altamente tóxicos. Nuevos estudios han demostrado que en este sistema frontal también se producen florecimientos de otras especies de fitoplancton no tóxico. Las razones por las cuales predomina una especie tóxica o una no tóxica son hasta ahora desconocidas.

Imagen satelital infrarroja (AVHRR) que permite apreciar la separación de aguas costeras de menor temperatura superficial (tonos claros) de las aguas adyacentes que registran una mayor temperatura (tonos oscuros), característica de los meses cálidos.

resistente, en una hipnocigota o quiste de reposo. Luego de un período obligado de maduración en reposo, y cuando se rompe la pared celular en uno de los polos, se produce la germinación. El individuo expulsado posee dos flagelos y, al dividirse, repite las formas vegetativas iniciales. Las variables ambientales influyen en el crecimiento de los dinoflagelados, afectando la transformación de sus formas móviles (planctónicas) en células enquistadas (bentónicas) y viceversa. Esta transformación puede considerarse una simple alternancia anual entre una célula móvil biflagelada (primavera-verano) y una célula bentónica inmóvil (invierno), sin olvidar sus diversas fases intermedias. Pasado el período de reposo, la mezcla vertical lleva a esta célula a la zona iluminada, restaurándose entonces la forma móvil e iniciándose el crecimiento vegetativo. Pero, ¿qué condiciones del ambiente favorecen el éxito de esta especie frente a sus eventuales competidores y le permiten multiplicarse hasta producir un florecimiento casi uniespecífico? La respuesta parece encontrarse en los ambientes excepcionales antes mencionados donde se combinan elevadas concentraciones de nutrientes, baja turbulencia y altas intensidades luminosas. (El recuadro 'Mareas rojas en la península Valdés' describe un interesante caso del fenómeno que nos ocupa.) Bajo las condiciones recién indicadas, los dinoflagelados aventajan a las diatomeas a causa de su movilidad y fototrofismo positivo. La falta de movilidad propia vuelve a las diatomeas proclives al hundimiento y en ausencia de turbulencia no pueden acceder a los nutrientes de la capa iluminada.

En una etapa inicial, cuando abundan los nutrientes, los dinoflagelados se acumulan ceca de la superficie, donde la radiación luminosa es elevada. Esta estrategia parece requerir un sistema de fotoprotección, sobre todo de la radiación ultravioleta, ya que las dosis naturales son suficientes para inhibir la fotosíntesis y la división celular. Se ha observado recientemente que los dinoflagelados formadores de mareas rojas poseen un mecanismo protector capaz de cumplir esta función: ciertas sustancias actúan como filtros o pantallas de la radiación cuya longitud de onda se encuentra entre los 280 y los 390nm (figura 4). Estas sustancias solo parecen estar presentes en grupos de algas muy primitivas, desarrolladas cuando la capa de ozono en formación no debía resultar un filtro eficiente para la radiación ultravioleta. La presencia de estos mecanismos ha sido interpretada como una adaptación genética que confiere ventajas competitivas a los dinoflagelados en condiciones de alta intensidad luminosa y cortas longitudes de onda. Esta parece ser una adecuada explicación para la permanente correspondencia observada entre el desarrollo de mareas rojas uniespecíficas y los ambientes excepcionales ya descriptos.

La explotación de los nutrientes de una delgada capa superficial del mar no explica el elevado número de células presentes en la marea roja. Dos tipos de fenómenos parecen ser los que posibilitan la supervivencia de estas grandes concentraciones de microorganismos: las migraciones verticales de los propios dinoflagelados y la dinámica del mar. Con respecto al primero de estos fenómenos, cabe señalar que aun cuando los nutrientes se hayan agotado durante el día, los dinoflagelados permanecen en la superficie asimilando anhídrido carbónico y acumulando en consecuencia carbohidratos. Esta reserva energética y la presencia de enzimas capaces de reducir



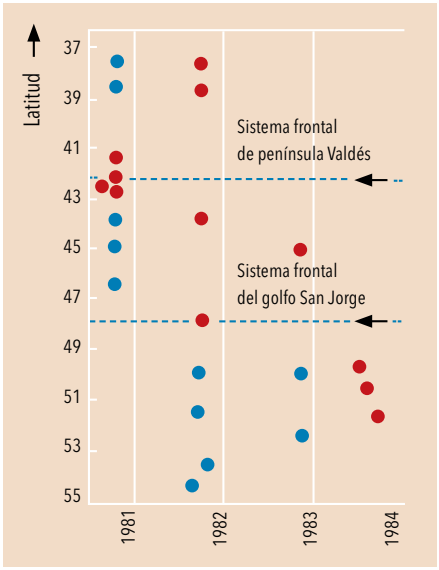




**Figura 5.** La acumulación de organismos por procesos físicos tiene lugar en los puntos donde el agua tiende a hundirse, mientras dichos organismos flotan o nadan hacia la superficie. Esto puede ocurrir por: a) efecto del viento; b) agregación de un flujo de agua; c) acción de fuertes mareas, y d) formación de celdas de Langmuir bajo la acción de vientos moderados (perpendiculares a la página).

**Figura 6.** Expansión del área tóxica en el Mar Argentino durante el período 1980-1984. Los puntos rojos corresponden a muestreos que revelaron toxicidad mientras que los puntos azules corresponden a muestreos que no la revelaron.

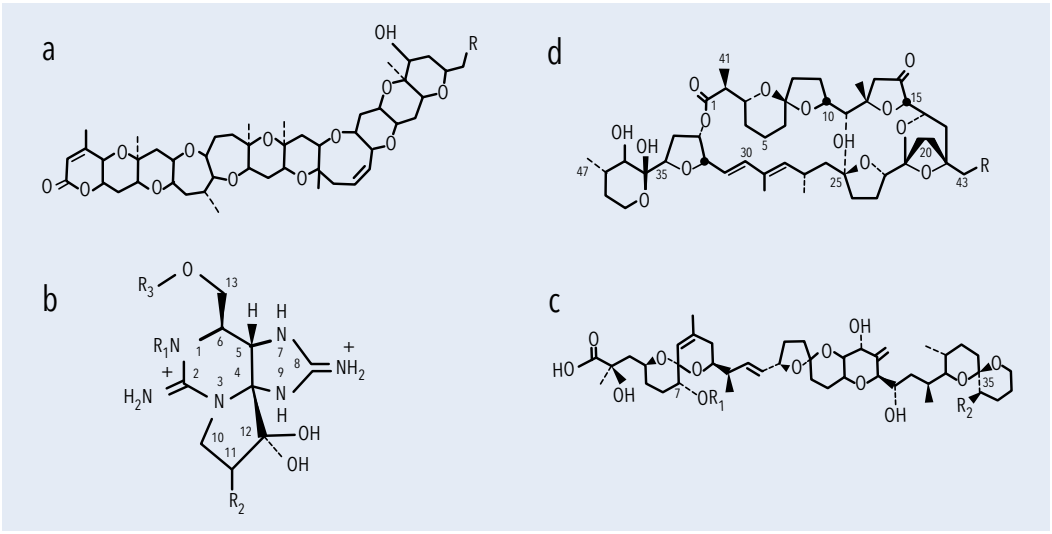



**Figura 7.** Estructura general de algunas toxinas producidas por dinoflagelados: a) neurotoxinas del grupo de la brevetoxina-B; b) neurotoxinas del grupo de la saxitoxina; c) toxinas diarreicas del grupo okadaico, y d) toxinas diarreicas del grupo de las pectenotoxinas.

los nitratos en la oscuridad les permiten sumergirse y explotar los nutrientes de capas algo más profundas. Este ritmo migratorio parece ser bastante complejo pues, según se ha observado experimentalmente, existen comportamientos grupales. Esta puede ser la clave que explique la distribución en forma de manchas que se suele observar en una marea roja. El segundo de los factores señalados, la dinámica del mar, engloba fenómenos como corrientes convergentes, frentes hidrográficos o mareas internas (figura 5). Su importancia determinante en el estado de acumulación se demuestra por el hecho de que la cantidad de nitrógeno celular en las manchas mencionadas excede, en mucho, al que resultaría de la asimilación del nitrógeno inicialmente existente en la columna de agua. Queda probada así la existencia de aportes exteriores a dicha columna. En algunos casos estos mecanismos físicos son los únicos responsables del fenómeno de concentración de material boyante en mareas rojas producidas por organismos no fotosintetizadores como huevos de peces, zooplancton o aun por ciertos tipos de dinoflagelados.

El estado de acumulación de una marea roja puede durar desde unos pocos días hasta varios meses, según el consumo realizado por los organismos predadores del zooplancton. Un consumo escaso suele estar asociado a ciertas propiedades específicas de las poblaciones de flagelados, entre otras, la formación de mucílagos y toxinas, bioluminiscencia y producción de metabolitos específicos con propiedades antibióticas que no solo los protegen de los predadores sino que pueden llegar a inhibir el crecimiento de otras especies fitoplanctónicas. El proceso se puede interrumpir por diversas causas, en especial por la limitación de aquellos factores antes mencionados como necesarios para el crecimiento y la acumulación uniespecífica: la reducción de nutrientes, ciertas modificaciones climáticas e hidrológicas, etcétera.

La propagación de las mareas rojas por diseminación de los quistes de reposo que pueden ser transportados como finas partículas de sedimento por las corrientes marinas queda ilustrada por los sucesos ocurridos en la zona de la península Valdés en 1980 y sus posteriores consecuencias (véanse 'Mareas rojas en la península Valdés' y figura 6). Aun cuando la superficie afectada fue relativamente pequeña, los estudios posteriores han demostrado la existencia de quistes dispersos por toda el área patagónica, incluso hasta la latitud de Mar del Plata.

Las mareas rojas producen la muerte masiva de organismos marinos por dos razones básicas. La primera está relacionada con el consumo total del oxígeno disuelto en la columna de agua, fenómeno causado por la respiración nocturna y la descomposición final de la masa de algas. En estas condiciones, la mayoría de los animales marinos mueren por anoxia, es decir, por falta de oxígeno. Si el área afectada es de grandes dimensiones, se producen muertes masivas especialmente de las formas bentónicas que tienen movilidad restringida. La segunda razón se vincula al hecho de que algunas algas formadoras de mareas rojas, en especial ciertos dinoflagelados, son productoras de potentes toxinas. Esta circunstancia resulta particularmente compleja por el hecho de que distintas especies de algas producen distintas toxinas. Podemos hacer una primera y muy importante distinción según el peligro real que entrañen para el hombre: las que se comportan como venenos efectivos para la mayoría de los organismos marinos no tienen, obviamente, grandes posibilidades de afectarlo; aquellas que solo tienen efectos nocivos sobre los vertebrados son, por el contrario, extremadamente peligrosas ya que se concentran en ciertos invertebrados marinos sin dañarlos y así pueden llegar hasta el hombre, consumidor, por ejemplo, de moluscos bivalvos.

Determinar la naturaleza de las toxinas presentes en los microorganismos causantes (o no) de mareas rojas

es tarea difícil. Una de las especies mejor conocidas, el dinoflagelado formador de algas *Gymnodinium* (= *Ptychodiscus*) *breve*, es responsable de la mortandad de peces y otros organismos en la costa de Florida, Estados Unidos. Estos florecimientos llegan a tener, incluso, efectos secundarios sobre el hombre a causa de la inhalación de aerosoles que contienen células tóxicas. Se han detectado unas pocas intoxicaciones humanas debidas al consumo de moluscos que concentran las toxinas provenientes de este dinoflagelado. En la actualidad, se conocen al menos cinco toxinas producidas por el *Gymnodinium breve* (figura 7a). Su estructura química es extremadamente compleja y sin precedentes en ningún producto natural; solo en 1981 y como resultado de un estudio conjunto de cuatro universidades norteamericanas se pudo determinar la estructura de una de ellas, la denominada brevetoxina-B.

Pero no es este el único caso que refleja el dramático hecho de que estas toxinas provocan por un lado severísimos perjuicios y se resisten por otro a entregar la clave de su íntima estructura. Tomemos, por ejemplo, la inusual 'marea parda' que se produjo en 1985 en la bahía de Narragansett, Estados Unidos. El fenómeno tuvo tremendos efectos sobre el zooplancton y el mejillón; provocó, además, una gran disminución de las larvas bentónicas, de los bancos de algas macrofitas y de la anchoíta. La especie –el flagelado *Aureococcus anorexefferens*– ha sido identificada, pero no se conoce aún la naturaleza de las toxinas.

En mayo de 1988, en las cosas de Suecia, Noruega y Dinamarca tuvo lugar un florecimiento excepcional producido por un flagelado (*Chrysochromulina polylepis*), inadvertido hasta entonces por los planctólogos. Como consecuencia del fenómeno se produjo una mortandad de peces naturales y de cultivo, de invertebrados y de algas macroscópicas. Aunque se desconoce la naturaleza de la toxina, parece que actúa a nivel de la membrana celular, destruyéndola. Estas y otras anomalías recientes han llevado a modificar el nombre de la IV Conferencia Internacional de Dinoflagelados Tóxicos por el de IV Conferencia Internacional sobre Fitoplancton Marino Tóxico, con la intención de incluir los nuevos episodios.

Un grupo de especies de dinoflagelados, sobre todo del género *Gonyaulax* (= *Alexandrium*), produce uno de los venenos más poderosos que se conocen. Aunque el nombre genérico del mismo es el de 'veneno paralizante de moluscos', se reconoce la existencia de al menos trece toxinas de este grupo (figura 7b). Todas ellas están estructuralmente relacionadas con la saxitoxina, cuya estructura fuera dilucidada en 1975 luego del aislamiento y la purificación de la almeja gigante de Alaska (*Saxidomus giganteus*). Estas toxinas son poderosos venenos que bloquean el sistema nervioso central (centro respiratorio y vasomotor) y el sistema nervioso periférico (unión neuromuscular, terminaciones cutáneas, táctiles, etcétera), produciendo una depresión respiratoria que puede causar la muerte por anoxia y el colapso cardiovascular por depresión del miocardio. Los vertebrados son particularmente sensibles a estas toxinas y también lo son algunos invertebrados, pero este no es el caso de muchos moluscos bivalvos que se manifiestan extremadamente resistentes a ellas. Esta capacidad les permite alimentarse con algas tóxicas y, lo que es más peligroso, acumular la toxina en sus glándulas y tejidos. Por esta razón los moluscos bivalvos se tornan extremadamente peligrosos en las áreas donde florecen tales dinoflagelados; en casos extremos basta la ingestión de dos o tres ejemplares para producir una intoxicación fatal.

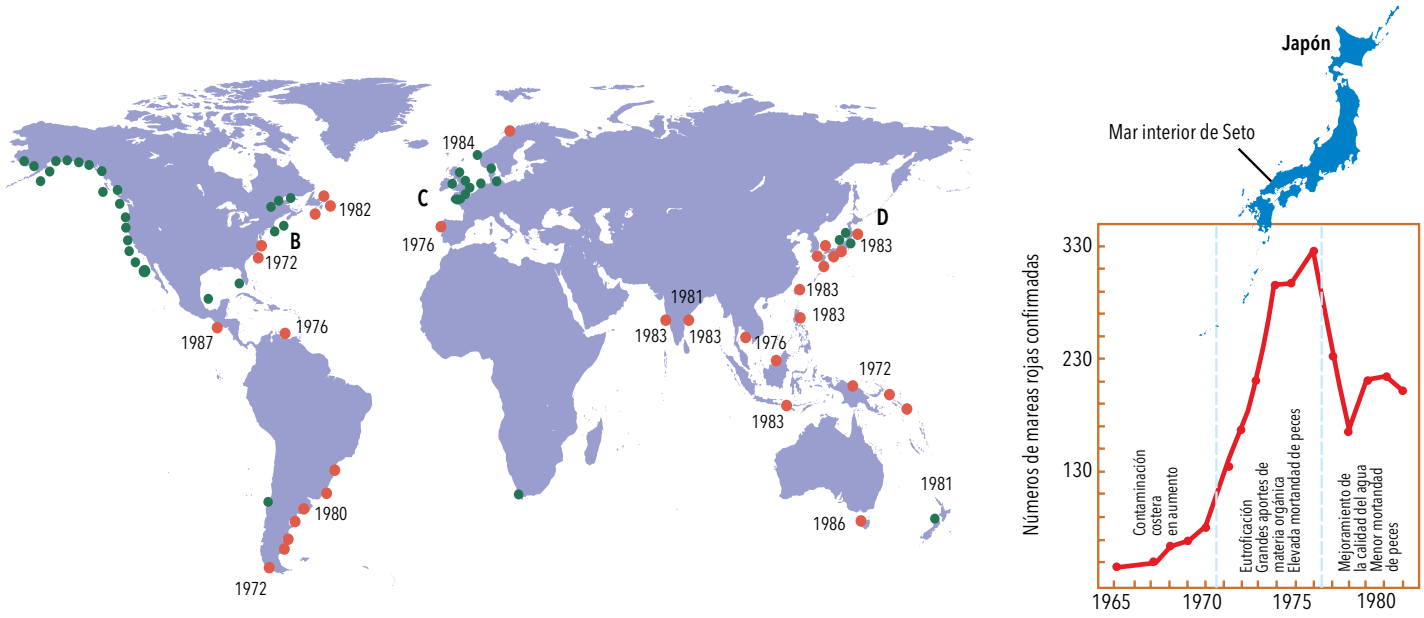



**Figura 8.** Distribución mundial de intoxicaciones por veneno paralizante de moluscos. Los puntos verdes corresponden a los registros obtenidos hasta 1972 y lo rojos, de 1972 a la actualidad. Las letras A, B, C y D señalan áreas endémicas tradicionales.
**Figura 9.** Relación entre el número de mareas rojas detectadas en el mar interior de Seto, Japón, y los procesos de contaminación del agua.

La capacidad de los dinoflagelados para sintetizar este tipo de toxinas difiere no solo a nivel genérico y específico, sino también intraespecífico. Esta es una complicación adicional ya que distintas cepas de una misma especie pueden ser o no ser productoras de toxinas. Recientemente se ha señalado que una cianofita de agua dulce (*Aphenizonemon flos-aquae*) y un alga roja multicelular (*Jania sp.*) también las producen. Una distribución tan amplia y a la vez azarosa parece estar relacionada con la existencia de bacterias intracelulares asociadas a la producción de estas toxinas.

Otro tipo de intoxicación denominado 'envenenamiento diarreico por moluscos', se origina en el crecimiento limitado (de $2{,}10^4$ a $4{,}10^4$ células/litro) de algunos dinoflagelados del género *Dinophysis* (*D. acuminata*, *D. fortii*). Aunque estos organismos no se reúnen en grandes poblaciones, los moluscos bivalvos tienen la capacidad de concentrar las toxinas y su ingestión produce desórdenes gastrointestinales que generalmente cesan luego de uno o dos días. La estructura de estas toxinas ha sido recientemente dilucidada y se las ha agrupado en dos tipos principales (figuras 7c y 7d).

Resulta, pues, imprescindible distinguir los fenómenos de mareas rojas de los de toxicidad, aun cuando en muchos casos estén asociados. Una marea roja puede ser causada por el florecimiento excepcional de una especie no tóxica, y la toxicidad de moluscos bivalvos se puede originar en la acumulación de toxinas producidas por un dinoflagelado presente en concentraciones relativamente pequeñas. La asociación de ambos fenómenos, es decir una marea roja tóxica, es una situación excepcional y de extremo peligro para la biota y la salud de la población.

Las mareas rojas aparecen en nuestros días como un fenómeno en expansión (figura 8). Debe señalarse, sin embargo, que carecemos de la información necesaria para poder asegurar que las alteraciones hoy registradas sean sucesos exclusivos de nuestro tiempo, ya que podríamos estar atravesando una fase dentro de un ciclo normal de larga duración. Pero lo cierto es que la expansión existe, y el problema es grave y de absoluta actualidad.

Una de las explicaciones mejor fundadas señala la contaminación de las aguas en las zonas estuariales o costeras de circulación restringida como principal responsable del incremento de las mareas rojas. La situación del mar interior del Japón resulta un buen ejemplo para ilustrar esta correspondencia entre contaminación y florecimientos excepcionales; prueba, también, que estos disminuyen cuando se implementan medidas adecuadas para mejorar la calidad de las aguas (figura 9). Esta experiencia ha sugerido que la magnitud de los florecimientos está parcialmente relacionada con los aportes de materia orgánica (vitaminas y sustancias quelantes) y de nutrientes inorgánicos. En esta área, como en otras bahías semicerradas o estuarios, el efecto de la hipernutrificación se conjuga, para favorecer las mareas rojas, con la estabilidad física del ambiente. Pero esta manera de explicar el auge del fenómeno que nos ocupa no puede dar razón de los florecimientos excepcionales que se producen con frecuencia cada vez mayor en áreas donde los efectos de la contaminación pueden suponerse despreciables. El suceso de 1980 en el Mar Argentino, frente a la península Valdés, ejemplifica este tipo de circunstancia.

Recientemente, y a modo de hipótesis, se ha señalado la posible conexión entre el desarrollo de mareas rojas y el incremento de la radiación ultravioleta como consecuencia de la disminución de la capa de ozono. Esta teoría se basa en el hecho de que los dinoflagelados, como otros organismos primitivos, existían en los tiempos en que dicha capa estaba en formación y debieron desarrollar entonces sistemas de protección ultravioleta. Pero de este tema ya nos hemos ocupado.

Con el fin de disminuir o eliminar los efectos nocivos de las mareas rojas, resulta absolutamente imprescindible implementar sistema de predicción y control. A pesar de los diversos modelos desarrollados, la predicción de los fenómenos sigue presentando innumerables dificultades. El típico carácter monoespecífico de estos florecimientos aparece como una ventaja, ya que permite utilizar el patrón ecológico de la especie como representante de toda la comunidad. Sin embargo, como cada una de las especies tiene distinto comportamiento, los modelos desarrollados para una de ellas no suelen ser aplicables a las demás o a áreas con diferentes condiciones fisicoquímicas. Un factor adicional de complicación es la diversidad genética de las especies formales.

En algunos casos, como en el Japón en la década de 1930, se ha intentado controlar las mareas rojas adicionando sulfato de cobre al agua en que se desarrollaban experiencias con ostras cultivadas. Aunque los dinoflagelados son más sensibles que las diatomeas y otros organismos marinos al efecto tóxico del cobre, su poca especificidad lo torna inapropiado. Tampoco ha tenido éxito el desarrollo de otros agentes químicos de control, ya que no se conoce ninguno que sea letal solo para los dinoflagelados. Por otra parte, su uso práctico resulta antieconómico aun en áreas semicerradas de escasas dimensiones. El control biológico es sin duda preferible al químico, pero su desarrollo se encuentra aún en un ámbito especulativo.

En la actualidad, el único medio para prevenir las intoxicaciones humanas es el control permanente de las poblaciones de moluscos bivalvos. Este sistema, sin embargo, no soluciona el problema de las pérdidas económicas resultantes de los períodos de veda que son en muchos casos de larga duración. Una solución práctica a este problema es la detoxificación inducida a escala industrial. De los diversos métodos existentes para lograrla, el uso de ozono parece ser el más efectivo. CH

## LOS FLORECIMIENTOS DE ALGAS NOCIVAS (FAN) SIGUEN INCREMENTÁNDOSE

ACTUALIZACIÓN

En los años transcurridos desde que se publicó este artículo, la frecuencia, la distribución geográfica y la intensidad de los FAN han seguido incrementándose, tanto a nivel local como a nivel global. Esta tendencia se ha acompañado de un notable incremento en el número de especies identificadas de microalgas productoras tanto de las toxinas ya conocidas (neurotoxinas del grupo de la saxitoxina, neurotoxinas del grupo de la brevetoxinas, toxinas diarreicas del grupo del ácido okadaico, toxinas diarreicas del grupo de las pectenotoxinas, yessotoxinas, palytoxina y toxinas de cianobacterias) como de toxinas anteriormente desconocidas, cuya estructura y efectos, solo recientemente han sido dilucidadas (ácido domoico, ciguatoxinas, gambiertoxinas, maitotoxinas, azoespirácidos, espirolidos, pinnatoxinas, gymnodiminas, etcétera). Además, el número de congéneres conocidos en un determinado grupo de toxinas (toxinas de estructura similar pero diferente toxicidad específica) es hoy muy elevado, lo que ocasiona una complicación adicional en su identificación, que requiere la aplicación de métodos de análisis sofisticados. A modo de ejemplo, se señala que el número de análogos de la yessotoxina ha sido estimado en alrededor de 100 compuestos.

Aunque se ha sostenido la existencia de una relación causal entre la eutrofización y el incremento de los FAN, otras modificaciones ambientales de origen antropogénico deben ser también consideradas. El calentamiento global implica la formación de zonas superficiales de mayor estabilidad, donde las especies capaces de soportar una mayor dosis diaria de radiación solar (especialmente de radiación ultravioleta), están favorecidas. Además, la estimulación de la fotosíntesis debida al aumento de la $pCO_2$ en la atmosfera, la calcificación reducida por la acidificación oceánica, las elevadas precipitaciones y las eventuales tormentas que producen cambios en el escurrimiento terrestre y por ende en la disponibilidad de micronutrientes y material orgánico disuelto, pueden también producir respuestas diferenciales entre las distintas especies de microalgas y, aun, entre cepas de una misma especie. Sin embargo, el escaso conocimiento que tenemos acerca del potencial que tienen las distintas especies de microalgas marinas para adaptarse (genéticamente y fenotípicamente) a los cambios ambientales producidos por el hombre, es causa de una elevada incertidumbre en la valoración de dichas relaciones causales.

### Los florecimientos tóxicos en el Mar Argentino

Aunque en el Mar Argentino se ha observado un fuerte incremento de los FAN, en este recuadro solo se tendrán en cuenta los florecimientos de las especies que producen toxinas:

*Especies productoras de toxinas paralizantes de moluscos (TPM)*

La primera documentación de la ocurrencia de *Alexandrium tamarense* (= *A. excavatum*) en Sudamérica fue obtenida en 1980, en península Valdés. Con el tiempo, esta especie se expandió hacia el norte hasta llegar ocasionalmente al sur del Brasil. La primera floración de *Gymnodinium catenatum* fue registrada en 1992, en la región estuarial del Río de La Plata. Desde entonces, las floraciones de esta especie son un fenómeno recurrente. En la región de Tierra del Fuego la especie productora de los florecimientos tóxicos es el dinoflagelado *Alexandrium catenella*. Aunque detectados por vez primera (1972) en los canales fueguinos (Chile), estos florecimientos se han incrementado notablemente, tanto en su extensión geográfica y persistencia temporal como en la magnitud de los niveles de toxicidad detectados en los moluscos. En los moluscos del canal Beagle (Argentina), durante el verano de 1990, se registraron los máximos valores mundiales de TPM.

*Especies productoras de toxinas amnésicas de moluscos (TAM)*

Varias especies de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, productoras (potenciales) de TAM, han sido observadas en la mayoría de los ecosistemas del Mar Argentino. Sin embargo, a pesar de que en algunos casos su importancia cuantitativa fue relativamente elevada, no se han registrado intoxicaciones humanas por ingestión de TAM (ácido domoico). No obstante, se ha confirmado que las poblaciones naturales de *P. australis* y *P. multiseries* producen cantidades significativas de TAM que son transferidas a niveles tróficos superiores.

*Especies productoras de toxinas diarreicas de moluscos (TDM)*

En casi todos los ecosistemas del Mar Argentino ha sido observada la presencia de varias especies de dinoflagelados del género *Dinophysis*, productoras (potenciales) de TDM. Dos de ellas, *D. caudata* y *D. acuminata*, han sido asociadas con la presencia de toxinas diarreicas en almejas (*Mesodesma mactroides*), berberechos (*Donax hanleyanus*) y mejillones (*Mytilus edulis platensis*). Recientemente (2010), los florecimientos de estas especies tuvieron como consecuencia un episodio de intoxicación diarreica en personas que ingirieron berberechos colectados en las playas de Villa Gesell. Sin embargo, el primer episodio de intoxicación diarreica de moluscos en nuestro país se detectó en Puerto Madryn (2001), identificándose el organismo causal como el dinoflagelado bentónico *Prorocentrum lima*.

*Otras especies tóxicas*

Otras especies potencialmente tóxicas como *Azadinium spinosum* (azoespirácidos), *Alexandrium ostenfeldii* (spirolidos) y *Protoceratium reticulatum* (yessotoxinas) han sido reconocidas en el Mar Argentino, aunque es poco lo que se conoce sobre su ecología y toxigenicidad.

## LECTURAS SUGERIDAS


**ANDERSON DM WHITE AW & BADEN DG** (eds.), 1985, *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier.

**BALLECH E**, 1977, *Introducción al fitoplancton marino*, Eudeba, Buenos Aires.

**CARRETO JI, LASTA ML, NEGRI RM y BENAVIDES HR**, 1981, *Los fenómenos de marea roja y toxicidad de moluscos bivalvos en el Mar Argentino*, contribución INIDEP, N° 399, Mar del Plata.

**CARRETO JI, BENAVIDES HR, NEGRI RM & GLORIOSO M**, 1986, 'Toxic redtide the Argentine Sea. Phytoplankton distribution and survival of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in a frontal area', *Journal of Plankton Resarch*, vol. 8, p. 15.

**MARGALEF R**, 1978, 'Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment', *Oceanologica Acta*, vol. I, p. 493.

**OKAICHI T, ANDERSON DM & NEMOTO T** (eds.), 1988, *Red-tides: Biology, Environmental Science and Toxicology*, Elsevier.

**TAYLOR FJR** (ed.), 1987, *The Biology of Dinoflagellates*, Blackwell.

Ciencia Hoy Volumen 15 número 86 abril - mayo 2005

**Hermes W Mianzan, Fernando C Ramírez**
Investifadores del Conicet en el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

**Luciano Chiaverano**
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

**John Costello**
Providence College, Rhode Island

# ¿Un mar de gelatina?

No sería raro que algún lector, caminando a la orilla del mar en una playa de suave pendiente, haya visto en el agua, cerca de la costa y donde solo había escasos centímetros de profundidad, flotar una gran cantidad de medusas (más comúnmente llamadas aguas vivas en estas latitudes y en inglés *jellyfish*, peces de gelatina). Es también posible que, al observar el fenómeno, le haya llamado la atención el hecho de que dicha aglomeración de medusas –llamada por los biólogos marinos un banco– estaba sujeta a un desplazamiento un tanto errático, que obedecía más al vaivén de las olas que a sus propios impulsos. La realidad es que, en la situación advertida por el hipotético lector, esos organismos marinos –que, en muchos casos, miden unos 50 centímetros de diámetro y están dotados de brazos en torno a su boca– habían sido víctimas de las corrientes costeras, el viento y las mareas, y se encontraban sin la capacidad de vencer la fuerza de arrastre del agua. Tras el descenso de la marea, miles quedarían tirados sobre la arena (figura 1). Accidentes como ese, que diezman a poblaciones enteras, se producen porque las medusas necesitan de cierta profundidad de agua para movilizarse a impulsos de sus contracciones, y para no quedar a la merced de los elementos y de su propia inconsistencia, como supuestamente habría sucedido en el imaginario caso relatado.

A pesar de su aparente fragilidad, las medusas son organismos muy antiguos en la escala del tiempo geológico. Hay evidencias de que habitaban los mares ya en el período cámbrico, que terminó hace unos 500 millones de años. Sus características anatómicas (figura 2) fueron lo suficientemente adecuadas como para que sobreviviesen desde entonces hasta el presente, por más que recientes

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los celentéreos o celenterados forman un gran grupo de invertebrados marinos que incluye a hidras, corales, pólipos y medusas. Hasta el siglo XVIII se los consideraba plantas. El público que concurre a balnearios marinos suele tener dolorosos encuentros con las últimas.

estudios encontraron pruebas de varamientos y mortandades del tipo descripto hace 600 millones de años. Su configuración física es tan simple como funcional: están constituidas por un cuerpo gelatinoso, con una densidad no lejana de la del agua marina, que configura una cavidad central en forma de bolsa rodeada por dos capas de células que conforman una epidermis y una gastrodermis. Esa cavidad fue bautizada con el nombre de celenterón, que no significa otra cosa que estómago hueco. Entre ambos mantos celulares hay una jalea temblorosa llamada mesoglea, que les sirve de estructura de sostén, poblada por células nerviosas y musculares errantes, así como por canales en los que circulan alimentos líquidos. Dicho cuerpo está rodeado, además, por la corona de tentáculos. Las medusas poseen un sistema locomotor basado en la súbita expulsión de chorros de agua, a diferencia de otros animales marinos tanto o más antiguos, como las esponjas, que no se desplazan sino que viven adheridos a un sustrato. Un largo proceso de diversificación las llevó a habitar gran variedad de ambientes marinos, desde las aguas costeras al mar abierto, en la superficie y en las profundidades, con dimensiones que van de lo microscópico hasta los 2 metros de diámetro, en este caso con brazos y tentáculos que superan la decena de metros de longitud.

En los últimos tiempos se ha observado una tendencia de las poblaciones de medusas a aumentar en número, al punto de que algunos medios de prensa europeos se preguntaron si no estarían sustituyendo a los peces en el Mediterráneo. El fenómeno está despertando la atención de la comunidad científica, que ya realizó varios congresos específicos sobre el tema, y de varios países, que organizaron programas de investigación. Un ejemplo de estos es el proyecto European Gelatinous Zooplankton, financiado por la Comisión Europea, acerca de los mecanismos de la



**Figura 1.** La medusa *Chrysaora plocamia* en las playas de Puerto Madryn. Gentileza JL Estévez y JB Albaladejo

proliferación de medusas y sus efectos ecológicos y socioeconómicos, descripto en detalle en la página de Internet *http://www.ifm.uib.no/eurogel/*. En líneas generales, las investigaciones atribuyen estos cambios a varios factores de origen humano (o antropogénicos), como la pesca excesiva, la eutrofización y hasta el cambio climático.

De ser cierta esta explosión poblacional, tendría consecuencias negativas para muchas actividades económicas. El turismo, por ejemplo, ocuparía su lugar en la lista de los damnificados, algo que ya se insinúa, pues con el incremento de los viajes a playas lejanas ha aumentado también el número de personas con lesiones, a veces severas, ocasionadas por el contacto con aguas vivas. Las consecuencias de rozar uno de estos animales varían según la persona y la especie de medusa, pero hoy las especies consideradas peligrosas superan el centenar, y la lista continúa en expansión.

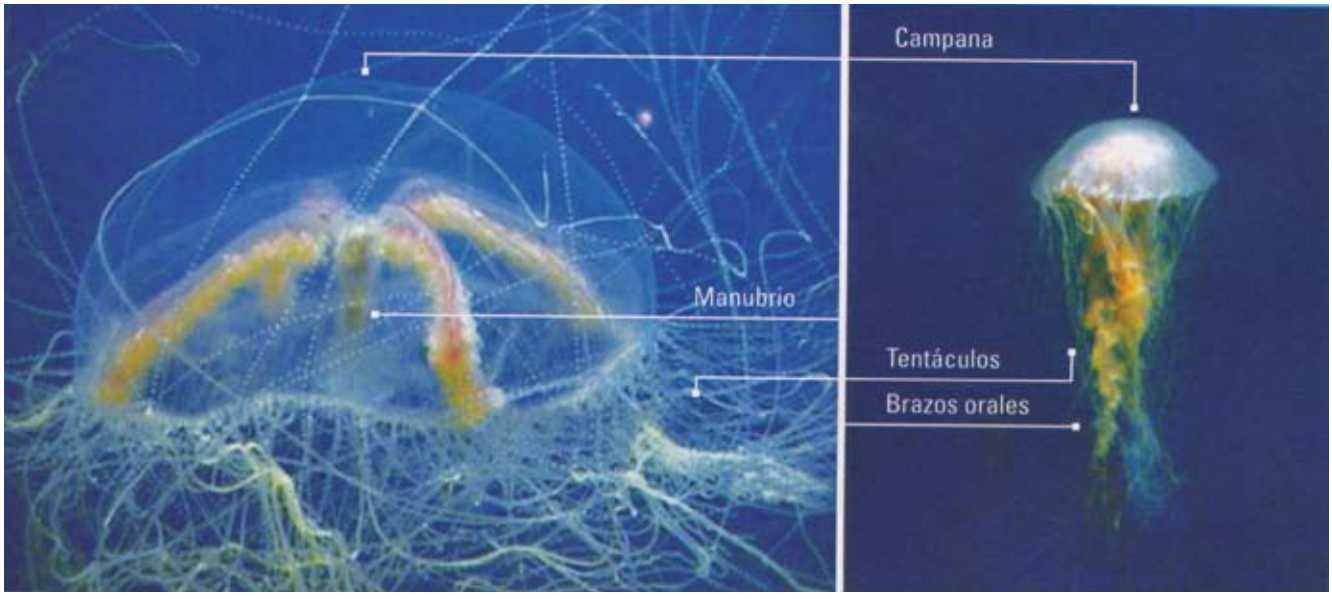



**Figura 2.** Morfología de las medusas *Olindias sambaquiensis* (izquierda) y *Chrysaora lactea*, que habitan la zona de Monte Hermoso y el estuario del Río de la Plata respectivamente. Gentileza R Guerrero

En la década de los 80, una pequeña medusa de solo 20cm de diámetro (*Pelagia noctiluca*) tomó literalmente por asalto las playas mediterráneas durante varias temporadas. Las pérdidas económicas que generó a empresas vinculadas con el turismo fueron enormes. En Australia y Nueva Zelanda es conocida la presencia de medusas potencialmente mortales, pertenecientes al grupo de las cubomedusas, así denominadas por la forma de sus cuerpos. Particularmente peligrosas son sus especies *Chironex fleckeri* y *Chiropsalmus quadrimanus*, otrora culpables de muertes de buceadores nativos en tiempos de pescadores de perlas, y hoy en día causantes de víctimas entre bañistas desprevenidos.

Las lesiones ocasionadas por medusas (figura 3) son producidas por unas células de la epidermis llamadas cnidocitos. Estas células poseen unas organelas (o estructuras subcelulares) urticantes, denominadas ne-



**Figura 3.** Lesiones producidas por la medusa *Olindias sambaquiensis*, tomadas a los pocos minutos (izquierda) y cuatro días después de producidas. Gentileza V Dimartino

## TRATAMIENTO DE LESIONES CAUSADAS POR MEDUSAS

**Ana Girardelli**
Hospital Superiora Ludovica, La Plata

Las lesiones ocasionadas por celenterados han dado lugar a que se recurra a infinidad de remedios populares, por lo general basados en sustancias de las zonas donde se produce el accidente. En la mayoría de los casos, esas supuestas curas son perjudiciales. Los intentos de retirar los restos de tentáculos a menudo provocan la descarga de nematocistos, con el consecuente incremento de toxina inoculada. Tratar de calmar las molestias con cremas cosméticas, aceites, arena o barro añade al trastorno el riesgo de infección secundaria.

La toxina inyectada por la medusa varía con cada especie, por lo que varían también la forma y la severidad de la lesión. La reacción cutánea y el dolor, presentes en todos los casos, pueden ser la única consecuencia o el preludio de algo más grave.

Enseguida del accidente, es aconsejable lavar la zona afectada, primero, con agua de mar, y después, con la menor demora posible, con ácido acético diluido al 5% (que puede ser reemplazado por vinagre), para desecar los restos de tentáculos. Otras sustancias desecantes que han demostrado efectividad son el alcohol isopropílico diluido al 40% y el sulfato de aluminio. Luego hay que remover los restos de tentáculos, preferentemente bajo supervisión médica. Para hacer un trabajo exhaustivo es recomendable usar pinzas y una lupa, y es prudente que quien lo realice se ponga guantes, ya que los nematocistos pueden activarse durante el procedimiento. Por último, conviene lavar la zona con abundante agua. En los casos leves, estas medidas suelen ser suficientes.

La persistencia del dolor o la aparición de edema, prurito, ampollas o entumecimiento requieren tratamiento con corticoides tópicos, antihistamínicos, analgésicos y, excepcionalmente, anestésicos locales. Los individuos con hipersensibilidad pueden sufrir un shock, por mínimo que haya sido el contacto, y deben ser rápidamente hospitalizados. Los envenenamientos severos son propios de contactos masivos o los producen ciertas especies particulares, como *Chironex fleckeri* o avispa de mar (*sea wasp*), que habita entre Queensland, en el norte de Australia, y Malasia, la única para la que hay antiveneno, disponible en esa región. En tales casos severos, a los pocos minutos el paciente experimenta descompensación cardiovascular con marcada hipotensión, confusión y trastornos gastroenterales. Ante síntomas de este tipo, todas las acciones descriptas al comienzo deben posponerse en beneficio del traslado inmediato del paciente a un centro asistencial.

Recuerde los siguientes principios y consejos prácticos:

- Lleve ácido acético al 5% si se va a costas donde la presencia de medusas es habitual.
- Los remanentes de medusas en la playa suelen mantener nematocistos activos.
- Nunca friccione la piel afectada.
- El agua dulce favorece el estallido de los nematocistos.
- No aplique compresas o sustancias que impidan secar los restos.
- Indique al médico si se ha recibido vacuna antitetánica pues, en casos de accidentes con animales ponzoñosos, es aconsejable aplicarla a quien no estuviese inmunizado.

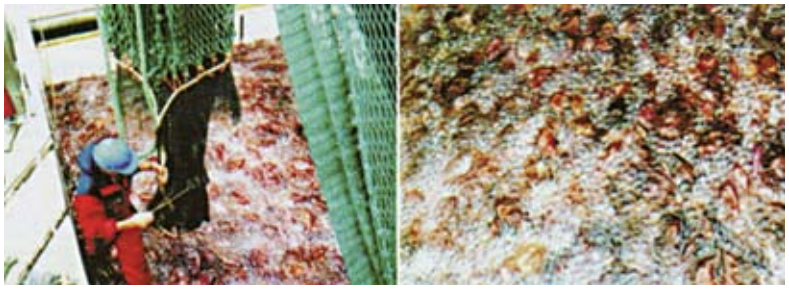


**Figura 4.** Organismos capturados en redes de fondo arrastradas para pescar la merluza en la corriente de Benguela frente a Namibia. Las medusas de color marrón son *Chrysaora hysoscella* y las transparentes, *Aequorea spp.* Gentileza E Buecher

matocistos, que se pueden describir como dardos disparados por presión de agua. Cada dardo se fija a la víctima y se prolonga en un filamento hueco que inyecta veneno paralizante. Este mecanismo es exclusivo de los celenterados, un *phylum* zoológico que, además de las medusas, incluye algunos grupos de seres gelatinosos del plancton, como los sifonóforos, o del fondo marino, como las actinias o anémonas de mar. El disparo de dardos venenosos es una forma de caza, pero no tiene su origen en un acto ofensivo o defensivo del animal sino que resulta desencadenado por el contacto con el ser u objeto que lo embiste, aunque no se puede descartar la posibilidad de que, en algunos casos, en lugar de responder al estímulo táctil, sea consecuencia de un estímulo químico proveniente de la víctima. Los cnidocitos con sus nematocistos se hallan principalmente concentrados en algunos engrosamientos de los tentáculos o en los bordes del cuerpo, de donde parten en forma masiva, como esas lluvias de flechas que, en antiguos grabados, eran disparadas por máquinas de guerra sobre los enemigos.

En los centros turísticos se han ensayado diversos procedimientos para mantener las medusas alejadas de las zonas de bañistas. El más empleado consiste en crear una barrera paralela a la playa con redes de pesca colocadas en posición vertical. El sistema tiene el inconveniente de romper el frágil cuerpo de los organismos por el continuo batido del oleaje, con la consiguiente dispersión de sus restos en la zona de baño. Como el sistema nervioso de la mayoría de las medusas tiene la forma de una retícula uniforme distribuida por todo su cuerpo, sin un órgano central, cualquier roce de la piel de los bañistas con fragmentos dispersos de un agua viva, que se podría considerar muerta, produce el mismo efecto que haber entrado en contacto con un ejemplar completo. El método fue utilizado hace varios



**Figura 5.** El ctenóforo *Mnemiopsis leidyi* en el mar Negro. Gentileza A Kidey

años en la bahía de Chesapeake, en los Estados Unidos, para defenderse de la ortiga de mar (*Chrysaora quinquecirrha*), con el resultado descripto.

Las medusas tienen un largo historial de atascar tomas de agua marina destinada a refrigerar plantas generadoras de electricidad. En los países bálticos, Corea, la India, Arabia Saudita, Australia y Filipinas han hecho salir de servicio a generadores, a lo que siguió la interrupción del suministro eléctrico, la detención de industrias de proceso continuo y el apagado del alumbrado público. En diciembre de 1999, en las Filipinas, media isla de Luzón quedó a oscuras porque enormes cantidades de la medusa *Aurelia sp.* habían sido succionadas por las bombas impulsoras del agua de refrigeración de una planta y taponado los conductos de entrada del líquido desde el mar, con el consiguiente calentamiento de las instalaciones, su paro y la propagación de una psicosis de atentado entre la gente. Fueron necesarios cincuenta camiones para retirar la biomasa gelatinosa acumulada en los conductos. Dicha especie se caracteriza por prosperar en cuerpos de agua sujetos a eutrofización, es decir aquellos en que se acumulan nutrientes en forma desmedida, algo típico de ambientes semicerrados, como bahías, ensenadas, estuarios o puertos. Como las poblaciones de esta medusa fluctúan en número, el problema es cíclico.

Con frecuencia se afirma que el incremento de las poblaciones de medusas es consecuencia de la pesca excesiva (entendiendo por tal la captura de peces en números superiores a las posibilidades de recomposición natural de las existencias). Como los organismos gelatinosos del plancton son importantes componentes de la dieta de los peces, aun cuando su cuerpo esté formado en más del 95% por agua, la disminución del número de estos llevaría al incremento del de aquellos. Tal efecto se produciría no solo por la menor presión depredatoria sufrida por las medusas sino, también, porque quedarían a su disposición toneladas de los minúsculos organismos planctónicos que constituyen su alimento, ya que habría menos peces con los cuales competirían por su consumo. En la medida en que lo anterior esté efectivamente sucediendo, como parece probable, queda desechada la antigua concepción de que las medusas eran eslabones sueltos de la cadena alimentaria del mar, y que tras su muerte natural desaparecían por degradación bacteriana. Tal posición se fundamentaba en el supuesto, hoy considerado falso, de que serían alimento poco apetecible y de escaso valor nutritivo para los depredadores, algo que se sostuvo a pesar de que desde hace más de 1500 años el propio ser humano pesca y consume medusas en China y Japón.

Evaluaciones efectuadas frente a las costas de Sudáfrica y de Namibia durante la década del 80 descubrieron una gran abundancia de las medusas *Chrysaora hysoscella* y *Aequorea aequorea*, y una disminución de la pesca (figura 4), a pesar de que la corriente subantártica de Benguela, que baña las plataformas de esas costas, aporta abundante nutrición. Por su lado, durante los años 90 investigadores ligados a la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos registraron aumentos de más de diez veces de las poblaciones de las medusas *Chrysaora melanaster* y *Aequorea aequorea* en el mar de Bering, aunque no pusieron en claro si sucedieron a expensas de otros miembros del ecosistema. En este mo-



**Figura 6.** Invasión de la medusa *Phyllorhiza punctata* en el golfo de México. Gentileza M Graham

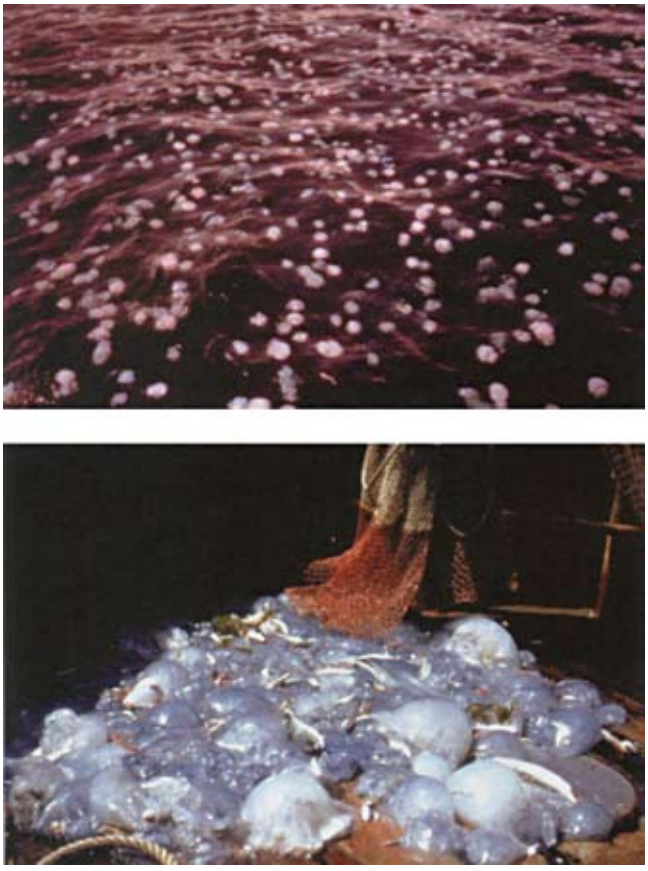


**Figura 7.** Vista de la bahía de Haifa, en el Mediterráneo (arriba), luego de la invasión de la medusa exótica *Rhopilema nomadica*, oriunda del Mar Rojo y entrada en el primer mar por el canal de Suez. Abajo, la misma medusa atrapada en redes de pesca en dicha bahía. Gentileza B Galil



**Figura 8.** Ctenóforos atrapados al extraer muestras de plancton en el estuario del Río de la Plata.



**Figura 9.** Medusa *Lychnoriza lucerna* capturada en el estuario del Plata.

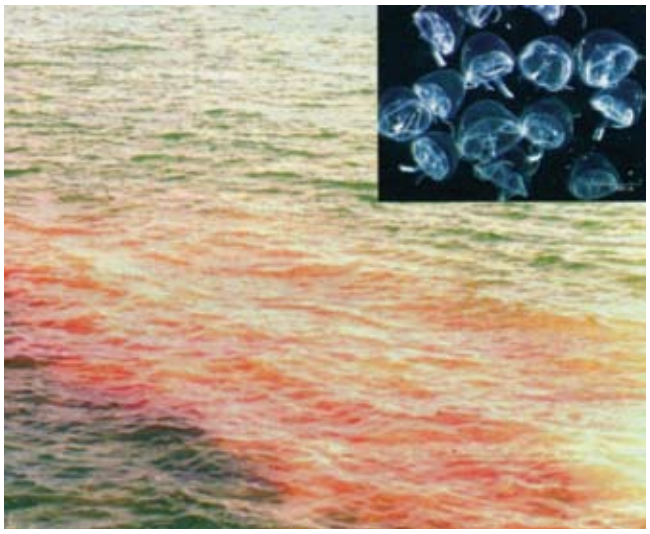


**Figura 10.** Medusa *Liriope tetraphylla* en Santa Clara del Mar. Con permiso de S Karger AG, Basilea.

mento se discute si se está pescando en exceso en dicho mar, que es muy productivo y aporta el 5% de la cosecha mundial de pescados y mariscos. No se ha llegado a un acuerdo, pero como los incrementos de las poblaciones de ambas medusas parecen reales, se busca su causa. Al mismo tiempo, se ha encontrado cierta correlación entre esos incrementos y el cambio climático, que comenzó a manifestarse en la región aproximadamente en el mismo momento.

En el Mar Negro y cuencas adyacentes, donde había una importante actividad pesquera, ahora se extraen pocos peces y, en su lugar, gran número de medusas y ctenóforos (estos, vulgarmente llamados nueces de mar, son otros invertebrados marinos gelatinosos). La situación de dichos cuerpos de agua se fue deteriorando por exceso de pesca y por eutrofización, y recibió un golpe de gracia con la invasión del ctenóforo *Mnemiopsis leidyi* (figura 5), un organismo exótico (ajeno al ecosistema) que se estableció primero en el Mar Negro, en 1982, y luego en el Caspio, en 2000, traído en el agua de lastre de petroleros. De la misma manera, en 2000 el golfo de México fue escenario de la invasión de la medusa *Phyllorrizha punctata*, proveniente de la cuenca indopacífica, la que se observó en densas agregaciones, de más de cincuenta individuos por metro cuadrado (figura 6). Aunque su disminución numérica al año siguiente ha llevado a abrigar la esperanza de que la especie no se haga residente, aún no se dispone de resultados definitivos que permitan sacar una conclusión. La medusa *Rhopilema nomadica*, que vive en el Mar Rojo, está ahora en el Mediterráneo, al que pudo haber ingresado por el canal de Suez. Es tóxica para el ser humano y, desde 1996, se congrega frente a las costas de Israel (figura 7), donde cada verano sus grandes agregaciones limitan la captura comercial de peces y perturban la actividad deportiva.

Una dificultad para confirmar el aumento de las poblaciones de organismos gelatinosos reside en que a menudo quienes estudian otros organismos pasan por alto las medusas, que pueden colmar las redes de plancton que usan en sus investigaciones (figura 8). Cabe, incluso, que las eliminen de las muestras que recolectan, para facilitar el recuento de los organismos de su interés e impedir que se les queden pegadas masas gelatinosas. Aun si no fuesen eliminadas, los líquidos conservantes comunes, como el formol, contraen y desfiguran sus cuerpos, les quitan su coloración natural y producen su fragmentación, con el resultado de que se frustra la posibilidad de registrar su número y clasificación sistemática.

Además, y para complicar aun más la situación, es preciso distinguir entre el incremento poblacional por reproducción y la concentración en espacio reducido de una población estable, pues las medusas tienden a formar de improviso densas aglomeraciones y a dispersarse de forma igualmente súbita. Para peor, tales fenómenos se producen con irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo. Por ejemplo, la circulación de masas de agua puede dar por resultado la aparición de enjambres de medusas en sectores donde no se las encontraba. Su transporte se ve facilitado por la baja densidad de sus cuerpos gelatinosos. El incremento de las poblaciones, en cambio, es un fenómeno de otra índole motivado en razones fisiológicas u otras, por lo general como respuesta a factores externos. Con estas prevenciones, vale la pena destacar algunos estudios realizados localmente, que revelan situaciones semejantes a las descriptas en otras regiones.

Se han constatado importantes aglomeraciones de las medusas *Aequorea sp.* en la zona de la isla Escondida en Chubut, de *Lychnorrhiza lucerna* (figura 9) en el Río de la Plata, de *Liriope tetraphylla* (conocida como tapioca) en Mar del Plata y otros balnearios bonaerenses (figura 10) y de



**Figura 11.** *Olindias sambaquiensis* en las playas de Monte Hermoso.

*Chrysaora lactea* en el Plata. También se han hallado concentraciones de la salpa *Iasis zonaria* (salpas con organismos marinos gelatinosos, más evolucionados que las medusas) en las costas de la provincia de Buenos Aires, y son bien conocidas las densas concentraciones alcanzadas por el ctenóforo *Mnemiopsis leidyi* en cuerpos semicerrados del litoral atlántico, como los estuarios del Plata y de Bahía Blanca, y el golfo Nuevo en Chubut, etcétera.

Como ejemplo paradigmático del impacto de estos organismos en la actividad recreativa se puede citar a la medusa *Olindias sambaquiensis* (figura 11) que, entre Claromecó y Monte Hermoso, ocasiona continuos trastornos a los veraneantes. Por otra parte, cada tanto se requiere que buzos desciendan a destapar conductos de agua de refrigeración de buques fondeados cerca de la costa de Puerto Madryn que resultan obstruidos por la medusa *Chrysaora plocamia*.

Para poder conocer mejor estos fenómenos y disminuir sus consecuencias adversas, es necesario hacer observaciones y mediciones sostenidas en el tiempo, en cadenas de estaciones que cubran grandes regiones. Existen hoy métodos sumamente efectivos y relativamente económicos para registrar de manera confiable la distribución, el comportamiento y la abundancia de los organismos gelatinosos, como la detección acústica, que ha pasado a constituir una tarea de rutina en muchos programas oceanográficos. Así se podría tener una visión realista de la situación y hacer previsiones sobre un manejo global de los recursos del océano, y estaríamos en condiciones de dar respuesta realista a la pregunta que encabeza el presente trabajo, esto es, si las tres cuartas partes de nuestro planeta se encuentran en peligro de ser cubiertas por un mar de gelatina. CH

*La información sobre la que se basa este artículo procede de proyectos de investigación subsidiados por la Fundación Antorchas, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y la Universidad Nacional de Mar del Plata. Los autores agradecen la ayuda recibida de EM Acha, José Luis Estévez (CENPAT), José Benedicto Albaladejo (Instituto Español de Oceanografía), V Dimartino (Museo de Ciencias Naturales de Monte Hermoso), Raúl Guerrero (INIDEP), Monty Graham (Dauphin Island Sea Lab), Ahmet Kidey (Instituto de Ciencias del Mar de Turquía), Emmanuelle Buecher (Marine & Coastal Management de Sudáfrica), Bella Galil (Instituto Nacional de Oceanografía de Israel) y Adam Benovic (Instituto de Oceanografía y Pesca de Croacia). También a la editorial Karger (Suiza) el permiso de reproducir una figura.*

## LECTURAS SUGERIDAS

**ARAI MN**, 1997, *A functional biology of Scyphozoa*, Chapman and Hall, Londres.

**BENOVIC A**, **JUSTIC D & BENDER A**, 1987, 'Enigmatic changes in the hydromedusan fauna of the northern Adriatic sea', *Nature*, 326: 597-600.

**ESNAL GB & DAPONTE MC**, 1999, 'Salpida', en BOLTOVSKOY D (ed.), *South Atlantic Zooplankton*, Backhuys, Leiden, pp. 1423-1444.

**MIANZAN H**, **SORARRAIN D**, **BURNETT J & LUTZ L**, 2000, 'Mucocutaneous junctional and flexural paresthesias caused by the holoplanktonic trachymedusae Liriope tetraphylla', *Dermatology*, 201: 46-48.

**RAMÍREZ F**, 2002, *Plancton sin formol*, INIDEP, Mar del Plata.

**WILLIAMSON JA**, **FENNER PE**, **BURNETT JW & RIFKIN JF** (eds.), 1996, *Venomous and Poisonous Marine Animals: a Medical and Biological Handbook*, University of New South Wales Press, Brisbane.


© Clinton Bauder

Ciencia Hoy Volumen 9 número 50 enero - febrero 1999

**María L Mendoza**
Centro Austral de Investigaciones
Científicas, Conicet, Ushuaia

# Las macroalgas marinas bentónicas de la Argentina

Las algas que proliferan en el fondo marino se denominan *macroalgas marinas bentónicas* –'bentónico' es todo aquello que vive en contacto con el fondo de un cuerpo de agua–. Son vegetales que crecen adheridos al material que forma la costa o sustrato, y que en general son poco conocidos por los no especialistas pues para verlos es necesario encontrarse en la playa en los momentos de marea baja, cuando el sustrato queda al descubierto. Sin embargo, cuando las plantas forman grandes poblaciones –como los bosques de *Macrocystis pyrifera* o las praderas de *Lessonia nigrescens* o *Durvillaea antarctica*– se las puede observar aun en los momentos de marea alta. A veces, en las playas de observan acumulaciones de macroalgas muertas, denominadas *arribazones*, que fueron arrancadas del mar por el fuerte movimiento del agua y despedidas sobre la costa.

En grandes rasgos, y según los pigmentos que posean los cloroplastos –organelas donde se realiza la fotosíntesis–, las macroalgas se clasifican en tres grandes grupos: las rojas (*Rhodophyta*), las de color pardo (*Phaeophyta* o *Phucophyta*) y las verdes (*Chlorophyta*) (ver el recuadro 'Características biológicas de las macroalgas').

La vida de las macroalgas marinas está condicionada al lugar donde crecen, o *hábitat*, sobre el cual los factores abióticos ejercen un efecto importante. El fotoperíodo, o sea, la duración relativa de los períodos de luz y de oscuridad diarios, es un factor esencial en su vida. En estas plantas, como en las terrestres, los procesos vitales se rigen por la fotosíntesis (ver 'Agua, carbono, luz y vida', Ciencia Hoy, 27: 41-55, 1994). Sin embargo, no todas las macroalgas necesitan la misma intensidad luminosa para este proceso, ya que esto depende de los pigmentos que posean. Así, las macroalgas verdes, capaces de absorber mucha energía lumínica, abundan en los primeros tramos de la costa. Mientras que a profundidades mayores, donde la penetración de la luz es menor, predominan las macroalgas rojas y pardas.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Las macroalgas marinas forman parte del paisaje de los fondos de nuestras costas. Esta vegetación se constituye de diferentes especies, cuyo valor comercial no se halla suficientemente explotado en el país.

La distribución de las macroalgas en las distintas profundidades del litoral se denomina *distribución vertical* o *zonación*. Se relaciona con el equilibrio entre los procesos fotosintéticos y de respiración. En cada lugar de la costa existe un conjunto de condiciones ambientales que permite el crecimiento de determinadas especies. En los niveles ecológicos superiores, el movimiento del agua es un factor importante. En cambio, en las aguas más profundas lo es la intensidad luminosa.

El movimiento periódico de mareas determina distintos sectores en el litoral marítimo. El primer tramo se denomina *supramareal*. Se caracteriza por permanecer generalmente expuesto y es humedecido solo por la salpicadura de las olas o de las mareas extraordinarias. Aquí el desarrollo de las macroalgas marinas es casi nulo; es colonizado principalmente por líquenes, algas azul verdosas o plantas halófitas.



**Figura 1.** Planta de *Macrocystis pyriferia* y macroalgas rojas calcáreas.



**Figura 2.** Macroalga parda (*Lessonia*) y rojas calcáreas.

Le sigue el *intermareal* o sector de la costa sometido a los vaivenes de las mareas. En él se distinguen el intermareal superior, que queda al descubierto en los momentos de mareas bajas normales. En este nivel abundan los géneros de macroalgas verdes. En las costas argentinas se observan ejemplares de los géneros *Blidingia*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Monostroma*, *Prasiola*, etcétera.

El *intermareal inferior*, en cambio, solo se descubre los días de mareas muy amplias y en él predominan las macroalgas rojas y pardas. En nuestras costas se encuentran, además de ejemplares de la macroalga verde *Ulva*, abundantes ejemplares de las macroalgas pardas *Adenocystis*, *Corycus*, *Pylaiella*, *Ralfsia*, etcétera. Entre las rojas, *Porphyra*, *Nothogenia*, *Hildenbrandia*, *Ceramium*, *Sarcothalia*, *Corallina*, *Synarthrophyton* (figuras 3, 5 y 6). En el límite inferior de esta zona se presentan, en la costa patagónica, las praderas de *Lessonia* (figuras 2, 7 y 8) y, en algunas localidades de Tierra del Fuego, isla de los Estados e islas Malvinas, también las praderas de *Durvillaea*.

Por último, por debajo de la línea de marea baja, se extiende el sector de costa denominado *submareal*. Solo puede descubrirse la porción superior, esporádicamente, los días de mareas notablemente amplias. En él crecen, en la costa patagónica y en ciertas localidades de Tierra del Fuego, abundantes macroalgas rojas de las familias *Delesseriaceae* y *Corallinaceae*, entremezcladas con abundantes géneros de algas pardas como *Desmarestia*, *Dictyota* y algunos ejemplares de *Macrocystis pyriferia*. También, crecen con los géneros de algas verdes *Bryopsis* y *Codium*, que no se encuentran en el intermareal, y *Ulva*, que presenta una distribución vertical más amplia.

El submareal inferior no queda al descubierto en ningún momento del año. En esta zona, en las costas patagónicas, Tierra del Fuego, isla de los Estados e islas Malvinas aparecen los extensos bosques de *Macrocystis pyrifera* (figuras 1 y 9) y solo en la costa fueguina se observan también los microarrecifales y *Pseudolithophyllum fuegianum* y los bancos calcáreos de *Lithothamnion heterocladum* (figura 4).

## Las algas y el movimiento del agua

El movimiento del agua de mar es el resultado de las corrientes marinas, de las mareas y de las olas o marejadas. Se designa con el nombre de *modo del agua* el grado de movimiento, directamente relacionado con el nivel de exposición de la costa, la cual puede ser de modo agitado, tranquilo o intermedio. Las macroalgas marinas, por vivir en el mar, están asociadas al movimiento del agua y, por ello, poseen talos adaptados a él. Un ejemplo notable es la enorme flexibilidad que poseen los talos de las grandes macroalgas pardas –*Lessonia*, *Durvillaea*, *Macrocystis*– que les permiten soportar, a pesar de su tamaño, los fuertes vaivenes del agua (figuras 7 a 9). Además, los talos de Ma-



**Figura 3.** Macroalga roja calcárea (*Synarthrophyton*).

*crocystis pyriferia* presentan pequeños flotadores en la parte inferior de las expansiones laminares. Esto permite que gran parte de la fronde permanezca en la superficie del agua y así captar la intensidad luminosa necesaria para los procesos de fotosíntesis, mientras que el grampón de fijación se encuentra adherido a unos quince o veinte metros de profundidad. El movimiento del agua juega también un papel importante en la reproducción y la perpetuidad de las especies marinas, ya que las células asexuales y sexuales son transportadas por el agua de mar para la fecundación o la adhesión al sustrato.

## Distribución geográfica de las principales macroalgas en la Argentina

La distribución geográfica de las especies de macroalgas está estrechamente relacionada con la temperatura del agua de la costa. En nuestras costas se presentan tres zonas de masas de aguas: una de convergencia, con aguas templadas, que corresponden a las playas de las provincias de Buenos Aires y Río Negro. Otra de aguas subantárticas –desde los 42° hasta los 25°S–, que comprende las aguas patagónicas, islas Malvinas, isla Grande de Tierra del Fuego e islas del Atlántico Sur, región donde la temperatura del agua es baja pero no llega al punto de congelación. Por último, las aguas del sector antártico, que permanecen congeladas la mayor parte del año.

La diversidad de las masas de agua en nuestras costas posibilita la presencia de diferentes ambientes marinos, cada uno de estos con una exuberante y variada vegetación marina bentónica. En nuestras costas se describieron cuatro provincias fitogeográficas: la provincia uruguayo-bonaerense, la patagónica, la fueguina y la antártica (figura 10). En las tres últimas se registró la presencia de especies con alto número de individuos, característica típica de los componentes florísticos de las regiones de aguas frías. Estas provincias se distinguen también por la presencia de ejemplares de tamaño considerablemente grande: *Macrocystis*, 35 metros o más de largo, *Lessonia* y *Durvillaea*, hasta 5 y 10 metros, respectivamente.

La vegetación marina de la provincia oceánica patagónica se caracteriza, fundamentalmente, por la presencia de los grandes bosques de *Macrocystis pyriferia*, las praderas de *Lessonia*, la abundancia de ejemplares de las familias *Delesseriaceae* y *Ceramiaceae*, y el marcado dominio de la macroalga calcárea erecta *Corallina officinalis*.



**Figura 4.** Macroalga roja calcárea (*Lithothamnion heterocladum*)

La composición florística de la provincia oceánica fueguina se distingue por la presencia de los bosques de *Macrocystis pyriferia*, las praderas de *Lessonia* y *Durvillaea*, los microarrecifales de *Pseudolithophyllum fuegianum* y los bancos calcáreos de *Lithothamnion heterocladum*, mientras que la vegetación marina de la provincia oceánica antártica se diferencia por la presencia de las grandes plantas de *Himantothallus grandifolius* y *Cystosphaera jacquinotti*, además de otros taxones.

## Las macroalgas en la vida cotidiana

La utilización de las macroalgas en la dieta alimentaria humana data de tiempos inmemoriales. En la actualidad, algunas especies se emplean como materia prima para elaborar diferentes coloides, como el agar, los carragenanos y el alginato. Gracias a sus propiedades fisicoquímicas, estas sustancias actúan como agentes gelificantes, espesantes y estabilizadores. Se obtienen exclusivamente de las macroalgas; no existen por el momento equivalentes sintéticos. En la industria textil se utilizan para imprimir el color en las telas. También se usan en el tratamiento del papel, del vidrio y en la elaboración del barniz. La industria alimentaria recurre a ellas para elaborar cremas, helados, postres lácteos, yogures, flanes, batidos de chocolates, dulce de leche y de batata, confituras, gelatinas dietéticas, sopas, jugos de frutas, en la preparación de papillas para bebés, etcétera. En estos últimos años, el carragenano es empleado en la elaboración de los productos derivados de la carne, envasados o embutidos, pues les proporciona la consistencia necesaria cuando el contenido de grasa es bajo.



**Figura 5.** Macroalgas verdes mezcladas con rojas y pardas.



**Figura 6.** Macroalga verde (*Ulva*), parda (*Adenocystis*) y roja *(Sarcothalia*).

## CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS MACROALGAS

El tamaño de las macroalgas marinas es diverso. La longitud de la mayoría de los especímenes de las costas argentinas varía desde los 7 hasta las 50cm, aunque existen otros ejemplares más pequeños —como *Prasiola*, de 1cm— y otros que llegan a los 35m, como *Macrocystis pyrifera* (figura I).

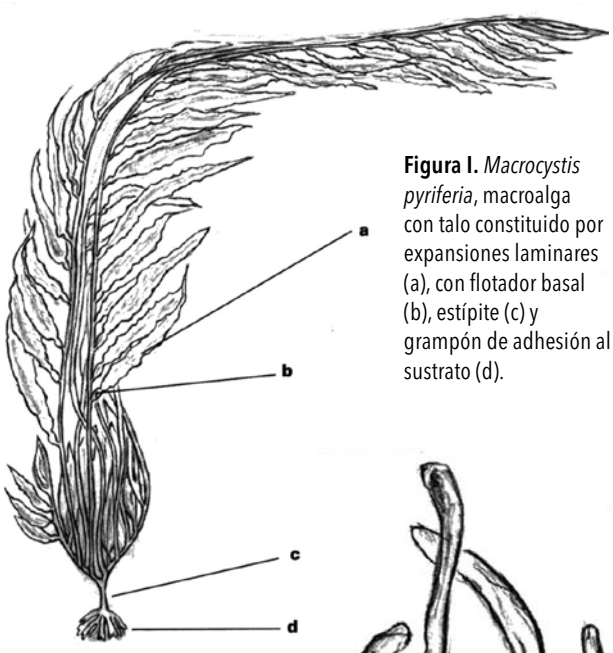



**Figura I.** *Macrocystis pyrifera*, macroalga con talo constituido por expansiones laminares (a), con flotador basal (b), estípite (c) y grampón de adhesión al sustrato (d).

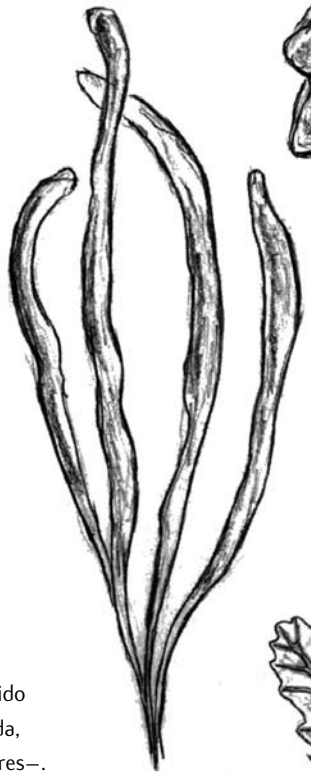


**Figura II.** *Enteromorpha prolifera*, macroalga con talo tubular, adherido al sustrato por rizoides.

El cuerpo vegetativo de las macroalgas, en el que no se diferencian raíz, tallo u hojas, se denomina *talo*. En algunas macroalgas el talo es filamentoso —formado por una fila de células simples— o de tipo sifón —constituido por una célula muy larga, ramificada, multinucleada y sin tabiques celulares—. En otras, el talo es tubular —hueco, en forma de tubo alargado (figura II)—, esférico, laminar (figuras I y III) o foliar (figura IV). La superficie puede ser lisa o con nervios. Su consistencia puede asemejarse a la de una membrana, al papel, ser dura como el cartón o el cuero o bien gelatinosa. En algunas macroalgas, las paredes internas de las células del talo están totalmente recubiertas por carbonato de calcio. Estas macroalgas calcáreas están representadas solo por ejemplares del orden *Corallinales* (*Rhodophyta*) (figuras 1 a 4 del texto central).

El talo se adhiere al sustrato a través de distintas estructuras: rizoides, un pequeño disco basal de 0,3 a 2cm de diámetro (figura III) o un conjunto de prolongaciones cilíndricas, bifurcadas y entrelazadas que forman un pequeño grampón (figura I). Algunas especies de macroalgas necesitan un determinado sustrato, mientras que otras no presentan preferencias. La mayoría de las especies crecen sobre fondos duros, sólidos, con preferencia sobre piedras o rocas. Estas especies se denominan *saxícolas* o *epilípticas*. Otras se adhieren a las valvas o al caparazón de los invertebrados marinos —moluscos, cangrejos, centolla, etcétera— y se las conoce con el nombre de *epizoicas*. Por último, las *epifitas* son aquellas que se fijan sobre los talos de otras macroalgas.

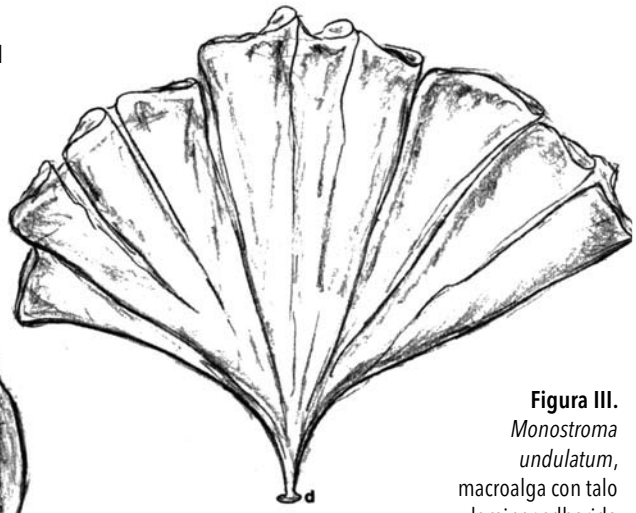



**Figura III.** *Monostroma undulatum*, macroalga con talo laminar adherido al sustrato por un pequeño disco (d).



**Figura IV.** *Phycodrys quercifolia*, macroalga con talo foliar con nervadura central y nervios laterales.

Los productos derivados de las macroalgas ocupan también un lugar de preferencia en cosmetología, ya que se utilizan en la preparación de cremas de belleza, reductoras o para afeitar, champús, pasta y gel dental, etcétera. Además, son empleados en la cobertura de algunos medicamentos y, en odontología, como horma en la toma de las impresiones dentales, así como el agar es parte fundamental en los medios de cultivos bacteriológicos. Por otra parte, por su alto contenido de proteínas y minerales, las macroalgas son utilizadas en la elaboración de dietas balanceadas para animales y en fertilizantes foliares o del suelo. Debido a su elevado contenido de carbonato de calcio –del 70 al 90% del peso seco total de la planta– las macroalgas rojas calcáreas son usadas para corregir la acidez de los suelos y también en la elaboración de prótesis.

En medicina, sobre todo en la medicina naturista, la utilización de las macroalgas ocupa un lugar importante. Se les atribuyen diversas virtudes curativas, ya que suministran al organismo diferentes minerales, y se las emplea en talasoterapia –uso terapéutico del agua, aire o productos marinos– y en tratamientos para adelgazar. Finalmente, por sus hermosas formas, diferentes colores y aspectos variados muchas macroalgas se destinan a la decoración, a la realización de cuadros, tarjetas postales señaladores, lámparas, bandejas, posavasos, etcétera.

En las costas argentinas existen macroalgas de elevado interés económico. Se explotan comercialmente *Gracilaria* –para la producción de agar–, *Gigartina* –en la preparación de carragenanos–, *Macrocystis*, *Porphyra* y, en menor cantidad, *Ulva* y *Lessonia*. Los grandes bosques de *Macrocystis pyrifera*, que se encuentran desde los 42ºS hasta incluso en el canal Beagle, las praderas de distintas especies *Lessonia*, en la costa patagónica, Tierra del Fuego, isla de los Estados, y las de dos especies de *Durvillaea*, exclusivas de las costas de Tierra del Fuego, isla de los Estados e islas Malvinas, son un potencial de relevante importancia económica pues estas especies de macroalgas pardas constituyen una materia prima para fabricar alginato. En algunos países son también aprovechadas para condimentar las comidas, reemplazar los vegetales o las carnes, en la preparación de harinas alimentarias y en la elaboración de fertilizantes.

Mientras que las macroalgas rojas *Gigartina skottsbergii* y *Sarcothalia*, comunes en las costas patagónicas y de Tierra del Fuego, se utilizan como materia prima para producir carragenano, los bancos calcáreos de *Lithothamnion heterocladum*, en el canal Beagle, no fueron aún explotados. Las macroalgas verdes *Monostroma* y *Ulva* –esta última también conocida con el nombre vulgar de 'lechuga de mar' o 'luche verde'– y las rojas *Porphyra*, llamada vulgarmente 'nori' o 'luche rojo', que también proliferan en nuestras costas, se emplean en dietas naturistas, actualmente muy difundidas.

Pero la cosecha de las poblaciones de macroalgas debe estar avalada por un profundo conocimiento científico y técnico, pues se debe evitar tanto la destrucción de este recurso natural renovable como la de los recursos marinos vecinos, ya que las poblaciones de macroalgas constituyen un refugio físico y una zona de cría para diversos invertebrados y peces marinos. Consideremos, además, que



**Figura 7.** Praderas de *Lessonia* (límite del intermareal inferior del canal Beagle).



**Figura 8.** Macroalga parda (*Lessonia*) y verdes.

toda extracción o cosecha produce un desequilibrio en la naturaleza, el cual debe ser reconocido para ser corregido. En toda utilización de los recursos naturales renovables debe prevalecer un verdadero equilibrio entre el potencial recuperador del recurso y el monto de extracción anual, con el objetivo de no poner en riesgo estos bienes y evitar un desastre ecológico.

## La biodiversidad de las macroalgas en nuestro país

Se citan muchas especies macroalgales en nuestras costas pero, en realidad, no se conoce la correcta clasificación de todos los ejemplares. Los estudios sobre flora marina son escasos e insuficientes, y no alcanzan para dar una idea clara de la diversidad algal de nuestras costas. Botánicos europeos realizaron los primeros trabajos acerca de



**Figura 9.** Plantas de *Macrocystis pyriferia*.

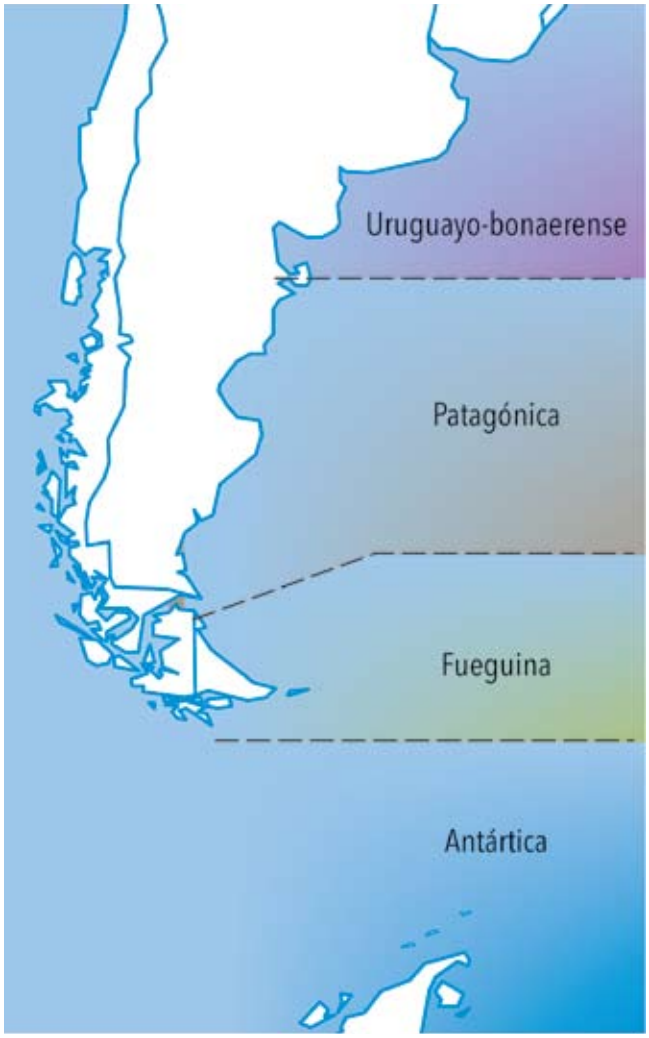



**Figura 10.** Provincias fitogeográficas argentinas.

este tema, a fines del siglo XIX o principios del XX. Estos naturalistas estudiaron el material recolectado por las expediciones extranjeras que recorrieron, preferentemente, las costas de Tierra del Fuego y el sector antártico.

En esos años el estudio de las macroalgas se basaba, casi exclusivamente, en la morfología de los ejemplares. Además, algunas descripciones se efectuaron sobre ejemplares estériles, o sobre un único ejemplar. Estas descripciones son, por lo tanto, incompletas e imprecisas, y no permiten señalar con exactitud a qué género o especie pertenecen. Para clasificar con exactitud las especies, es necesario conocer la organización anatómica, la citología, la forma de reproducción, el comportamiento ecológico y, en algunos casos, la biología molecular de los ejemplares.

Asimismo, las primeras plantas recolectadas en nuestras costas, como es obvio, están depositadas en los herbarios europeos, donde trabajaban los botánicos extranjeros. Estas instituciones –con la intención de preservar y resguardar esos especímenes, únicos y de alto valor científico– no las facilitan en calidad de préstamo para su reestudio. Esto impide la correcta clasificación de las primeras plantas recolectadas en nuestro país. Carecer de estos ejemplares es un serio impedimento que retrasa y dificulta la tarea de investigación acerca de las macroalgas. Es necesario y esencial conocer, en primer término, la correcta clasificación de los especímenes antes de efectuar trabajos ecológicos, estadísticos, cladísticos o de biología molecular. Una mala identificación del material conduce, involuntariamente, a obtener resultados erróneos.

A partir de 1960, varios fitólogos argentinos comenzaron a estudiar las macroalgas de nuestro país. En macroalgas pardas se conoce la labor de Asensi, Cabrera y Scrozati. De las verdes se ocuparon Boraso, Cáceres, Leonardo y Parodi. Y de las Rojas, Casas, Mendoza, Paternoster, Piriz y Pujals. En cambio, las primeras investigaciones ecológicas y fitogeográficas fueron efectuadas por O Kühnemann. Esta labor, comenzada con gran entusiasmo, en el presente está prácticamente interrumpida pues algunos de los fitólogos mencionados cesaron en sus actividades, mientras que otros emigraron.

Los problemas económicos obligan a postergar los proyectos de ciencias básicas. Urge y es necesario dar prioridad a los planes de ciencias aplicadas. Pero en realidad es difícil separar las investigaciones básicas de las aplicadas. Estas líneas de investigación están relacionadas entre sí. Muchos de los proyectos de ciencias aplicadas surgen y son realizados sobre la base de los resultados obtenido en las investigaciones básicas. CH

## LECTURAS SUGERIDAS

**KÜHNEMANN O**, 1972, 'Bosquejo fitogeográfico de la vegetación marítima del litoral argentino', *Physis*, 31: 117-142.

**PAPENFUSS GF**, 1964, 'Catalogue and bibliography of antarctic and subantarctic benthic marine algae', *Antarctic Research Series American Geophysical Union*, 1: 1-76.

**PUJALS C**, 1963, 'Catálogo de *Rhodophyta* citada para la Argentina', *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales 'Bernardino Rivadavia'. Ciencias Botánicas*, 3 (1).

Ciencia Hoy volumen 18 número 107 octubre-noviembre 2008

**Graciela N Casas y Evangelina Schwindt**
Investigadores del Conicet en el
Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

# Un alga japonesa en la costa patagónica

## Características del alga

El alga *Undaria pinnatifida* (*Phaeophyceae*) es una especie nativa del Japón, comúnmente llamada wakame. Estas plantas son de color pardo oliváceo y de gran porte, pudiendo superar 1,60m de largo. Se adhieren al fondo marino mediante una firme estructura de fijación que se denomina grampón (figuras 1A y 1B).

La lámina de *Undaria* presenta una nervadura central y, cuando los individuos están reproductivamente maduros, desarrollan una estructura muy ondulada, entre el grampón y la base de la lámina llamada *esporofilo* que es característica de esta especie. Esta estructura puede alcanzar los 12cm de ancho (figura 2). Allí se generan millones de esporas, que luego de ser liberadas se asientan en el fondo del mar dando origen a una fase microscópica llamada *gametofito*. Es decir, el ciclo de vida de esta especie tiene dos fases, como se ve en el esquema de la figura 3: una macroscópica con ejemplares visibles a simple vista y una microscópica constituida por filamentos (gametofito).

Estas algas alcanzan su mayor tamaño al finalizar el invierno y al comienzo de la primavera. En verano se deterioran y decoloran debido a las altas temperaturas del agua

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

En diciembre de 1992, a varios metros de profundidad y adheridos a los pilotes del muelle Almirante Storni de Puerto Madryn, se observaron algunos ejemplares de un alga de gran tamaño no registrada entre la flora marina argentina. Se trataba de *Undaria pinnatifida*, una especie originaria de las costas del Japón, que arribó presumiblemente en forma accidental, trasladada por barcos. Progresivamente esta especie se fue dispersando a lo largo de las costas de la Patagonia argentina, con indeseables efectos ambientales, sociales y económicos.

de mar en esta época del año, lo que, sumado al fuerte oleaje producido por los vientos y las corrientes marinas, hace que sean arrancadas y arrojadas sobre la playa.

## Adaptación a diversas condiciones ambientales

### Temperatura

La ecología de esta especie invasora estaría muy relacionada con la temperatura en el desarrollo de las diferentes fases de su ciclo de vida. En Japón, *Undaria* se desarrolla entre 4 y 28ºC; un amplio rango de temperatura que provoca que la especie presente un comportamiento estrictamente anual, es decir nace, crece, se reproduce y muere todos los años, con una marcada estacionalidad en el reclutamiento de ejemplares jóvenes (el *reclutamiento*, un concepto básico en ecología, se refiere a la incorporación de nuevos individuos a la población de una determinada especie).

Fuera de su área nativa, los estudios sobre la ecología del alga han mostrado que si bien hay desarrollo a temperaturas bajas (5 a 10ºC), el óptimo ocurre entre 10 y 20ºC, coincidiendo con el rango de temperaturas que se registra en la mayoría de los sitios invadidos por *Undaria*.

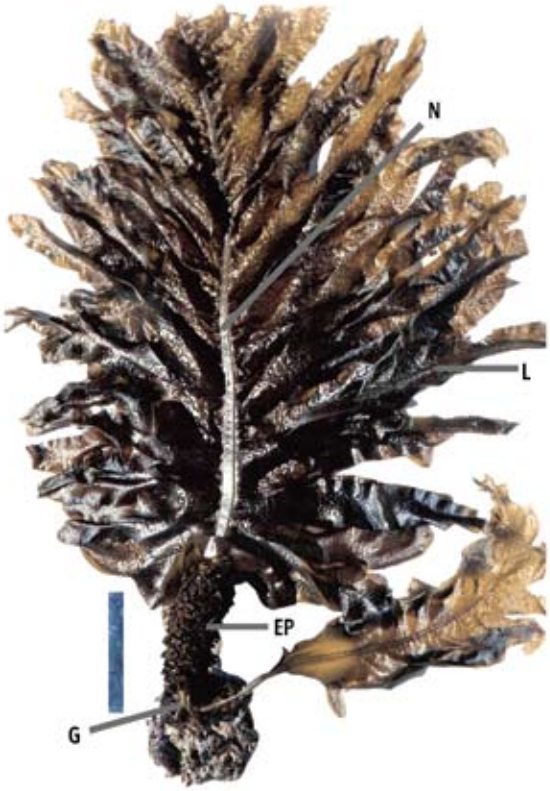
El rango de temperaturas del mar es poco amplio en algunas regiones como en la Patagonia, lo que incidiría en que la especie presente un reclutamiento constante a lo largo del año, sugiriendo que a diferencia de lo que ocurre en Japón, incluso en los meses más fríos del año podría haber esporas viables en la columna de agua.

### Salinidad

Aunque el valor de salinidad necesario para el crecimiento óptimo de *Undaria* está por sobre 27‰, se ha observado que esta especie puede prosperar en aguas con salinidades menores. Se han establecido poblaciones de *Undaria*

**Figura 1A.** Uno de los primeros ejemplares de *Undaria pinnatifida*, hallado por buzos en el golfo Nuevo (Chubut), en diciembre de 1992. La escala ubicada a la izquierda mide 20cm.
Foto G Casas.
**N:** nervadura, **L:** lámina, **EP:** esporofilo, **G:** grampón.
**Figura 1B.** Detalle de esporofilo y grampón.
Foto G Casas





en sitios con muy bajas salinidades como Venecia (20‰), Nueva Zelanda (22-23‰) y España (27‰), algo que indica una buena tolerancia fisiológica a aguas salobres.

### Luz

Las plantas de *Undaria* se distribuyen a lo largo del gradiente de profundidades, según la transparencia del agua. Es decir, con aguas más transparentes la profundidad a la cual pueden crecer es mayor y se ubican cerca de la superficie en aguas más turbias. De este modo, las plantas de *Undaria* en el golfo Nuevo pueden observarse desde la superficie del mar hasta profundidades a veces mayores a los 20 metros, característica que presentan pocas especies de algas nativas. Pero en áreas menos profundas, debido a que fisiológicamente los ejemplares juveniles de *Undaria* tienen mejor tolerancia a bajos niveles de irradiación, son competidores dominantes frente a otras algas nativas. A su vez, los gametofitos o fase filamentosa microscópica actúan como verdaderas estructuras de resistencia y son capaces de sobrevivir en la oscuridad por varios meses.

## Dispersión mundial

*Undaria* ha sido introducida tanto accidental como intencionalmente en distintas regiones del mundo, como puede verse en la figura 4. Su aparición en Europa ocurrió en 1971, cuando fue introducida involuntariamente en el Mediterráneo con las semillas de ostra (individuos juveniles muy pequeños) importadas de Japón para cultivo. En 1983 fue introducida deliberadamente en las costas de la Bretaña francesa sobre el Atlántico. También a



**Figura 2.** Individuo maduro de *Undaria* en el que se destaca el gran tamaño del esporofilo. Estos ejemplares son observados en los arrecifes rocosos del golfo Nuevo durante la primavera y principios del verano.
Foto Archivo Laboratorio Algas CENPAT

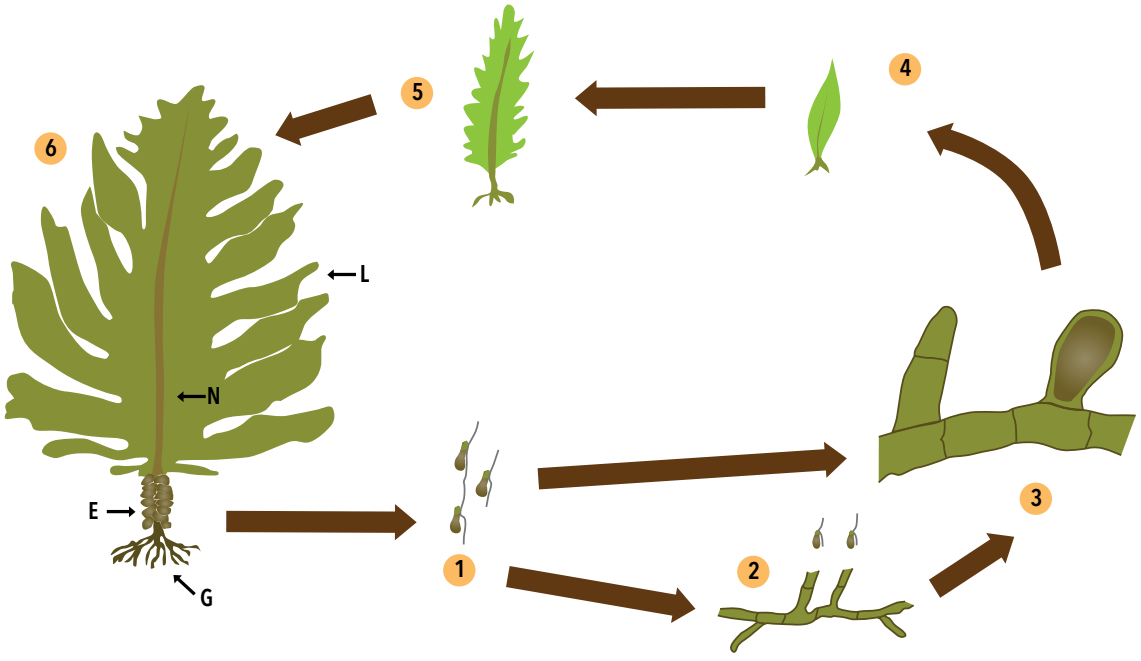



**Figura 3.** Ciclo de vida de *Undaria pinnatifida*.

**1:** Esporas móviles (zoosporas),
**2:** fase microscópica masculina liberando gametas,
**3:** fase microscópica femenina con una célula huevo,
**4 y 5:** desarrollo de la fase macroscópica,
**6:** ejemplar maduro.

Diagrama basado en un original de ML Piriz

Galicia (España) ingresó en 1990 acompañando semillas de ostras que se cultivan en las rías gallegas.

Posteriormente se la registró en la laguna de Venecia (Italia) en el mar Adriático y en el puerto de Gijón (España) sobre el mar Cantábrico; habría ingresado adherida a los cascos de embarcaciones deportivas, dado que este puerto recibe una numerosa flota francesa de ese tipo.

Teniendo en cuenta la presencia de densas poblaciones en Bretaña (Francia) y el intenso tránsito de barcos y transbordadores que continuamente cruzan a Gran Bretaña, la introducción de *Undaria* en las costas del sur de Inglaterra hacia 1995 no fue un hecho inesperado, así como su dispersión por las costas del norte de Europa hacia Holanda y Bélgica. Incluso existe la posibilidad de que se disperse más allá de las costas de Gran Bretaña hacia el mar del Norte. Otros sitios del hemisferio norte donde recientemente se la ha registrado fueron California en 2002 y México en 2004.

Si bien *Undaria* es originaria de Japón, es cultivada por ser una especie comestible desde hace largo tiempo en las costas de Corea y China. También se la menciona cerca de Vladivostok en Rusia.

En el hemisferio sur los primeros registros de *Undaria pinnatifida* ocurrieron en Nueva Zelanda en 1987, luego en Tasmania en 1990 y en la Australia continental en 1998.

Un hecho significativo es que en todos estos sitios donde *Undaria* fue introducida, el comienzo de la invasión se produjo en área de puertos.

En la Argentina había sido registrada en 1992, el único caso hasta el presente en las costas atlánticas del continente americano.

Desde el momento de su introducción en el país, *Undaria* se dispersó relativamente rápido. En el golfo Nuevo recorrió 172 kilómetros en diez años (figura 5). En Francia, diez años después de su descubrimiento, fue encontrada a 70 kilómetros al sudeste y después de diecisiete años el límite estaba a 130 kilómetros al sur del punto de origen.

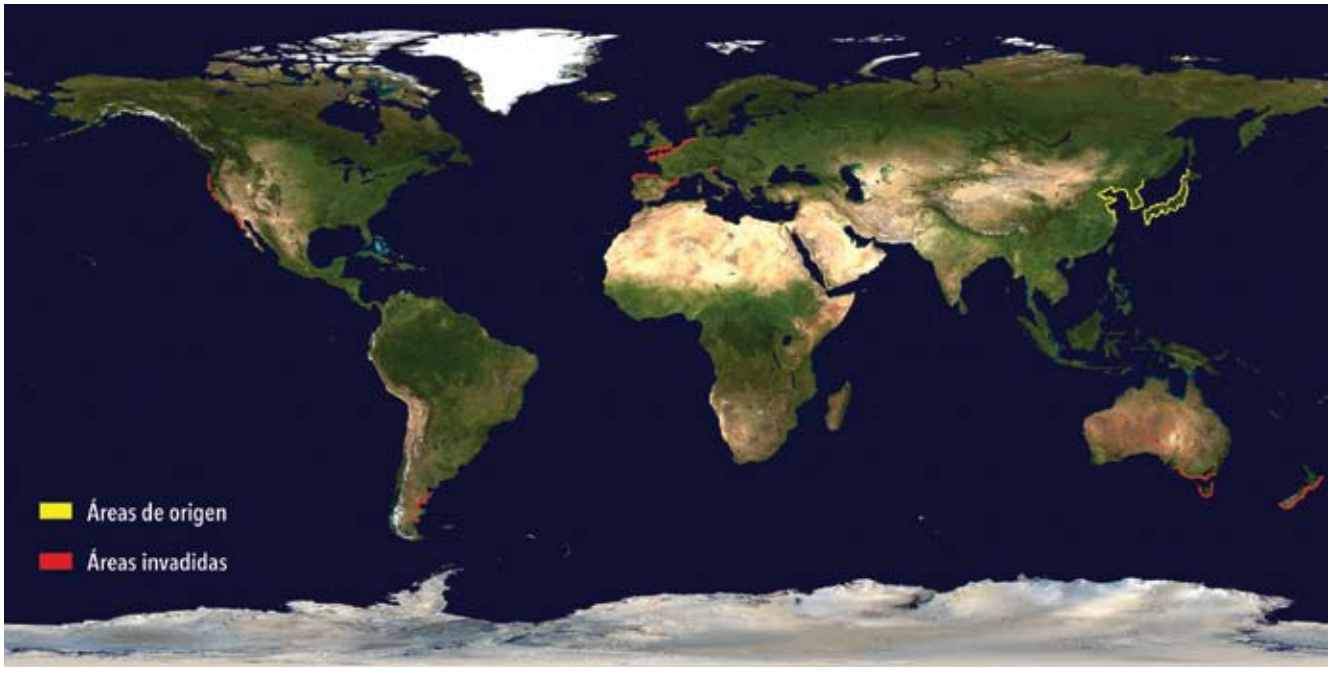
Paralelamente a su dispersión dentro de los límites de golfo Nuevo, las poblaciones aumentaron su densidad y esto podría haber generado un área donante desde la cual la especie se pudiera propagar en forma de esporas, fragmentos, etcétera. Es así como podría haberse dispersado a otras localidades portuarias hacia el sur de la provincia de Chubut, doce años después también llegó a Puerto Deseado en la provincia de Santa Cruz, distante unos 760 kilómetros hacia el sur (figura 6).

La facilidad de dispersión de *Undaria* por el mundo podría deberse a la capacidad de latencia que poseen sus estructuras reproductivas microscópicas, las cuales pueden permanecer en ese estado por varios meses. Esta condición podría haber favorecido su resistencia durante el transporte dentro de los tanques de agua de lastre de las embarcaciones.

## Impacto ambiental

Con la alteración del hábitat, las invasiones biológicas son consideradas la segunda causa de cambio de la biodiversidad (otras causas son los dragados, la extracción

**Figura 4.** Dispersión de *Undaria* en el mundo. Las áreas sombreadas en rojo indican los sitios en los cuales la especie fue intencional o accidentalmente introducida. En amarillo están indicadas las costas de donde es originaria. (*http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8f/Whole_world_-_land_and_oceans_12000.jpg*)



de arena, la contaminación, la pesca, etcétera), por esta razón la Convención de Biodiversidad firmada en Río de Janeiro en 1992 recomendó la erradicación y/o el control de las especies introducidas.

Muchas especies introducidas alteran procesos ecológicos y pueden ser causantes de extinciones de las especies nativas. Sin embargo, en los ambientes marinos existen pocos casos demostrados de extinciones actuales causadas por la introducción de especies, no necesariamente porque no ocurran, sino por el escaso conocimiento que se tiene de la biodiversidad marina.

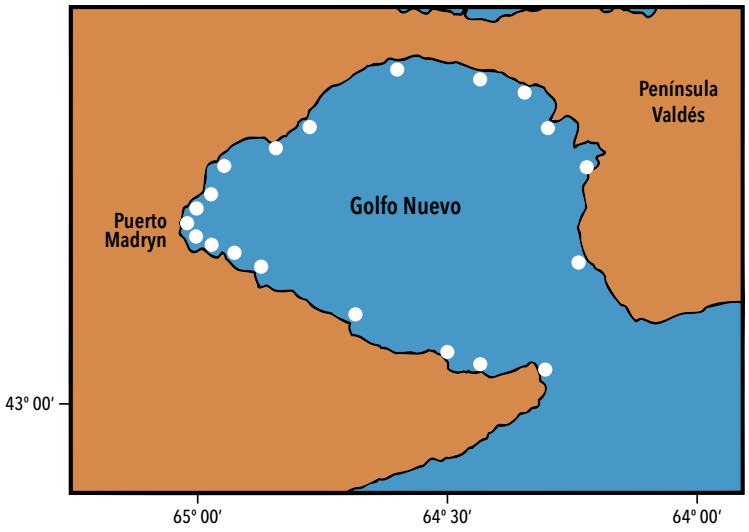
En el caso de las comunidades algales la competencia por luz o sustrato puede ser intensa y acarrear la exclusión parcial o incluso la desaparición total de especies nativas.

Estudios experimentales en el campo han mostrado que la presencia de *Undaria* impacta negativamente sobre la diversidad de algas marinas. Esto podría ocurrir debido a que las poblaciones de esta especie presentan un gran desarrollo en altura, especialmente al final del invierno y en primavera. Ello, sumado a la abundancia en número de individuos, produciría un significativo sombreado del fondo marino. Por otro lado, las estructuras de fijación del alga (grampones) pueden superponerse y enredarse entre sí cubriendo el fondo y reduciendo así el espacio disponible para el desarrollo de otras especies sedentarias.

Desde la introducción de *Undaria* en golfo Nuevo, el paisaje submarino ha cambiado dramáticamente. *Undaria* ha demostrado poseer la capacidad de colonizar tanto sustratos artificiales (barcos hundidos, boyas, pontones, redes, cuerdas y pilotes) como arrecifes naturales. En la costa patagónica, los arrecifes están constituidos por rocas que se extienden desde la playa hasta el submareal (más allá de las mareas más bajas) donde nunca son descubiertos por el agua durante las mareas bajas. La biodiversidad de estos arrecifes podría verse impactada por la presencia de *Undaria*. En estos arrecifes rocosos se forman cuevas y aleros que son el hábitat de peces que viven allí habitualmente, por lo tanto, la presencia de Undaria podría producir fluctuaciones en su abundancia (figuras 7A y B). Esta hipótesis está siendo estudiada mediante el contraste de los cambios en la abundancia de peces también en arrecifes no colonizados por *Undaria*.

Habitualmente la mayoría de las algas son desprendidas en verano y arrojadas por las mareas a las playas, fenómeno conocido como arribazón (figura 8). En el caso de *Undaria*, las grandes plantas son removidas arrancando sus estructuras de fijación o grampones y al soltarse arrastran con ellas fauna y flora marina, produciendo una remoción y alteración en los fondos rocosos.

Si *Undaria* se convirtiera en una nueva fuente de alimento para la fauna nativa, su introducción podría generar otros cambios ecológicos. Un pequeño caracol marino, el gasterópodo *Tegula patagonica*, y los erizos de mar *Arbacia dufresnii* y *Pseudechinus magellanicus* son reconocidos



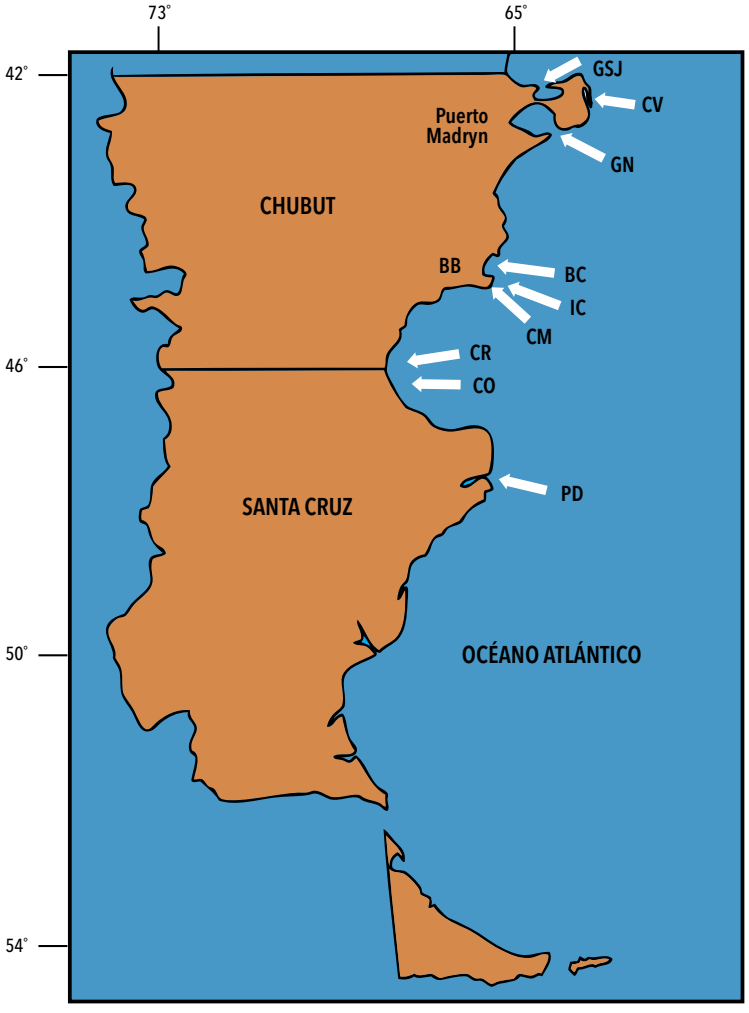




**Figura 5.** Distribución de *Undaria* en el golfo Nuevo (Chubut). La distancia ocupada entre 1993 y 2003 fue de aproximadamente 172 kilómetros.

**Figura 6.** Localidades de la costa patagónica invadidas por *Undaria*. Doce años después de su introducción en golfo Nuevo, en 2005 llegó hasta Puerto Deseado en la provincia de Santa Cruz, distante unos 760 kilómetros hacia el sur de la provincia de Chubut. **GSJ:** golfo San José, **CV:** caleta Valdés, **GN:** golfo Nuevo, **BC:** bahía Camarones, **BB:** bahía Bustamante, **IC:** islote Cayetano, **CM:** caleta Malaspina, **CR:** Comodoro Rivadavia, **CO:** Caleta Olivia, **PD:** Puerto Deseado.





**Figura 7A** (arriba). Paisaje submarino patagónico: los arrecifes rocosos son el hábitat de una variada flora y fauna, que en la actualidad están colonizadas por *Undaria*, como se aprecia a la izquierda de la imagen. Foto L Larsen
**Figura 7B** (izquierda). Ejemplar de *Undaria* asentado sobre un arrecife rocoso. Foto H García (h)



**Figura 8.** Arribazón de *Undaria* en una típica costa patagónica. Foto E Schwindt

como potenciales herbívoros y viven habitualmente con *Undaria*. Sin embargo, y aunque existen resultados preliminares, aún no se ha verificado el impacto regulador que podrían tener estos organismos sobre las algas y si las poblaciones de estos invertebrados han aumentado su densidad desde la aparición de *Undaria* en golfo Nuevo como un recurso nuevo y abundante.

## Impacto económico

Otro aspecto importante en el estudio de especies invasoras es el impacto económico que algunas pueden tener. En el caso de *Undaria* el riesgo se encuentra si se dispersa a otras áreas económicamente productivas por la explotación de otras algas. En este sentido, se han observado poblaciones de esta especie creciendo sobre praderas del alga productora de agar *Gracilaria gracilis*, ubicadas al sur de la bahía de Camarones. En esta zona se encuentran ubicadas las concesiones algueras que se dedican a la extracción de algas para su industrialización y comercialización.

Más recientemente *Undaria* ha sido observada en la costa del golfo San José, una zona caracterizada por la explotación de moluscos bivalvos que son recolectados por pescadores artesanales. Si bien se están realizando tareas para conocer y eventualmente controlar su dispersión, es importante trabajar en la concientización de toda la población y el control estricto de la limpieza de las embarcaciones que ingresan al golfo para evitar nuevas reintroducciones. Si *Undaria* llegara a expandirse en el golfo San José como lo ha hecho en el Nuevo, el efecto negativo sobre las pesquerías artesanales podría ser de gran magnitud.

Estas tareas de prevención no son sencillas ni económicas, y su óptima coordinación exige una planificación articulada entre los grupos de pescadores, las agencias y oficinas gubernamentales y no gubernamentales.

Una de las actividades económicamente relevantes que se realizan en golfo Nuevo es el buceo deportivo en los parques submarinos. Esta actividad está a cargo de empresas operadoras y si bien se realiza durante todo el año, tiene su mayor nivel en el verano. Como consecuencia de la presencia del alga *Undaria* la fisonomía de los parques submarinos se ve alterada, obligando a realizar continuamente tareas de limpieza y mantenimiento, principalmente previas a la temporada estival, lo cual implica costos adicionales.

El mayor impacto en las playas de golfo Nuevo lo producen las arribazones de *Undaria*. Diariamente la inmensa cantidad de algas depositadas en la playa tienen que ser retiradas, y en verano las playas deben ser limpiadas por razones de higiene, olores y de impacto visual en el turismo. Esta limpieza se realiza con topadoras y lo recolectado se retira de la playa con camiones (figura 9), lo cual ocasiona una importante erogación económica al municipio local y por ende al contribuyente. El trabajo diario de las máquinas no solo extrae las algas sino también gran cantidad de arena y con la arena van incluidos otros organismos, lo cual indudablemente estaría generando erosión e impacto ambiental en las playas.

## Las embarcaciones y el agua de lastre

Se ha mencionado en diversas oportunidades a las embarcaciones como vector de transporte de especies exóticas. Desde tiempos históricos, los barcos han sido un transporte efectivo no solo para seres humanos sino para animales, plantas y otros organismos.

Como resultado de los movimientos humanos a través del mundo, sea por exploración, comercio o colonización, las especies han atravesado barreras biogeográficas naturales entre continentes y entre océanos. Este proceso ha ido llevando paulatinamente a una profunda alteración en la diversidad y la estructura de muchas comunidades marinas costeras.

Hasta aproximadamente 1890 las embarcaciones eran construidas enteramente de madera. De este modo, mamíferos, plantas, aves, insectos y semillas fueron transportados acompañando a la arena y las rocas que constituían el 'lastre seco' que se utilizaba para darle estabilidad y equilibrio a las embarcaciones. A su vez, el exterior de los barcos estaba colonizado por organismos marinos como dientes de perro, moluscos, cangrejos y algas.



**Figura 9.** Trabajo de topadoras y camiones retirando las algas de las playas de Puerto Madryn. Foto C Eyras

Posteriormente las embarcaciones comenzaron a construirse de metal y por lo tanto el lastre seco fue lentamente reemplazado por agua, contenida en tanques especiales. No solo cambió el tipo de lastre de las embarcaciones sino la tecnología naviera. Las embarcaciones comenzaron a ser más veloces, a recorrer en menor tiempo mayores distancias y a visitar una mayor cantidad de puertos. Por lo tanto, las oportunidades para nuevas introducciones de especies aumentaron considerablemente por la carga y la descarga de agua en cada sitio.

El agua de lastre, más allá de ser necesaria para la estabilidad del barco durante la navegación, constituye un mecanismo de transporte de enormes volúmenes de agua. La Organización Marítima Internacional estimó que para enero de 2008 la flota mercante mundial era de 50.500 barcos. Se considera que estas embarcaciones comerciales (que transportan más del 80% de las mercaderías del mundo) trasladan cada año un volumen de 3 a 10 billones de toneladas de agua (figura 10) con una estimación de cerca de 7000 especies marinas, dulce acuícolas o estuariales. Debe tenerse presente que el agua de lastre es un transporte no selectivo, por lo tanto el agua bombeada en cada puerto contiene no solo organismos animales y vegetales adultos y larvas, sino también virus y bacterias, muchas de ellas patógenas, como las del cólera y el botulismo. Las embarcaciones no solo extraen y descargan agua en cada puerto que visitan, sino que además pueden transportar partículas de arena que ya en las cisternas sedimentan y pueden constituirse ambientes propicios para el desarrollo de organismos típicos de fondos blandos sedimentarios. Muchas especies exóticas podrían ser ecológicamente peligrosas cuando son liberadas en un ambiente no nativo. Por ejemplo las floraciones de algas tóxicas llamadas 'marea roja' son un fenómeno natural que ha ocurrido históricamente, sin embargo, en las últimas décadas se han incrementado en frecuencia e intensidad y han ampliado su distribución geográfica, y están muchas veces asociadas con la presencia de especies foráneas, por ejemplo, en las aguas costeras de la Patagonia.

Existe reconocimiento de que el agua de lastre transporta numerosas especies y del daño causado por las introducciones accidentales, y su manejo genera gran preocupación en todos los países. En mayor o menor grado se está trabajando para encontrar una solución a esta problemática económica, social y ambiental, en un plano de opinión diferente al de los intereses de la vasta industria marítima. CH

**Figura 10.** Buque mercante eliminando lastre en puerto. Foto E Schwindt





Foto P Raffo

## LECTURAS SUGERIDAS

**CARLTON JT**, 2000, 'Global change and biological invasions in the oceans', en Mooney HA & Hobbs RJ (eds.), *Invasive Species in a Changing World*, Covelo, CA, Island Press.

**PENCHASZADEH PE**, 2005, *Invasores: invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña*, Eudeba, Buenos Aires.

**PIRIZ ML**, 2003, 'Barcos con un pesado lastre', *Revista de la Fundación Vida Silvestre Argentina*, enero-marzo, pp. 12-13.

**ORENSANZ JM, SCHWINDT E, PASTORINO G, BORTOLUS A, CASAS G, DARRIGRAN G, ELIAS R, LÓPEZ GAPPA JJ, OBENAT S, PASCUAL M, PENCHASZADEH P, PIRIZ ML, SCARABINO F, SPIVAK E & VALLARINO E**, 2002, 'No longer the pristine confines of the World ocean: a survey of exotic marine in the southwestern Atlantic', *Biological Invasions*, 4: 115-143.

## GLOSARIO

***Agar.*** Forma parte de la pared celular de algunas algas rojas. Es utilizado como materia prima en la industria de la alimentación y en bacteriología. Tiene la particularidad de ser insoluble en agua fría pero soluble en agua hirviendo y solidificar a 36˚C, por lo cual es utilizado en bacteriología para cultivos de bacterias presentes en el ser humano y como gelatina en alimentación.

***Agua de lastre.*** Agua dulce o salada que se encuentra contenida en tanques especiales en las embarcaciones y que, al mantener el casco del barco relativamente sumergido, incrementa la estabilidad y maniobralidad durante los viajes. El agua es cargada y descargada en cada puerto, de acuerdo con la carga o descarga de mercancías de las embarcaciones en cada lugar.

***Alga.*** Las algas son organismos vegetales que, salvo excepciones, son acuáticas tanto marinas como de agua dulce. Pueden ser unicelulares (de una sola célula) o pluricelulares (muchas células formando tejidos). El término *alga* no es una clasificación científica, sino que se utiliza como generalización para denominar a estos vegetales en la descripción de los ecosistemas acuáticos.
El estudio científico de las algas se llama *ficología*, una derivación del nombre del alga *Fucus* (del latín *phycos*: pasto marino o alga marina).

***Arribazón.*** Es un fenómeno natural que consiste en el depósito en la costa de algas que fueron arrancadas por los movimientos del agua. También se lo conoce en otros países como *algazo*.

***Esporofilo.*** Del griego *sporos*: semilla, y *phyllon*: hoja, fronda. Es la estructura o lámina especializada donde se forman unos receptáculos especiales llamados esporangios que contienen esporas.

***Gametofito.*** Del griego *gameto*: gameta, y *phyto*: planta. En el ciclo de vida de una planta, es el individuo en el cual se forman las gametas masculinas o las femeninas.

***Grampón.*** Es la estructura de fijación de un alga, mediante la cual las algas de mayor porte se adhieren al sustrato, como las laminariales.



Ciencia Hoy volumen 19 número 114 diciembre 2009 - enero 2010

**Alejandro Bortolus**
Investigador del Conicet en el
Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

# Marismas patagónicas: las últimas de Sudamérica

Varios siglos han pasado desde que los primeros exploradores y naturalistas europeos realizaron las descripciones iniciales de las especies y hábitats de la costa este de Sudamérica. Sin embargo, la existencia misma de marismas en la Patagonia austral permaneció virtualmente ignorada hasta hace muy poco. Durante los últimos años, mediante la realización de relevamientos por aire y tierra, así como por el análisis de fotografías históricas y de imágenes satelitales, se logró hallar, describir y clasificar esos ambientes, y comenzar a integrarlos al conocimiento ecológico. Estos estudios colocan a Sudamérica entre las regiones más ricas del mundo en cuanto a la variedad de sus marismas.

## ¿Qué son las marismas y quiénes las habitan?

El término *marisma* proviene del latín *maritima ora*, que significa las orillas del mar; se refiere a terrenos bajos y pantanosos inundables por el mar. El ecólogo australiano Paul Adam, de la Universidad de Nueva Gales del Sur, describió las marismas como *áreas vegetadas por hierbas, pastos y pequeños arbustos que bordean cuerpos de agua salada y son afectadas por inundaciones periódicas como resultado de las fluctuaciones en el nivel del cuerpo de agua adyacente*. Las marismas se encuentran en climas que varían desde los tropicales hasta los áridos, tanto en estuarios como en costas sin ríos, y su paisaje

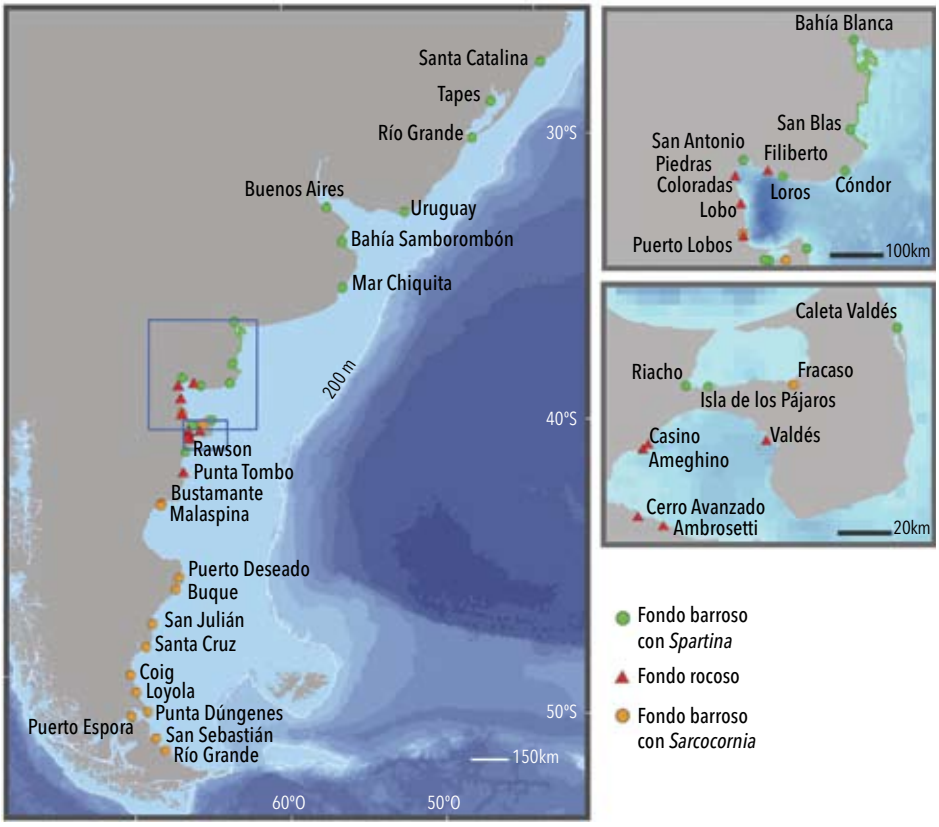
**¿DE QUÉ SE TRATA?**

¿Pueden vivir plantas y animales terrestres en lugares regularmente cubiertos y descubiertos por las mareas, y pasar así la mitad de sus vidas sumergidos en agua de mar?

puede estar dominado por pastos altos lo mismo que por arbustos achaparrados. Sus suelos o sustratos pueden ser arcillosos, arenosos y hasta rocosos.

Las marismas aparecen en todas las costas marinas del mundo y son ecosistemas con características propias: no se reducen a actuar como simples zonas de transición entre ecosistemas marinos y terrestres, que van perdiendo las características de unos y adquiriendo las de los otros. Si fuera así, se las llamaría *ecotonos* entre la tierra y el mar, concepto que no se les aplica.

Paradójicamente, aunque el mar las cubre durante varias horas al día, las marismas se caracterizan por una abundante presencia de plantas de origen terrestre, y no por algas ni fauna marina. Esto es importante porque ni las playas arenosas, ni las costas rocosas, ni las restingas (planicies de roca arcillosa generadas por la erosión de las olas sobre acantilados costeros), ni las playas de gravas, ni las planicies barrosas en la orilla del mar, están vegetadas por pastos altos o arbustos. Vivir bajo el mar gran parte del día no es fácil para una planta terrestre, porque disminuye su eficiencia para respirar y realizar el proceso de fotosíntesis. Entre las pocas especies que pueden tolerar esas condiciones ambientales extremas se destacan los *espartillos* (género *Spartina*) y los arbustos llamados *jumes* o *picles de mar* (género *Sarcocornia*).




A lo largo de la costa atlántica sudamericana, la distribución de los tipos de marismas tiene una clara dependencia de la latitud, con un cambio brusco en la Patagonia central, en coincidencia con la península Valdés.

Las diferencias en la tolerancia a la inmersión y a la concentración de sales hacen que las diversas especies de plantas se distribuyan en bandas paralelas a la línea de costa. Las bandas inferiores son comúnmente ocupadas por los espartillos, mientras las superiores son dominadas por una cantidad de especies que se hace cada vez más diversa a medida que nos alejamos de la costa y nos acercamos a las condiciones terrestres. La transición entre las partes más bajas y las más altas de las marismas se puede ejemplificar por dos especies de espartillos: *S. alterniflora* y *S. densiflora*. La primera posee un sistema de conductos huecos (llamados *aerénquimas*) que permiten al aire entrar por pequeñas aberturas ubicadas en las hojas (llamadas *estomas*) y bajar por diferencia de presión hasta los tallos subterráneos. Así estos resultan oxigenados, a pesar de que están en medio de sedimentos venenosos para las plantas porque carecen de oxígeno. La segunda especie es más terrestre y no posee bien desarrolladas esas estructuras. Por ello, aunque puede dominar áreas elevadas y mejor drenadas de las marismas, es incapaz de sobrevivir más de unas pocas semanas en los niveles inferiores, en los que domina la especie *S. alterniflora*.



Típica marisma de *Spartina* de las costas bonaerenses, reparada de las olas y con amplios canales de marea comunicados con ríos y arroyos caudalosos que, en época de lluvias, provocan grandes inundaciones y favorecen el establecimiento de comunidades mixtas de plantas tolerantes a altas salinidades con otras que no lo son.

Pero no solo en las partes bajas e inundables de las marismas hay condi-

ciones estresantes para la vida vegetal. Los niveles superiores plantean otro desafío, tan peligroso como la inundación: la *hipersalinidad*. Cuando el mar se retira en cada bajante, las irregularidades del terreno retienen agua; luego los charcos se secan por la acción del sol y el viento, pero las sales disueltas quedan sobre el suelo y forman costras que, poco a poco, elevan la salinidad de este hasta niveles letales para la vegetación. La sal del suelo provoca la deshidratación de las plantas y actúa sobre ellas como un tóxico fisiológico. Entre las especies que sobreviven con más éxito en esa clase de sitios están los pastos salados (como *Distichlis spicata*, llamado *pelo de chancho*) y los mencionados picles de mar. Los segundos poseen una contextura carnosa y turgente, considerada el resultado de una convergencia evolutiva con los cactos, que favorece su supervivencia en ambientes desérticos. Los niveles más altos de las marismas son, de hecho, un verdadero desierto a orillas del mar.

Las plantas definen y caracterizan a las marismas, principalmente, porque inician el proceso de colonización del ambiente favoreciendo la acumulación de lodo en la orilla del mar. Al amortiguar el efecto de las olas y el viento, las plantas hacen que las partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el agua se depositen. Luego, sus raíces las protegen e impiden que vuelvan a entrar en suspensión en el agua. De este modo, el terreno se eleva de forma lenta pero constante y se da origen a las marismas.

Junto con la formación del suelo, las plantas también facilitan el establecimiento de las larvas y los estadios juveniles de la mayoría de la fauna de invertebrados que habita el ambiente, por lo que actúan como *ingenieras de los ecosistemas* o *bioingenieras*. Si extrajéramos toda la vegetación de una marisma, cambiaríamos radicalmente tanto el aspecto del paisaje como la estructura y el funcionamiento interno del ecosistema. En otras palabras, dejaríamos de tener una marisma y pasaríamos a tener algún otro ambiente costero, por ejemplo, una planicie barrosa.

Gran parte de la fauna que habita las marismas también muestra patrones de distribución en bandas paralelas a la costa, que pueden o no coincidir con las de la vegetación. La formación de bandas de flora y de fauna no es más que el reflejo de la supremacía del efecto de las mareas. A medida que nos acercamos al mar, organismos marinos como cangrejos, bivalvos, caracoles, gusanos marinos y peces devienen crecientemente más diversos y abundantes, mientras que organismos terrestres, como roedores, arácnidos e insectos muestran el patrón inverso. Estas diferencias en la composición de la fauna implican también cambios en las formas de adaptación al sistema intermareal. Por ejemplo, las arañas que tejen telas colgantes para acechar presas lo hacen en las zonas altas, donde sufren menos daños y no corren el riesgo de ser arrastradas por la marea. Las zonas bajas y anegadizas son más frecuentadas por arañas cazadoras, cuya capacidad de cavar cuevas de las que logran excluir el agua, sumada a







**Arriba.** La distribución de la vegetación de marismas suele presentar un claro patrón de zonificación, en franjas paralelas a la línea de costa. En la zona amarillenta predominan los espartillos de la especie *Spartina densiflora*; en la verde oscuro, los de *Spartina alterniflora*.

**Centro.** Los picles de mar de la especie *Sarcocornia perennis* son plantas carnosas cuya coloración oscila a lo largo del año entre amarillo y rojo intenso, según su estado fisiológico o reproductivo. Aunque parecen carecer de hojas, el tallo carnoso está formado por hojas fusionadas alrededor de un eje central.

**Abajo.** Las marismas rocosas sobre restingas son abundantes en la Patagonia central y suelen estar flanqueadas por imponentes acantilados de aproximadamente seis mil años de antigüedad. En ellas, los pastos del género *Spartina* favorecen el asentamiento de invertebrados como mejillines, cangrejos, peces y gusanos de mar, que hallan refugio y alimento entre las plantas de sitios expuestos a las olas.



Las semillas del picle de mar germinan y crecen rápidamente en sitios reparados de la marisma, comúnmente al amparo de plantas más grandes, donde tienen mayores probabilidades de sobrevivir a factores como shock térmico, ataque de herbívoros, remoción o enterramiento.



Las marismas ofrecen un ámbito ideal para hacer caminatas al borde del mar, lejos de los grandes centros urbanos, y para observar la flora y la fauna de cada región.

su velocidad de desplazamiento, les permite responder a las entradas y salidas del mar.

En general, cada especie animal que habita las marismas puede ser asociada a una función ecológica. Hay herbívoros, carnívoros, parásitos y descomponedores; hay depredadores y presas; hay organismos móviles y otros que permanecen fijos a un sustrato casi toda su vida (como los mejillones o las anémonas); hay cavadores y hay nadadores. Un animal que se destaca por su abundancia en las marismas de la costa atlántica sudamericana es el cangrejo cavador *Neohelice granulata*. Se lo puede hallar desde el sur del Brasil hasta la provincia argentina de Chubut, y se caracteriza por formar colonias con densidades que pueden superar las cien cuevas por metro cuadrado y más de un cangrejo por cueva. Este crustáceo puede, entre otras cosas, favorecer la incorporación de oxígeno y materia orgánica al suelo, regular la distribución de invertebrados más pequeños y alterar la reproducción sexual y la dispersión de las plantas. Es un animal tan voraz como territorial, que consigue desplazar a otras especies de cangrejos atacándolos, comiéndolos e impidiéndoles que hagan sus cuevas. Aunque por mucho tiempo se pensó que solo se nutría filtrando nutrientes del sedimento, no hace mucho se determinó que también es un herbívoro capaz de regular la producción vegetal (o producción primaria) de las marismas que habita. Puede reducir un pastizal a rastrojo en relativamente poco tiempo. Por su capacidad de generar este tipo de efectos múltiples en el ambiente, el cangrejo cavador también es considerado bioingeniero.

Con el fujo y el reflujo de las mareas, el escenario ecológico de la marisma cambia completamente. Cada entrada del agua trae legiones de depredadores marinos que ingresan en el ambiente y persiguen abundantes presas refugiadas en la vegetación. Tanto los organismos de origen terrestre (arañas e insectos) como los de origen marino (crustáceos, poliquetos o gusanos marinos, etcétera) pasan a ser potenciales presas de peces y grandes crustáceos que exploran la marisma bajo el agua en busca de comida y refugio. Muchas especies de peces y crustáceos aprovechan esos momentos para desovar en los canales, donde sus crías pasan el tiempo más vulnerable de sus vidas, hasta migrar al mar como adultos. Al retirarse el agua con la bajante, el sistema vuelve a parecerse a una pradera terrestre y llega el turno de organismos como roedores, gatos silvestres, zorros y aves, que exploran la superficie de la marisma en busca de presas fáciles, como peces y cangrejos atrapados en canales y charcos. Estas interacciones configuran una importante conexión ecosistémica, que establece un flujo más o menos constante de nutrientes y energía entre los ambientes marinos y los terrestres.

# Marismas de la Patagonia

Hace poco se logró completar un relevamiento biogeográfico de marismas en toda la costa este de Sudamérica. En las bajas latitudes (más cerca del ecuador) predominan las caracterizadas por pastizales altos, principalmente de diversas especies de *Spartina*, pero al sur de los 40° el paisaje es dominado por arbustales del picle de mar *Sarcocornia perennis*. Aunque en la región hay marismas de todos los tipos, se puede decir que el paisaje en una típica marisma patagónica se compone de extensas praderas con aspecto de alfombras verdes, compactas y acolchadas, formadas por dicho picle de mar. Las marismas más grandes de la Patagonia austral son la de Río Gallegos (2400 hectáreas) y San Julián (1370 hectáreas), en la provincia de Santa Cruz, donde la mayoría alcanza a solo un puñado de hectáreas. En las provincias del Chubut y Río Negro se halla la mayor variedad de marismas de toda la Patagonia, tanto barrosas como rocosas, dominadas por especies vegetales de los géneros *Spartina* y *Sarcocornia*. La planta *Sarcocornia perennis* no solo define el paisaje sino, también, la arquitectura del ambiente, es decir, la matriz de base o estructura tridimensional en que viven los demás organismos. A diferencia de las marismas de más al norte, dominadas por altos pastos flexibles y relativamente dispersos, las de *Sarcocornia*, que se ubican en niveles intermareales más elevados, mantienen un aspecto compacto y homogéneo.

Los últimos relevamientos de las marismas patagónicas establecieron un nuevo tipo de ellas, al que se llamó *marismas rocosas*, porque se establecen sobre diferentes tipos de rocas o fragmentos de estas, en ausencia casi total de lodos. No poseen casi ninguna de las características de las otras marismas: se hallan en sitios muy expuestos al oleaje, son dominadas por pastos del genero *Spartina* que rara vez alcanzan los 50cm de altura, y la fauna asociada se parece más a la de un sitio intermareal rocoso que a la de una marisma. Los rizomas o tallos subterráneos y las raíces de los pastos se entremezclan con colchones de mejillines (*Brachydontes rodriguezii* y *Perumytilus purpuratus*), la









**Arriba.** Una de las marismas más grandes de la Patagonia austral se halla en la confluencia de los ríos Gallegos y Chico, en la provincia de Santa Cruz. Su fauna y su flora corren peligro, por lo que ecólogos, biólogos y oficinas del gobierno buscan cómo protegerlas mediante acciones que disminuyan los efectos del relleno de áreas para construcción y de la acumulación de desechos.

**Centro izquierda.** Las espigas del picle de mar aparecen como engrosamientos en los extremos de cada rama, en los que se distinguen pequeñas flores amarillas en grupos de tres. La floración se produce a mediados del verano y las semillas se diseminan con el agua de las mareas.

**Centro derecha.** El espartillo *Spartina densiflora* es nativo en las marismas sudamericanas y fue introducido en Norteamérica, España y Marruecos, donde es una especie exótica que crece abundantemente y altera en forma marcada los ambientes costeros. Su flexibilidad fisiológica y morfológica le permite asentarse y sobrevivir en sustratos extremadamente estresantes, como lo hace en las marismas rocosas de la Patagonia central.

**Abajo.** La presencia de larvas depredadoras de insectos es común en las marismas, donde se alimentan de pequeños invertebrados. Es habitual que caven cuevas, en las que atacan a sus presas y sobrellevan la inundación periódica de las mareas, pues estas pueden traer depredadores de mayor tamaño, como peces y cangrejos, además del peligro de asfixia para animales de respiración aérea.

fauna más abundante, pero también pueden rellenar depresiones y grietas dando la sensación de estar surgiendo de la roca misma. Un crustáceo filtrador llamado *diente de perro* (*Balanus glandula*), que no es nativo sino introducido, abunda en esas marismas, y lo acompañan cangrejos pequeños (*Cyrtograpsus altimanus*), isópodos (de los géneros *Idotea* y *Pseudosphaeroma*), gusanos marinos (*Scoletoma tetraura*), almejitas (del género *Lasaea*) y lapas (*Siphonaria lessoni*, moluscos con conchas semejantes a un sombrero chino), entre otros invertebreados.

Muchas de las marismas más australes de la Patagonia se hallan confinadas dentro de radas, pequeñas bahías, o en reducidas lagunas costeras formadas entre espigas, áreas medanosas o cordones litorales recientes. Una de las mayores diferencias entre esas marismas y las del resto de América es que, dada la falta de cauces importantes, no se comportan como los estuarios. La falta de aporte de agua dulce determina que el tipo de flora y fauna que las habita sea mucho más marina que en las marismas del norte, donde grandes porciones de costa son profundamente influenciadas por los ríos más caudalosos de la región. Además, la costa patagónica posee un régimen *macromareal*, con oscilaciones del nivel del mar de hasta 14m verticales entre pleamar y bajamar. Así, a lo largo de la costa más austral del continente existe una cadena de marismas relativamente aisladas entre ellas, con una composición faunística prácticamente única, lo que las convierte en potenciales reservorios de *fauna autóctona relictual* (es decir, de ejemplares supervivientes de especies casi extinguidas).

Aun al sur de los 42° de latitud, donde los cangrejos cavadores no abundan, las marismas son habitadas por un pequeño crustáceo (el anfípodo *Orchestia gammarella*), que forma colonias cavando complejas galerías. Su acción podría contribuir a oxigenar y a incorporar nutrientes al suelo, de modo similar al que lo hacen los cangrejales de las marismas del norte. Los mencionados crustáceos viven casi exclusivamente en las marismas y reducen todo resto de materia orgánica vegetal y animal a pequeñas partículas, cosa que facilita la acción de los hongos y las bacterias degradadoras. Además, estudios realizados en Europa los señalan como un componente clave en la dieta de los peces que se acercan a la costa. Como poseen la capacidad de acumular en su cuerpo importantes cantidades de metales pesados y otros contaminantes, actualmente se están poniendo a punto técnicas para utilizarlos como indicadores de contaminación ambiental.

Típica marisma de la Patagonia austral, dominada por una compacta alfombra de pocos centímetros de alto formada por picles de mar (*Sarcocornia perennis*). Esas marismas son ambientes exentos del aporte de ríos caudalosos, caracterizados por la amplitud de las mareas, cuya diferencia vertical entre bajamar y pleamar puede alcanzar los 14m. Los canales de marea llegan fácilmente a los 6m de profundidad.



## Importancia del ambiente: su uso y valoración

El interés humano por las marismas comenzó hace siglos en Europa, cuando se obtenía de ellas alimentos para la población y el ganado y se las consideraba buena fuente de materiales para construir viviendas. Actualmente las marismas son aprovechadas de nuevos y variados modos. La práctica del ecoturismo es, entre los usos modernos, uno de los más interesantes, porque permite un rédito económico basado en la contemplación y protección de estos hermosos ambientes y sus integrantes, aunque se trata de una actividad que está asociada con otros costos ambientales, como la urbanización de vastos paisajes rurales o de áreas naturales.

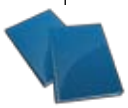
Por muchas décadas se creyó que la principal utilidad de las marismas era actuar como fuente de nutrientes para las cadenas tróficas marinas, mediante los detritos vegetales y animales que ellas van concentrando a lo largo del tiempo y liberan bajo la forma de pulsos. No tenemos, sin embargo, información suficiente para asegurar que dicho fenómeno sea realmente común, pero conocemos una variedad de funciones o servicios ecológicos que pueden atribuirse a este ambiente.

Entre ellos se puede mencionar que son áreas óptimas para la reproducción y cría de peces como pejerrey, lisa y palometa, de aves como patos, chorlos y flamencos, de mamíferos como mulitas, liebres, zorros y gatos salvajes, y de invertebrados de importancia comercial, como mejillones y ostras. Son áreas de protección de tormentas marinas y fluviales; proveen cotos de caza y pesca deportiva y comercial; son hábitat de especies vegetales de importancia medicinal como el arbusto *Limonium*, y culinaria como el picle y el tomillo patagónico; son filtros naturales de contaminación costera severa, como la provocada por derrames de petróleo en el mar o por el escurrimiento de productos agroquímicos desde tierra. Poseen sin duda atractivo estético, tienen interés educativo y constituyen un ámbito óptimo para el descanso. Si sus ambientes fueran deteriorados o destruidos, su reconstitución para obtener cualquiera de estos servicios requeriría una cuantiosa inversión. Esta idea es una de las que mejor promueven la conciencia de conservación ambiental en las sociedades contemporáneas.

Para entender el concepto de usos, funciones y servicios ecosistémicos, imaginemos por un momento que la ciudad de Río Gallegos se extendiera mediante el rellenado de todas las marismas de la costa de la ría: ¿cuánto costaría crear un área de similar superficie y calidad para la cría de los peces de importancia comercial y para que hagan escala los chorlos que migran anualmente desde el hemisferio norte? ¿Cuánto costaría el dragado de la zona portuaria, para remover la acumulación de sedimentos que no retendrían las marismas y harían necesario excavar canales de profundidad apropiada? ¿Cuánto costaría atender a la operación y el mantenimiento del puerto? ¿Cuánto costaría crear áreas de esparcimiento? Este mismo ejercicio podría hacerse para cada uno de los servicios que prestan las marismas. La respuesta posiblemente fuera que los costos estarían más allá de lo que la sociedad aceptaría pagar. Los réditos netos de conservar las marismas son tan contundentes que países desarrollados como los Estados Unidos invierten millones de dólares por año en la recuperación de marismas deterioradas, en la conservación de otras sanas y en su creación en áreas costeras donde no las había. Por eso es tan necesario no solo cuidar nuestras marismas sino, también, planificar su manejo sustentable en el largo plazo.

Si bien unas pocas marismas patagónicas se aprovechan para observar aves, promover la educación ambiental y realizar cursos de ecología, la mayoría permanece ignorada o se usa de manera eventual como sumidero de basura. Así permanecieron por siglos. No sabíamos qué eran, cómo eran, cuántas eran, ni dónde estaban. Pero la información generada en la última década alcanza para alentarnos a apreciarlas y valorarlas, y para convencernos de que debemos comenzar a hacerlo lo antes posible. Actualmente existe voluntad de legislar su protección, pero aun antes de que esta se concrete se requiere prevenir su deterioro y fomentar su valoración por parte del público, al tiempo que se continúa con la investigación científica que amplíe sobre bases ciertas nuestro conocimiento de ellas. La apreciación social, según se ha comprobado en todo el mundo, es una herramienta eficaz para que los políticos opten por la conservación ambiental y tomen medidas que eviten el deterioro del medio. CH

### LECTURAS SUGERIDAS



**ADAM P**, 1993, *Saltmarsh Ecology*, Cambridge University Press, Nueva York.

**BORTOLUS A**, 2008, 'Influencia de los ambientes costeros patagónicos sobre los ecosistemas marino-oceánicos: las marismas como caso de estudio', documento electrónico accesible (noviembre de 2009) en *http://www.marpatagonico.org/libro /articulo.php?id=bortolus-influencia-ambientes-marismas.*

**BORTOLUS A, SCHWINDT E, BOUZA PJ & IDASZKIN YL**, 2009, 'A characterization of Patagonian salt marshes', *Wetlands*, 29, 2: 772-780.

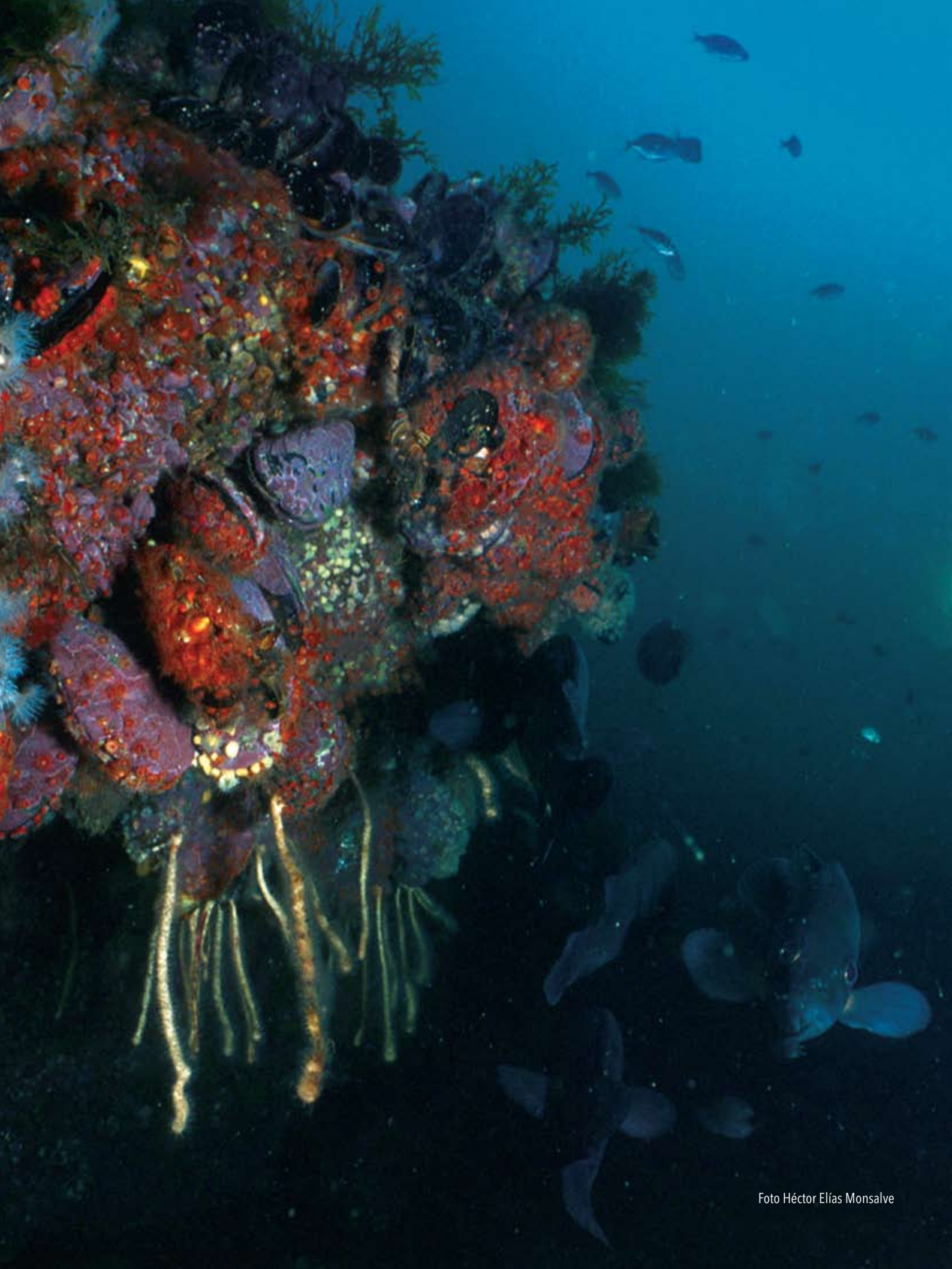


Foto Héctor Elías Monsalve

Ciencia Hoy Volumen 16 número 92 abril - mayo 2006

**E Marcelo Acha y Hermes W Mianzan**
Investigadores del Conicet en el Instituto Nacional
de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

# Oasis en el océano
## Los frentes costeros del Mar Argentino

La contemplación de un paisaje marino suele despertarnos una sensación de paz. Su atención derivará, casi inevitablemente, hacia el eterno desperezo de las olas que arriban a la costa. Al internarse mar adentro, en cambio, una vez perdidas de vista las turbulentas rompientes, la falta de variedad en la superficie del océano amenaza con adormecer el ánimo del observador. Sin barcos a la vista, sin las maniobras de algún ave o el resuello de algún cetáceo, la contemplación del mar abierto carece de estímulos para la mirada inadvertida. Sin embargo, nada difiere tanto de esa apariencia de quietud y uniformidad como la complejidad que esconde el océano en sus entrañas. Si el océano fuese un medio uniforme, la vida en él debería distribuirse homogéneamente, pero este no es el caso. ¡Si lo sabrán los pescadores, a quienes la búsqueda de los cardúmenes les lleva la vida! Si pensamos en el fondo del océano y en las especies que viven en él, resulta fácil imaginar que los distintos tipos de organismos se distribuyen según la diversidad de tipos que el fondo marino puede ofrecer: rocas, arena, limo, oquedades, bajíos o grandes profundidades. Pero, ¿cómo se distribuyen aquellos organismos que habitan la columna de agua, aquellos que no traban jamás relación con el fondo? ¿A qué responde la ordenación de la vida en los gigantescos volúmenes acuáticos de nuestro mar? Trataremos de elucidar algunos procesos que sirvan de respuesta, al menos parcial, a tal interrogante. Y aunque tentados a ir directo al grano, deberemos primero dar algunos rodeos explicando ciertos conceptos de la ecología de los océanos, para demostrar que dos aspectos que se manifiestan en dirección vertical (la luz y la fuerza de gravedad) organizan de manera primaria la vida en el mar.

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los océanos abiertos son, salvo excepciones, de gran pobreza. En el Atlántico argentino es posible reconocer zonas donde distintas aguas con características propias se encuentran. Ello ocasiona que aguas ricas en nutrientes sean movidas hacia la superficie, dando base a una alta producción biológica.

## La vida vegetal en el océano

Tal como ocurre en los ambientes terrestres, en el mar las plantas son los únicos sistemas vivientes capaces de fabricar sus propias sustancias orgánicas (con excepción de otros organismos, como algunas bacterias muy particulares). El resto de los organismos, como los animales, dependen pues de la producción vegetal, de modo que si conseguimos revelar cómo se distribuyen las plantas marinas, estaremos muy avanzados en el camino de dar explicación a la distribución general de la vida. La síntesis de materia orgánica por las plantas, a través del proceso denominado fotosíntesis, requiere básicamente de energía solar y nutrientes (ciertos compuestos del nitrógeno, fósforo, silicio), más algunos elementos como el hierro, cobre, zinc, etcétera. La luz solar experimenta diversos procesos en su interacción con la superficie del océano (reflexión y refracción) y en su viaje hacia las profundidades (dispersión, absorción). Debido a ellos existe una atenuación de la cantidad de luz, y un cambio en su calidad (diferentes longitudes de onda son absorbidas en distintas profundidades) a medida que aumenta la profundidad: la mayor parte del volumen de los mares es un reino de sombras, inadecuado para el desarrollo vegetal. La capa iluminada del océano se llama zona fótica, y solo en ella puede prosperar la vida vegetal. Esta capa posee un espesor muy variable; es reducida en las turbias regiones costeras y mayor en los transparentes mares tropicales, pero es siempre muy delgada en comparación con las enormes profundidades del océano, que en promedio alcanzan unos 3800 metros. Más aún, solo en una estrecha zona bordeando los continentes llega suficiente luz solar hasta el fondo como para permitir la existencia de las grandes algas multicelulares que viven fijadas al sustrato. En el resto del dominio marino, la exigua capa fótica, extremadamente alejada del fondo, solo da cabida (a excepción de algas flotantes del tipo de los sargazos) a la existencia de pequeñas algas planctónicas unicelulares, denominadas en su conjunto fitoplancton. El grueso de la producción vegetal del océano corresponde al fitoplancton, sostén principal de las redes alimentarias del mar. En la naturaleza, la energía no puede volver a utilizarse enteramente dentro del ecosistema; hablamos por ello de flujos de energía (como en el caso de la luz solar). La materia, en cambio, circula constantemente y por ello hablamos de ciclos de materia. Nos interesan en particular los ciclos de los nutrientes, el otro insumo básico de la fotosíntesis. Al igual que en el ecosistema terrestre, los nutrientes son puestos a disposición de las plantas por la acción de los microorganismos descomponedores, como las bacterias, que transforman los desechos metabólicos y la materia muerta remineralizándolos, es decir liberando nutrientes (como quien desarma una complicada construcción hecha con ladrillos y deja prontas las piezas para que otro niño arme su juguete). Pero existe un problema con los desechos y la materia muerta en el océano: estos se hunden. La inexorable acción de la fuerza de gravedad determina que la regeneración de la mayoría de los nutrientes tenga lugar fuera de la región iluminada. Esta es la situación en la mayor parte del océano: pocos nutrientes donde hay luz, oscuridad donde hay muchos nutrientes. Por lo tanto, allí donde existan mecanismos capaces de generar corrientes verticales que venzan la fuerza de gravedad y eleven las aguas densas, ricas en nutrientes, hasta la región iluminada, prosperará la vida vegetal, y con ella sus consumidores y los depredadores de estos. Los frentes marinos son regiones del océano, en los que existen diversos procesos que enriquecen con nutrientes la zona fótica. La alta producción biológica caracteriza, pues, la mayoría de los frentes.

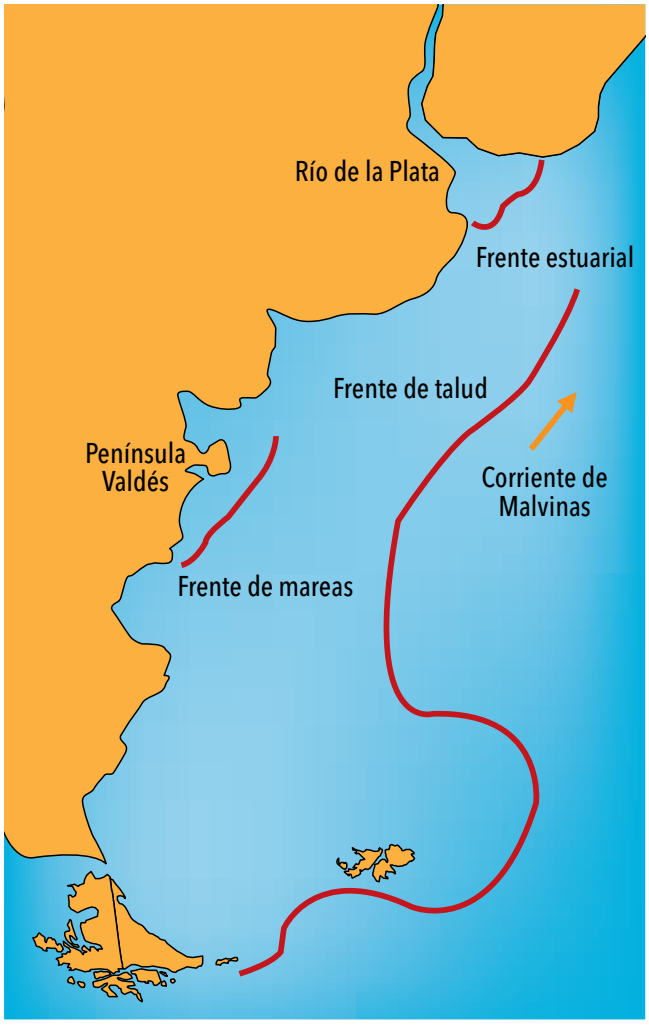



**Figura 1.** Localización esquemática de los tres frentes presentados en este artículo (modificado de Acha *et al.*, 2004).

## Los frentes marinos

En el océano, las características del agua no varían gradualmente con la distancia. Existen enormes extensiones donde la temperatura y la salinidad varían muy poco, bordeadas por estrechas regiones donde los cam-

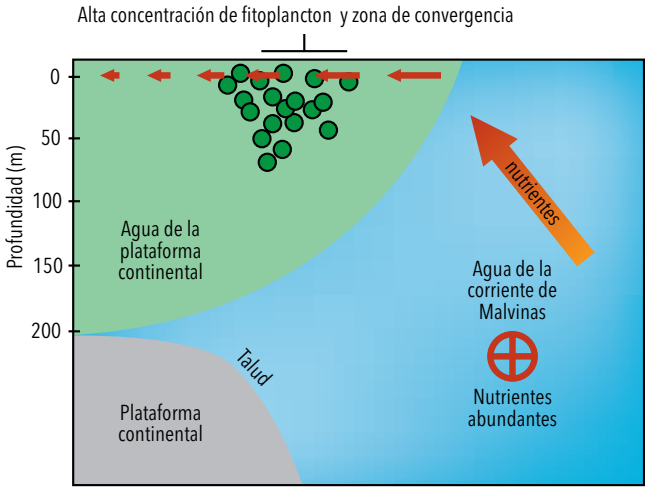



**Figura 2.** Esquema del frente de talud representando un corte transversal de las masas de agua. En gris se representa el fondo de la plataforma continental. El círculo con la cruz en su centro indica que la corriente de Malvinas se mueve hacia el norte ('penetrando en la hoja') (modificado de Carreto *et al.*, 1995).

bios horizontales son extremadamente bruscos. Estas bandas delgadas se denominan frentes. Los frentes marinos integran un grupo particular denominado ecosistemas de borde, junto a ambientes como las orillas de un lago, la frontera entre un bosque y la pradera, etcétera. Una hipótesis señala que la transferencia de materia y energía a través de tales sistemas controla la abundancia y la biodiversidad de toda la región.

Un frente puede ser imaginado como el encuentro de dos masas de agua que presentan propiedades diferentes. A veces esta reunión es denunciada por un cambio de color o de brillo (dado por la distinta rugosidad de la superficie de ambas masas de agua). Frecuentemente, una delgada línea de espuma y la aglomeración de objetos flotantes trazan el contorno (a menudo sinuoso) de esos encuentros. En estos casos la existencia del frente se hace evidente al observador.

En general, las masas de agua en encuentro tienen densidades diferentes. Este hecho ocasiona que el agua de mayor densidad tienda a hundirse por debajo de aquella menos densa. Ambas masas de agua convergen en la superficie y se acumulan objetos flotantes diversos (espuma, restos vegetales, organismos muertos, plásticos, aceites, etcétera), y también organismos planctónicos. Las aguas ricas en nutrientes son movidas hacia la superficie por distintos procesos, que varían según la naturaleza de cada región frontal, y en ellos reside el origen de su alta producción biológica.

Los frentes marinos se manifiestan en tamaños diversos. Algunos de ellos se extienden por miles de kilómetros, por ejemplo el frente polar antártico, que rodea todo el globo separando las aguas antárticas y las subantárticas. En el extremo opuesto, en la desembocadura de ríos pequeños se forman frentes salinos de unos pocos kilómetros de extensión, que muchas veces solo se manifiestan durante la bajamar, pues la pleamar puede detener completamente la descarga de agua dulce de estos cursos menores.

La descarga de ríos en el océano, la convergencia de corrientes marinas y distintas fuerzas físicas como las mareas, el viento o el calentamiento solar, por sí solos o en combinación, favorecen la formación de los frentes.

## El frente del talud continental

El Mar Argentino alberga una de las plataformas continentales más extensas del mundo (cerca de 1.000.000 km$^2$). La plataforma continental es una suave planicie, continuación submarina del continente, que desciende hasta unos 200m de profundidad. De aquí en más el lecho marino se precipita hasta alcanzar profundidades de 4000 o 5000m. Este declive se denomina talud continental, y más allá de él se encuentran las cuencas oceánicas, contenedoras de los inmensos volúmenes acuáticos del océano abierto.

La corriente de Malvinas transporta hacia el norte aguas frías y ricas en nutrientes. Esta corriente se desplaza

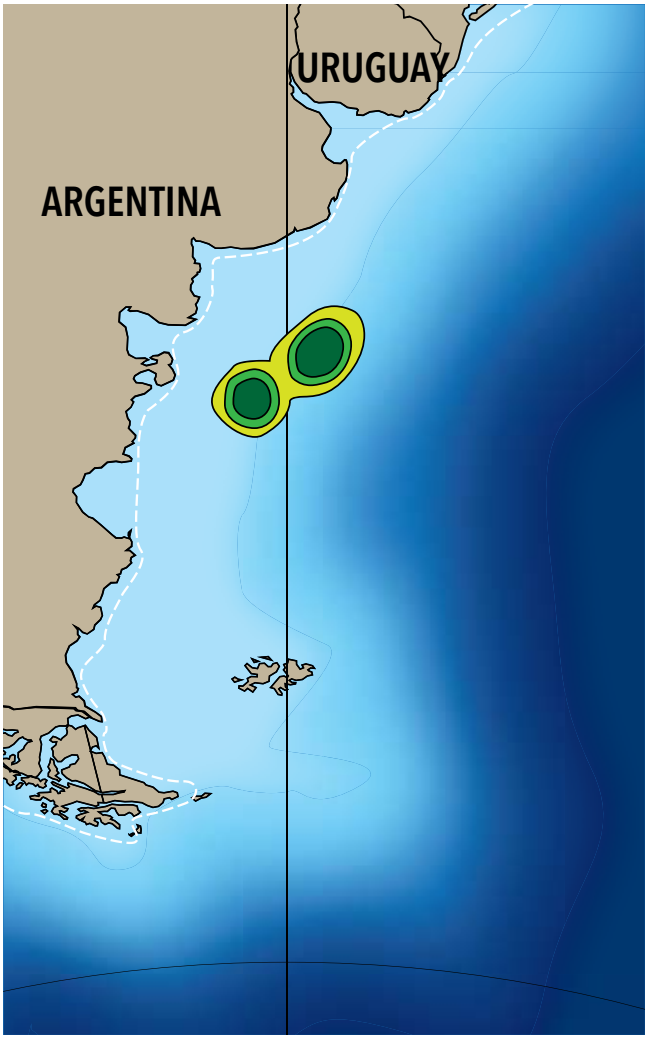



**Figura 3.** Elefantes marinos machos alimentándose en el talud. Estimación de la densidad de localizaciones (los contornos corresponden al 50%, 75% y 95% de las ocurrencias).

a lo largo del talud continental, como recostada contra él. La reunión de las aguas de la corriente de Malvinas con aquellas de la plataforma continental da lugar a la formación del frente de talud (figura 1). Este es el frente de mayor dimensión de nuestro mar, se extiende desde algo más al sur de Tierra del Fuego hasta la latitud de Mar del Plata o la boca del Río de la Plata, según la época.

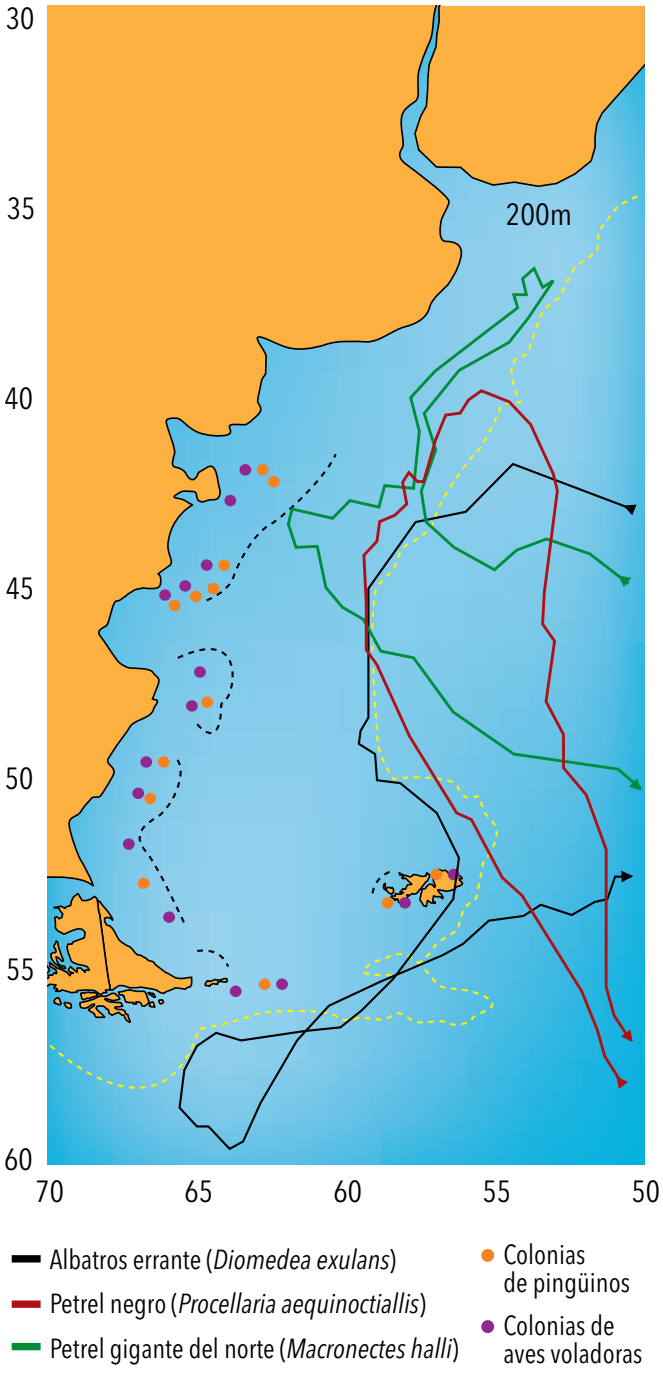



**Figura 4.** Viajes de alimentación de albatros y petreles a lo largo del frente de talud, registrados por medio de transmisores cuya señal es captada por satélites. Estos viajes tienen su inicio en las islas Georgias del Sur (fuera del mapa) donde estas especies se reproducen. Se representan los vuelos de tres individuos (un petrel gigante del norte, un petrel negro y un albatros errante). Ubicación de las principales colonias de aves marinas en la Patagonia (círculos) y de los frentes de mareas (líneas punteadas) (modificado de Acha *et al.*, 2004).

Las temperaturas contrastantes de las aguas de la corriente de Malvinas y aquellas de la plataforma continental delinean el frente de talud en las imágenes satelitales. Las fértiles aguas de la primera ascienden hasta las capas iluminadas del océano a lo largo de este frente (figura 2), dando lugar a una importante producción fitoplanctónica que sostiene la trama trófica de la región. Grandes concentraciones de zooplancton (pequeños animales componentes del plancton, mayormente crustáceos, y también estadios larvales de organismos mayores) prosperan alimentándose sobre las algas del fitoplancton, y son a su vez el alimento de pequeños peces como la anchoíta y juveniles de otros peces. Merluzas y calamares sacan buen provecho de este frente, alimentándose durante sus etapas larvales del zooplancton, y en sus fases adultas de pequeños peces y grandes crustáceos nadadores. Grandes mamíferos como los elefantes marinos son también atraídos por la abundancia de alimento del frente de talud; viajan unos 400 km desde la península Valdés para alimentarse buceando hasta llegar, en ocasiones, a más de 1000m de profundidad (figura 3). Los elefantes tienen sus colonias reproductivas en esta península; muy cerca hay otro frente muy importante (ver más adelante), pero estos animales no se alimentan durante su período de reproducción y cría, que tiene lugar durante los meses de verano. La predilección por el frente de talud y la justificación de tan largo periplo podrían estar en la falta de competencia que supone la captura de presas a grandes profundidades, la predictibilidad en la provisión de alimento que significa el frente de talud y la disponibilidad de presas de alto valor calórico como los peces de profundidad con alto contenido graso, además de los calamares.

Las aves marinas también concurren a alimentarse al frente de talud. Grandes albatros y petreles encuentran en los peces, calamares y crustáceos planctónicos un alimento de alta calidad energética con el cual satisfacer las elevadas demandas de su metabolismo (figura 4). En tanto las aves aprovechan esta región desde el aire, existen quienes sacan su rédito desde el fondo. Densos bancos de vieiras patagónicas (un molusco bivalvo de importancia comercial) se localizan en coincidencia con este frente (figura 5), del que aprovechan la porción de producción biológica que, aunque generada en superficie, llega al fondo merced a la acción de la gravedad. Los bancos que esta especie forma sobre el lecho oceánico constituyen el asiento de una diversa comunidad bentónica (aquellos organismos de escasa o nula movilidad, que viven asociados al fondo). La mayoría de estos organismos, al momento de reproducirse, liberan enormes cantidades de pequeñas larvas que integran durante un tiempo la comunidad del plancton; de ese modo, están sometidas a los vaivenes de las masas de agua, pero son acumuladas y retenidas en la región frontal, donde además tienen asegurada su alimentación. Al acercarse el fin de su etapa planctónica, las larvas se hunden y asien-

## GENERACIÓN DE UN FRENTE DE MAREAS

Nosotros, seres terrestres, percibimos las mareas como un movimiento periódico de avance y retroceso de las aguas del mar sobre la playa, pero ese es el efecto final de una onda que se desplaza grandes distancias por el océano, originando un ascenso y descenso de las aguas. La atracción gravitatoria del Sol y de la Luna es la generadora de las mareas. Los movimientos verticales de la onda de marea están acompañados por otros horizontales de las aguas dando lugar a las corrientes de marea. Cerca del fondo, la corriente de mareas experimenta una fuerte fricción contra el lecho oceánico que genera una mezcla turbulenta de las moléculas de agua. El espesor de la capa que puede así ser mezclada depende de la velocidad de la corriente de mareas, y tal espesor debe computarse desde el fondo y en dirección a la superficie. Supongamos una columna de agua de 80m de espesor con una termoclina a los 25m (es decir, 25m de agua templada sobre 55m de agua fría), y una corriente de mareas capaz de mezclar una capa de 35m (figura 10). Aquí la energía mareal no mezclará las capas, pues su acción solo se manifestará por debajo de la termoclina. Pero imaginemos que nos desplazamos a un sector más cercano a la costa, digamos a 30m de profundidad, donde encontraríamos 25m de agua cálida sobre 5m de agua fría. Aquí la acción de la marea destruirá la termoclina mezclando la columna de agua y de este modo inyectará los vitales nutrientes en la región bien iluminada del océano. Este es el proceso de formación de un frente de mareas. A medida que nos dirigimos hacia aguas menos profundas, el fondo 'se acerca' a la termoclina. Existe una profundidad crítica a partir de la cual, y en dirección a la costa, las mareas mezclarán la columna de agua. El encuentro entre el sector costero de aguas mezcladas y el sector más oceánico de aguas estratificadas es el frente de mareas.

tan sobre el fondo, metamorfoseándose en individuos adultos. Continúa sin embargo su relación con el frente, puesto que los integrantes de esta comunidad aprovecharán de forma directa o indirecta la producción fitoplanctónica del frente. Finalmente, el hombre no podía faltar a esta cita, y el frente de talud constituye uno de los caladeros de pesca más importantes de nuestro mar, sobre todo de calamar, merluza y vieiras, pero también de otras especies australes como polaca, merluza austral, merluza de cola, merluza negra, etcétera.



**Figura 5.** Captura de vieiras en el frente de talud, donde puede verse parte de la comunidad bentónica asociada (caracoles, erizos, cangrejos).

## El frente de mareas de la península Valdés

La Patagonia argentina presenta singularidades que la han hecho famosa en el mundo entero: su emblemática fauna marina compuesta por ballenas, orcas, pingüinos y elefantes marinos; sus paisajes, que combinan glaciares, lagos, bosques y fiordos; su rica historia poblada por los míticos patagones, pioneros y misioneros, Charles Darwin y el capitán Luis Piedrabuena. Para los oceanógrafos, además, la Patagonia argentina es reconocida por la enorme energía que las mareas disipan en sus costas. Frente a la península Valdés, y extendiéndose oblicuamente hacia el sur hasta poco más o menos alcanzar la punta norte del golfo San Jorge, se extiende casi sin interrupción un frente originado en la energía mareal (figura 1).

Durante los cálidos meses de la primavera y el verano, el sol calienta las aguas superficiales del océano, produciendo una capa superior de aguas templadas que reposa sobre una capa inferior de aguas más frías y densas. El pasaje de la capa cálida a la fría es abrupto, una verdadera interfase que aísla ambos estratos, denominada termoclina. El fitoplancton prospera un corto tiempo en la capa superior bien iluminada pero rápidamente agota los nutrientes, en tanto que estos abundan en la capa inferior, aunque fuera del alcance de las pequeñas algas. ¿Cómo inyectar estos nutrientes en la capa superior, y dar de ese modo impulso a la producción biológica del sistema? La solución es fácil de imaginar: hay que mezclar la columna de agua. Sin embargo, en esta época del año, ambas capas de agua tienen densidades muy diferentes y no se mezclarán sin un impulso externo, y es aquí donde las mareas entran en escena generando una región frontal definida por el encuentro entre una región de aguas mezcladas (costera) y otra estratificada (ver el recuadro

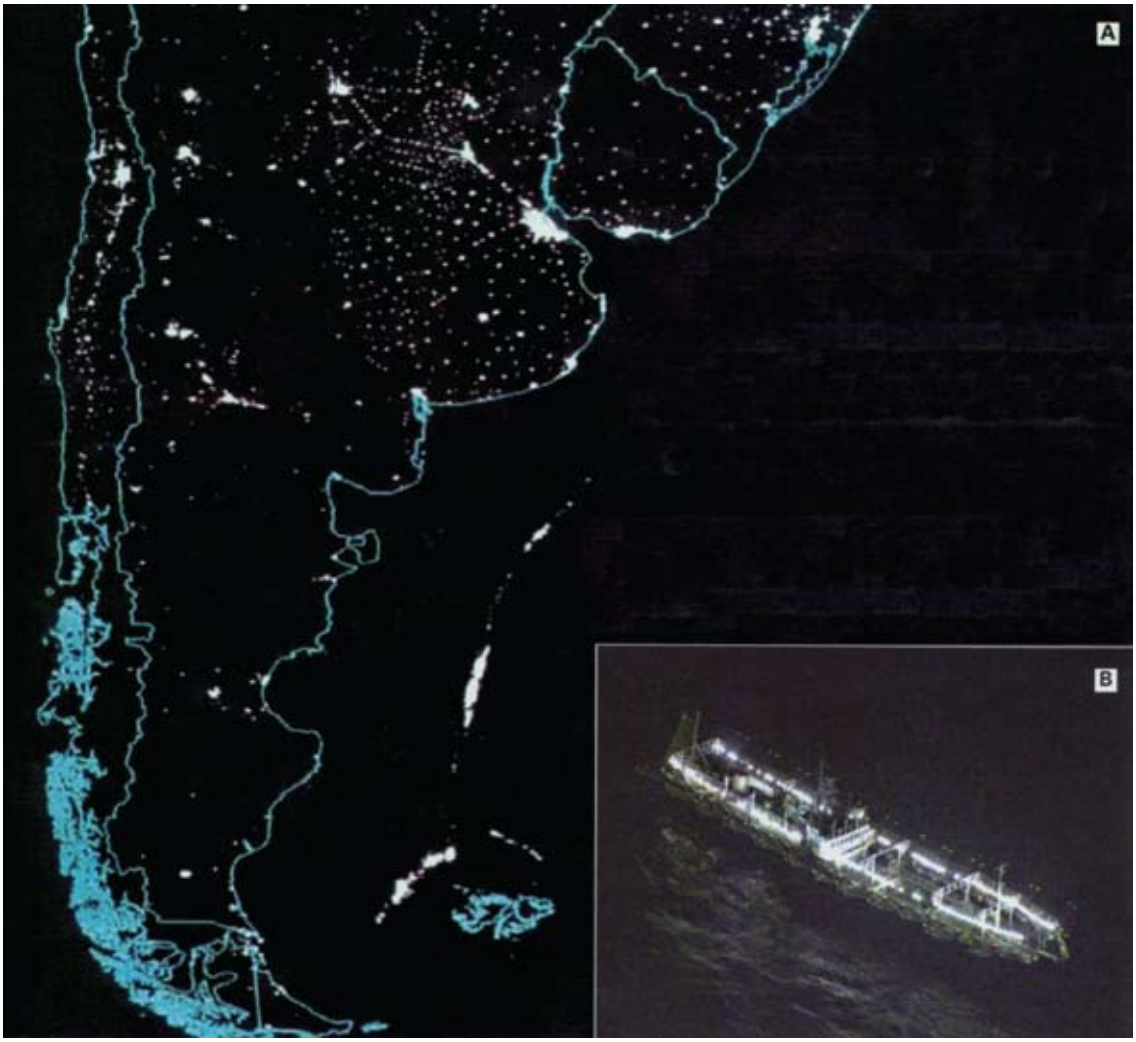



**Figura 6.** Buques 'poteros' a la pesca de calamar en el frente de talud. A. Imagen satelital nocturna del Mar Argentino (*http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html*) B. Aerofotografía de un 'potero'.

'Generación de un frente de mareas'). Además del enriquecimiento en nutrientes, y en consecuencia de una alta producción vegetal, la diferencia de densidad entre las diversas masas de agua produce un patrón de circulación que ayuda a la concentración de los organismos planctónicos, acentuando la riqueza biológica del frente.

La identificación y las primeras descripciones del frente de Valdés fueron desencadenadas por un suceso trágico. La muerte por intoxicación por ingerir moluscos bivalvos de dos pescadores del buque *Constanza*, en la zona de Valdés en 1980, dirigió la atención de varias instituciones científicas de nuestro país hacia esta región. Con la información colectada durante una campaña oceanográfica realizada por el INIDEP, se efectuaron las primeras descripciones de este frente. Es un hecho bastante frecuente en todo el mundo la existencia de mareas rojas asociadas a frentes (figura 7).

La riqueza en nutrientes del frente de Valdés le permite prosperar al fitoplancton. Las altas concentraciones de estas algas promueven el desarrollo de densas poblaciones de organismos zooplanctónicos herbívoros, principalmente copépodos, fuente alimentaria de organismos mayores. Organismos gelatinosos, como los ctenóforos, son muy abundantes en la región de aguas estratificadas. Al igual que el frente de talud, el de mareas constituye un área de reproducción de la anchoíta, de la merluza y del calamar. Las larvas planctónicas de estas tres especies encuentran abundante alimento en las concentraciones de zooplancton, a la vez que las propiedades dinámicas de las aguas frontales evitan la dispersión de las larvas quedando retenidas en cercanías del frente.

La influencia del frente en la distribución de la vida va más allá de la sola porción de agua que lo contiene, extendiéndose al fondo marino como lo demuestran algunos bancos de vieira patagónica, e incluso a la región continental costera: las costas patagónicas cobijan densas colonias reproductivas de aves marinas, cuya localización en tierra firme parece relacionarse con la ubicación de frentes costeros (figura 4). La alta concentración de alimento en estos frentes podría satisfacer las grandes demandas de las aves que deben alimentar a sus pichones. Algunas de estas aves, como gaviotas y gaviotines, son depredadoras de superficie, pero otras son consumadas buceadoras, como los pingüinos y cormoranes. Casi todas ellas depredan sobre peces pequeños como anchoítas y pejerreyes.

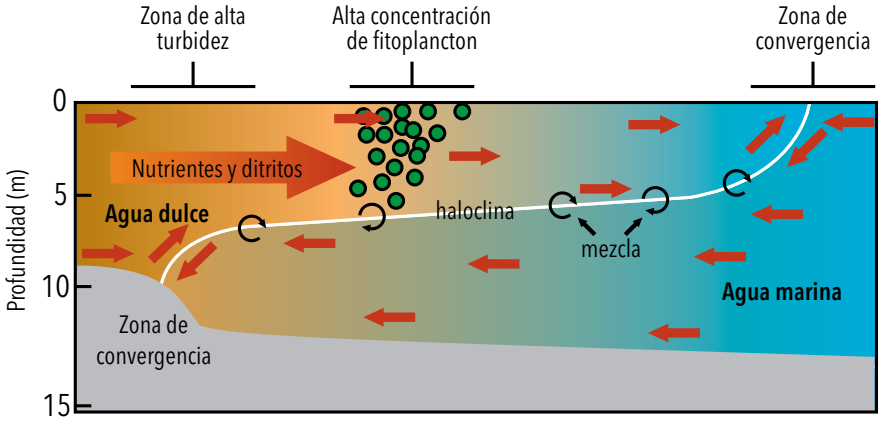



**Figura 8.** Esquema del frente estuarial del Río de la Plata (modificado de Acha y Mianzan, 2003).

## El frente estuarial del Río de la Plata

Las convergencias sucesivas de grandes ríos (el Paraguay con el Paraná, y luego este con el Uruguay) dan origen al Río de la Plata que, como un enorme vaso hídrico de América del Sur, vierte al océano Atlántico unos 22.000 metros cúbicos de agua en cada segundo (figura 1). Mas no solo agua tributa el gran río, puesto que durante el largo viaje a través del continente el agua dulce se carga de sedimentos y, lo que es más importante, de nutrientes y detritos orgánicos. El río entonces fertiliza la región costera del océano. La reunión de las aguas dulces y las marinas da lugar a un frente muy productivo y físicamente complejo. Las aguas del río, más livianas, flotan sobre las aguas marinas, más densas debido a las sales en solución (figura 8). Las fluctuaciones del caudal y los vaivenes del viento hacen de la reunión de aguas dulces y marinas una región altamente dinámica, de posición geográfica cambiante. Con el aporte de nutrientes, el fitoplancton prospera en la región iluminada permitiendo la abundancia del zooplancton y en forma sucesiva la de los demás eslabones de la cadena trófica, tal como ha sido comentado para los otros frentes. Una peculiaridad de este frente es que en la región interior del estuario, si bien los nutrientes son abundantes, la alta turbidez del agua conspira contra el auge de la vida vegetal aun cerca de la superficie. Existen, sin embargo, organismos capaces de alimentarse de los detritos orgánicos (que son en su mayoría restos de vegetales terrestres en descomposición) que transportan las aguas del río. Distintos tipos de organismos del plancton dan cuenta de estos materiales: bacterias, microplancton unicelular (tintínidos, ciliados desnudos), rotíferos y crustáceos omnívoros (capaces de alimentarse de detritos tan bien como del fitoplancton). Todos estos pequeños organismos constituyen un eslabón de otra cadena trófica, que enlaza a varios organismos del lugar. Es decir que la vida en este frente se sostiene sobre dos fuentes de materia: el detrito y el fitoplancton. Existen especies ligadas preferentemente a una u otra cadena trófica, y muchos de los peces que ocupan niveles tróficos altos aprovechan como alimento a organismos de ambas cadenas. Varias especies de peces costeros, como la corvina rubia, la pescadilla real y la pescadilla común, aprovechan la rica oferta trófica de este frente. Si bien el estuario es una importante zona de reproducción para muchos de ellos, sobresale como área de cría de juveniles (pequeños peces de unos 2 a 15 centímetros de longitud). Las aves marinas lo aprovechan como zona de alimentación en sus rutas migratorias. Aquellas que son ictiófagas, como los gaviotines (*Sternidae*) y los rayadores (*Rynchopidae*), explotan las grandes concentraciones de anchoítas en la boca del estuario o las de otros peces juveniles en su interior. Otras, en cambio, como los chorlitos y playeros (*Charadriformes*), se alimentan de pequeños organismos que viven en el fango que queda expuesto durante la bajamar.




**Figura 7.** A. Marea roja vista desde un buque. B. Acercamiento en una de las zonas de máxima densidad de organismos.

Dijimos que los frentes marinos pueden considerarse como una interfase entre dos masas de agua diferentes. De modo análogo, las marismas (o pantanos salados) constituyen la interfase entre el estuario y el continente. Las marismas forman una franja de terreno inestable que rodea toda la bahía Samborombón y que se hallan bajo el efecto directo de las mareas. Buena parte de ellas se ve alternativamente cubierta y descubierta por las aguas;




**Figura 9.** El frente de turbidez del Río de la Plata visto desde el satélite Landsat 5.

la salinidad de su suelo es su característica más notable. Prosperan en este terreno cierta clase de vegetales capaces de resistir la concentración de sales y la altísima humedad del sustrato (denominadas halófitas), plantas de los géneros *Spartina* y *Sarcocornia*, productoras de buena parte del detrito vegetal que habrá de encontrarse luego en el estuario. Pero los soberanos de nuestras marismas son los cangrejos, en especial las especies que cavan sus cuevas en el blando sedimento dando origen a los célebres y temidos cangrejales. Estos crustáceos se alimentan de las plantas de las marismas o del detrito que ellas generan y forman poblaciones de increíble numerosidad.

## Otros frentes del Mar Argentino

Ciertamente no hemos descripto todos los frentes del Mar Argentino. Hemos elegido tres de los más conocidos y que representan distintos tipos, pero lejos están de agotar todo el repertorio. Existen en la Patagonia otros frentes de mareas. Algunos de menores dimensiones y muy cercanos a la costa, y otro de dimensiones comparables que se extiende entre el golfo San Jorge y el estrecho de Magallanes. En la plataforma continental frente a Santa Cruz y Tierra del Fuego, se desarrolla un frente salino originado por las aguas diluidas debido a las lluvias y a los deshielos, que aportan el estrecho de Magallanes y la corriente del cabo de Hornos. En el golfo San Matías, la evaporación del agua marina excede a los aportes de ríos y lluvias, con el efecto neto de volver a las aguas del golfo más saladas que las del océano circundante. Estas aguas, al salir del golfo, se mueven hacia el norte como una lengua de alta salinidad. Este contraste salino resulta aumentado por las descargas de los ríos Negro y Colorado, formando un frente salino paralelo al extremo sur de la provincia de Buenos Aires, desde la boca del golfo San Matías hasta más o menos Monte Hermoso.

La percepción de la importancia ecológica de los frentes, y las posibilidades de que brinden nuevas tecnologías, contribuirán a mejorar la comprensión del funcionamiento de estos sistemas, y quizá aun a la identificación de otros nuevos. Si bien todas, o casi todas, las disciplinas científicas son altamente influenciadas por los avances tecnológicos, la oceanografía lo es en grado superlativo. Los sensores montados en los satélites han permitido observaciones sinópticas y de alta resolución sobre los fenómenos frontales impensables hace tan solo un par de décadas (ver el recuadro 'El uso de satélites en el estudio de los frentes marinos'). El empleo de ecosondas científicas para estudiar la distribución de los peces y los organismos mayores del plancton está dando resultados promisorios en cuanto a develar la organización de la vida en los diferentes estratos de la columna de agua, y resulta un complemento excelente de la información satelital, oceanográfica y de la toma tradicional de muestras empleando redes.

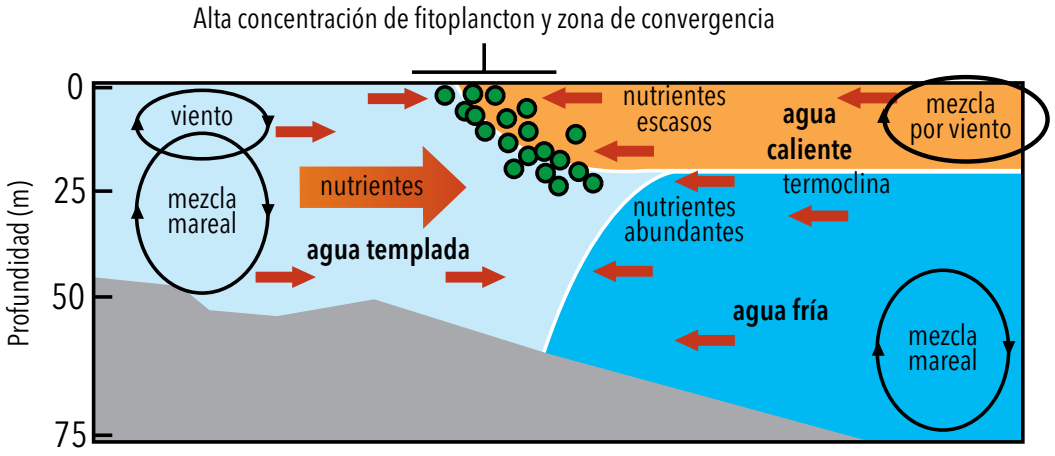



**Figura 10.** Esquema del frente de Valdés (modificado de Carreto, 1989).

## A modo de conclusión

Sucede cada tanto que una disciplina científica recibe el empuje de un espíritu de creatividad superior. Ramón Margalef fue un ecólogo español que ha dejado profunda huella en el modo en que biólogos y ecólogos entendemos a la naturaleza. Su talento para ver y mostrar con facilidad nuevos rumbos le valió el reconocimiento de la comunidad científica mundial. Margalef advirtió tempranamente la importancia de los procesos físicos y ecológicos que tienen lugar en los bordes o en las fronteras entre sistemas o parcelas, tanto fueran acuáticos como terrestres. Nuestro enfoque de la ecología de las regiones frontales hunde sus raíces en tales ideas. Volvamos en el final a nuestras cuestiones del principio, para decir que la pretendida homogeneidad del ambiente marino no es tal sino que, mirado con la perspectiva correcta y mediante el apoyo de instrumental específico, aparece formado por parcelas o parches diferentes, como aquellas colchas de patchwork que hacían las abuelas. Es decir que podemos pensar en la superficie del océano como en un mosaico de masas de agua con propiedades diversas. En contra de los dictados de la intuición, y siguiendo el camino señalado por don Ramón, proponemos dirigir nuestra mirada no

### LOS SATÉLITES EN EL ESTUDIO DE LOS FRENTES MARINOS

Los frentes son regiones relativamente extensas a la hora de ser recorridas por un barco, y son además altamente cambiantes. Es prácticamente imposible entonces obtener una visión conjunta de sus propiedades durante una campaña oceanográfica, pues cuando estamos efectuando las mediciones finales es muy probable que las condiciones que medimos al comienzo de la campaña, en el otro extremo de la región frontal, hayan cambiado. Es aquí donde vienen en nuestra ayuda los satélites y los sensores que ellos transportan. Como sus órbitas los alejan suficientemente de la superficie terrestre (unos 800 km) pueden abarcar el frente entero, o al menos una gran porción de él, y obtener una imagen instantánea de estos cambiantes sistemas. Los dispositivos transportados por los satélites pueden medir distintas propiedades de la superficie del océano, como por ejemplo la temperatura, el color, la rugosidad de la superficie marina y la concentración de clorofila (indicativa de la abundancia de fitoplancton, y que puede ser estimada hasta unos 20 m de profundidad en aguas muy claras). Además de la sinopticidad de la información obtenida por satélites, es importante la alta frecuencia con que estos efectúan sus mediciones (en algunos casos de varias veces por día) ya que permiten estudiar la evolución de las propiedades frontales con una resolución temporal imposible con el uso de embarcaciones. Algunas de estas propiedades necesitan de cielos despejados para ser medidas, de modo que la nubosidad muchas veces conspira contra los oceanógrafos. Una limitación importante de esta tecnología es que solo es capaz de medir las propiedades de la superficie y la capa superior del mar, y como hemos dicho, los frentes poseen estructuras verticales complejas y mucho más profundas. Es por ello que las mediciones por medio de satélites y aquellas efectuadas en el mar desde buques de investigación, son complementarias y una no puede reemplazar a la otra.

Los argentinos hemos colocado en el cielo nuestra propia estrella. El 21 de noviembre de 2000 la NASA lanzó con todo éxito un satélite argentino, el SAC-C, creado por la agencia espacial nacional, la CONAE, y construido totalmente en la Argentina. Desde entonces se encuentra enviando información que es recogida en la Estación Terrena ubicada en Falda del Carmen, Córdoba. Este primer satélite argentino de observación de la Tierra transporta sensores diversos, entre ellos una cámara (también construida en nuestro país) que recogen información para el estudio de ecosistemas terrestres y marinos, incluyendo aspectos relacionados a la hidrología, el clima y la oceanografía (figura 11). La CONAE ha dispuesto, mediante la presentación de proyectos, el libre acceso de las imágenes para su utilización con fines científicos, permitiendo a los investigadores que estudian el océano y la tierra contar con una herramienta de valor inestimable y cuyos alcances estamos aun descubriendo (véase también *http://www.conae.gov.ar/satelites/ sac-c.html*).



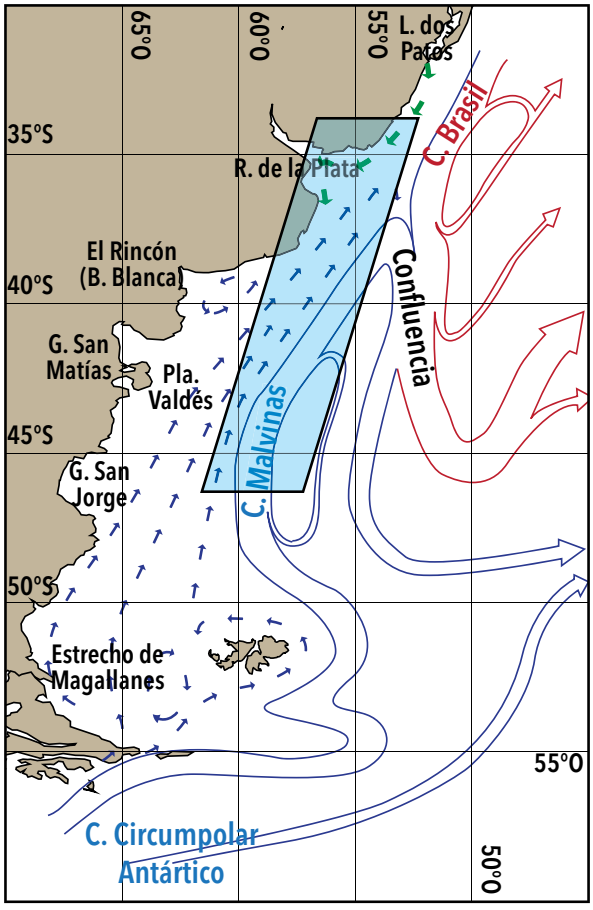




**Figura 11.** A. El frente de talud visto desde el satélite argentino SAC-C. B. Área cubierta en esta imagen.

a cada una de las unidades que componen el mosaico, sino a la juntura entre ellas. Es allí donde está la acción, donde se concentra la vida, donde residen los mecanismos principales de la productividad marina. Son los oasis del océano.


## Agradecimientos

Nos es muy grato agradecer la ayuda de varios colegas y amigos que mejoraron este trabajo. Fernando Ramírez, José Carreto y Oscar Iribarne leyeron críticamente el manuscrito, aportando valiosas sugerencias. Las imágenes satelitales se deben a la generosidad de Antonio Gagliardini. Marco Favero preparó la imagen del forrajeo de aves en el talud. Valeria Falabella y María Rosa Marín confeccionaron el mapa de los elefantes marinos en el talud sobre datos provistos por Claudio Campagna y colaboradores. José Carreto, Claudia Bremec y Pepino Buono proveyeron, respectivamente, las imágenes de marea roja, captura de vieiras y de buques poteros en el talud.


## LECTURAS SUGERIDAS


**ACHA EM y MIANZAN H**, 2003, 'El estuario del Plata: donde el río se encuentra con el mar', Ciencia Hoy, 73: 10-20.

**ACHA EM, MIANZAN H, GUERRERO R, FAVERO M y BAVA J**, 2004, 'Marine fronts at the continental shelves of austral South America. Physical and ecological processes', *Journal of Marine Systems*, 44: 83-105

**CARRETO JI**, 1989, 'Mareas rojas', Ciencia Hoy, 4: 28-36.

**CARRETO JI, LUTZ VA, CARIGNAN MO, CUCCHI COLLEONI AD & DE MARCO SG**, 1995, 'Hydrography and chlorophyll a in a transect from the coast to the shelf-break in the Argentinian Sea', *Continental Shelf Research*, 15 (2-3): 315-336.

**CAMPAGNA C, QUINTANA F y BISIOLI C**, 1994, 'Elefantes marinos de la Patagonia', Ciencia Hoy, 26: 25-32.

**MARGALEF R**, 1982, 'Fronteras o interfases asimétricas', en *Ecología*, Barcelona, Omega, pp. 855-877.

**PIOLA AR, MOLLER OO y PALMA ED**, 2004, 'El impacto del Plata sobre el océano Atlántico', Ciencia Hoy, 82: 28-37.

Ciencia Hoy Volumen 9 número 52 1999

**Eduardo D Spivak**

Investigador del Conicet en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

# Cangrejos, viajeros y conquistadores

Una mañana de abril de 1997, un pescador artesanal de Mar Chiquita (laguna costera de la provincia de Buenos Aires) encontró un ovillo formado por restos de sogas entre la resaca depositada en la playa durante la noche. Este ovillo contenía una pequeña 'comunidad' integrada principalmente por algas, cangrejos y otros pequeños crustáceos. El pescador advirtió que los cangrejos eran diferentes de los que habitualmente viven en las orillas fangosas de la laguna (ver recuadro 'Mar Chiquita y sus cangrejos'), por lo cual los tomó cuidadosamente y los entregó a un grupo de estudiantes de biología de la Universidad de Mar del Plata que investigan diversos aspectos de la ecología de la laguna. Transportados al laboratorio, esos cangrejos fueron identificados como *Planes marinus*, una especie que nunca había sido encontrada en las costas argentinas.

Los cangrejos del genero *Planes* han recibido ese nombre debido a sus vagabundeos oceánicos (*Planes* deriva del griego 'vagar'; de ahí viene también la palabra 'planeta'). Pertenecen a una de las más numerosas familias de cangrejos, los grápsidos (familia *Grapsidae*), que viven en general en las zonas costeras del mundo. Pero, a diferencia de sus parientes, los *Planes* han adquirido la curiosa costumbre de viajar en 'balsas'. Los anteriores hallazgos de *Planes marinus* se verificaron en Nueva Zelanda, el océano Pacífico nororiental y la isla de Santa Elena, en el Atlántico. El transporte por las corrientes oceánicas de superficie podría explicar las conexiones entre sitios tan distantes, aunque existe la opinión de que lo infrecuente y disperso de estos hallazgos sería consecuencia del poco interés que han tenido los navegantes en juntar y analizar, de manera sistemática, los objetos que flotan a la deriva del mar. Una excepción célebre de este supuesto desinterés es Cristóbal Colón. En el diario de su primer viaje escribió, el 17 de septiembre de 1492, mientras las carabelas atravesaban el mar de los Sargazos: *En amaneçiendo aquel lunes vieron muchos más yervas y que pareçían yervas de ríos, en las cuales hallaron un cangrejo bibo, el cual guardó el Almirante*. Probablemente era un *Planes* (se supone que en ese

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los estudios sobre la ecología, la fisiología y el comportamiento de los cangrejos de la familia *Grapsidae* permiten entender su distribución geográfica e imaginar la conquista del ambiente terrestre por algunos invertebrados marinos.

ámbito geográfico se han originado el género) y por eso en la literatura científica se denomina a estos cangrejos 'Columbus crabs' (cangrejos de Colón).

Si bien las especies de *Planes* son las únicas que practican el *rafting*, hay otros cangrejos grápsidos viajeros. Por ejemplo, el 'cangrejo chino con mitones' ('chinese mitten crab', *Eriocheir sinensis*) presenta un curioso comportamiento migrador. Llamado así por provenir de la China y tener unas pinzas muy peludas, estos cangrejos fueron introducidos en ríos alemanes a principios del siglo XX, y luego se expandieron hasta llegar a Francia y Rusia. La historia natural del *Eriocheir sinensis* es interesante tanto desde el punto de vista ecológico como evolutivo.

Existe consenso entre los especialistas en considerar que los cangrejos provienen de un ancestro marino, y aún hoy la gran mayoría de las especies habitan en el mar. Algunos grupos habrían invadido luego ambientes con variaciones marcadas de la salinidad del agua, como los estuarios, y de allí el agua dulce. En algunos casos 'colonizaron' el ambiente terrestre. Esa capacidad invasora no se desarrolló en todos los grupos de cangrejos y, si bien hay algunas familias cuyas especies habitan exclusivamente ríos, lagos o bosques, los grápsidos parecen mostrar todas las etapas que pudieron haber constituido el proceso de adaptación a nuevos ambientes. Para poder conquistar el agua salobre o dulce, un animal marino tiene que haber adquirido la capacidad de sobrellevar variaciones en la concentración salina de sus líquidos corporales (*osmoconformar*) o bien de mantenerla constantemente elevada con respecto al medio (*osmorregular*). Esa capacidad no es regular a lo largo del complejo ciclo de vida de los cangrejos (ver recuadro 'La complicada vida de un cangrejo'): en general, parece ser mayor en los adultos que durante las etapas tempranas de la existencia, en las larvas.

La eclosión de las larvas del *Eriocheir sinensis* en Europa tiene lugar en la parte externa de los estuarios que desaguan en el mar del Norte y su posterior desarrollo, mar adentro. Las larvas regresan a los estuarios al fin de su desarrollo. Luego de la metamorfosis los juveniles remontan los ríos, por ejemplo el Elba, mientras van creciendo. Caminando por el fondo, recorren distancias de hasta 1000km, y así pueden encontrarse en ríos próximos a Berlín o Praga. Los adultos toleran perfectamente la vida en el agua dulce dado que son osmorreguladores, pero re-

## MAR CHIQUITA Y SUS CANGREJOS

La laguna costera Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, es un ambiente natural único en el país. Es paralela a la costa y desemboca en el mar unos 35km al norte de Mar del Plata. Varios pequeños ríos y canales se alimentan con agua dulce, pero su parte sur está muy influenciada por la acción del mar. Cuando la marea sube, el agua salada penetra en la laguna; cuando la marea baja, sale de ella. La acción de la marea puede ser aumentada o contrarrestada por el viento. Todo ello hace que sus aguas sean dulces, salobres o saladas, y que el cambio de una a otra condición pueda ocurrir en pocas horas.

Mar Chiquita es famosa por su variedad y abundancia de peces y aves. Pero, además, sus fondos fangosos alojan una gran cantidad de cangrejos. Las especies más comunes son *Chasmagnathus granulata*, de cuerpo marrón y grandes pinzas rosadas, que construye cuevas en el barro y entre plantas de la orilla; *Cyrtograpsus angulatus*, de color verde grisáceo, que se pasea por las playas y enfrenta a los curiosos levantando las pinzas, y *Uca uruguayensis*, el pequeño 'cangrejo violinista', cuyos machos tienen una pinza mucho mas grande que la otra, de allí su nombre.

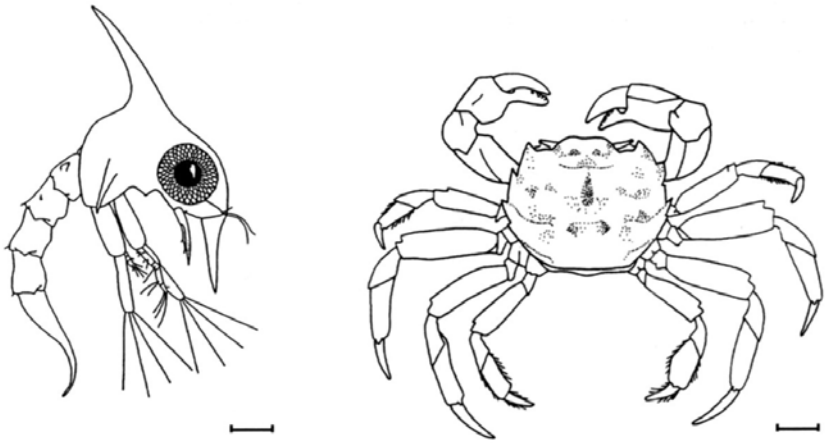


Dos ejemplares del 'cangrejo de Colón' (*Planes marinus*) encontrados cerca de Mar Chiquita. Algunos cangrejos de esta especie muestran una mancha blanca en el dorso, de tamaño y forma variables. El ejemplar de la derecha ha perdido la primera pata de cada lado y la estaba regenerando (se observa un pequeño muñón) en el momento de ser coleccionado. La escala indica 1cm.

## LA COMPLICADA VIDA DE UN CANGREJO

Los ciclos de la vida de los cangrejos marinos (es decir, el conjunto de acontecimientos que tienen lugar entre el nacimiento de una generación y la siguiente) son en general complejos. Entre sus propiedades más relevantes pueden mencionarse las siguientes:

1. Hay cangrejas y cangrejos, y los sexos pueden diferenciarse por su morfología externa. Por ejemplo, el mayor tamaño relativo de las pinzas de los machos.
2. Existe cópula, muchas veces luego de complicados comportamientos, en el cual el macho transfiere a la hembra un 'paquete' de espermatozoides.
3. Los huevos ya fecundados son adheridos a apéndices ubicados en la parte posterior del cuerpo de las hembras. En los cangrejos, esa parte posterior esta plegada centralmente, de modo que en las hembras se forma una 'cámara incubadora' donde los embriones en desarrollo quedan protegidos.
4. Al finalizar el desarrollo embrionario tiene lugar la 'eclosión': de cada huevo se origina una criatura de aspecto y modo de vida bastante diferentes de los de los adultos, se denominan en general 'larvas' y, más específicamente, 'zoeas'. Las larvas son pequeñas y forman parte del plancton.
5. El crecimiento de los cangrejos es discontinuo. Su cuerpo está revestido por una cubierta inextensible, más o menos rígida, llamada *cutícula*. Periódicamente la cutícula se adelgaza, se elimina y se regenera. Cuando está desprovisto de su cubierta, el animal puede crecer, y lo hace de manera súbita. Este proceso se llama *muda*.
6. Las larvas mudan varias veces, crecen y cambian su forma. La última de ellas se llama *megalopa* y tiene un aspecto algo más parecido a un pequeño cangrejo.
7. En cierto momento, una muda es acompañada por un cambio notable en la forma, que se denomina *metamorfosis*. Así parece un cangrejo, similar a los adultos pero mucho más pequeño: un 'juvenil'.
8. Los juveniles comparten, al menos parcialmente, el hábitat de los adultos, es decir, el fango o las rocas del fondo marino. Siguen mudando y creciendo hasta alcanzar la madurez sexual y muchas veces aún después de ella. Los cangrejos de regiones templadas viven de uno a unos pocos años.



Cambios de forma y tamaño de los cangrejos a lo largo de su ciclo de vida. El dibujo de la izquierda ilustra una larva zoea 1 (en vista lateral) de *Cyrtograpsus angulatus*. El de la derecha, un adulto de esa misma especie que vive en Mar Chiquita (en vista dorsal). La barra izquierda indica 0,1mm y la derecha 1cm. Ilustración Laura Spivak

gresan al mar en el siguiente período reproductivo. Allí, luego de dar origen a una nueva generación, mueren.

La tolerancia de las larvas a diferentes salinidades fue estudiada en condiciones controlas en el laboratorio por Klaus Anger, con el fin de relacionarla con los cambios de hábitat que tienen lugar durante la primera fase de la vida del *Eriocheir sinensis*. El estudio fue llevado a cabo en el laboratorio de ecología del *Biologische Anstalt Helgoland*, una de las estaciones de biología marina más antiguas de Europa. Anger demostró que las primeras y las últimas larvas, que se encuentran en aguas estuariales, toleran mejor las salinidades bajas que los estadíos larvales intermedios, que viven solo en el mar. Por otro lado, la metamorfosis puede ocurrir a cualquier salinidad, aunque es óptima en aguas salobres (de salinidad intermedia).

Las marismas costeras de estuarios y algunas del Atlántico sudoccidental, entre Santa Catalina (Brasil) y Río Negro (Argentina), son habitadas por poblaciones muy densas de cangrejos grápsidos. La descripción de los cangrejales del Tuyú que hizo Ricardo Güiraldes es un clásico de la literatura 'cangrejológica' (ver recuadro 'Los cangrejales del Tuyú'). La historia natural de los cangrejos grápsidos tiene algunas características comunes con los del *Eriocheir sinensis*: las larvas se desplazan entre los estuarios y el mar. Los adultos son buenos osmorreguladores, pero no son grandes migradores. En cambio, poseen la capacidad de pasar bastante tiempo fuera del agua.

En Mar Chiquita, por ejemplo, se encuentran juveniles y adultos, incluso hembras con huevos, de *Cyrtograpsus angulatus* y *Chasmagnathus granulata* en agua salobre o casi dulce. Sin embargo, en cientos de muestras de plancton de la laguna analizadas, solo se hallaron ejemplares del



Diferencias de forma entre sexos. La foto muestra un macho y una hembra de *Cyrtograpsus angulatus* de Mar Chiquita en vista ventral. El macho es de mayor tamaño, tiene pinzas relativamente más grandes y un abdomen delgado y de forma aproximadamente triangular. El abdomen de la hembra, en cambio, es ancho, cubre toda la superficie ventral entre las patas y protege las decenas de miles de huevos durante su desarrollo.

primer y el último estadio larval (llamados *zoea 1* y *megalopa*, respectivamente), nunca los intermedios. Esto lleva a pensar que la mayor parte del desarrollo larval ocurre en el mar, aunque todavía no se obtuvieron evidencias directas de su presencia en aguas costeras. Las evidencias indirectas permitieron postular que ambas especies 'exportan' sus larvas hacia el mar, lo cual es común en muchos cangrejos estuariales (ver recuadro 'Cangrejos estrategas'). Un programa de muestreo en distintas condiciones ambientales (día-noche, marea entrando-marea saliendo) permitió comprobar que la eclosión de las zoeas 1 y sus salida de la laguna ocurren sobre todo cuando las mareas más intensas son nocturnas.

Algunos de los viajes de los cangrejos grápsidos deben ser considerados en el tiempo evolutivo. Es decir, sus desplazamientos no ocurren durante alguna etapa del ciclo de vida, sino que tienen lugar en el transcurso de muchas generaciones. Así, algunas especies de grápsidos han logrado alejarse definitivamente del mar en un proceso que duró algunos millones de años. Las especies de la isla de Jamaica (*Armases* y *Sesarma*) ofrecen un panorama completo de los grados crecientes de independencia del mar, y por lo tanto de la conquista del medio terrestre.

Hay, por ejemplo, tres especies del género *Armases* de Jamaica: *Armases miersii*, *Armases ricordi* y *Armases roberti*. La primera vive en charcos transitorios de costas marinas rocosas, cuyas condiciones ambientales son altamente

## LOS CANGREJALES DEL TUYÚ

Se bajó del caballo, a orillas de un cañadón de bordes barrosos y negros, acribillados como a balazos por agujeros de diversos tamaños. De diversos tamaños, también, eran los cangrejos chatos y patones que se paseaban ladeados en una actitud compadrona y cómica. Esperó que, cerca, un bicho de esos saliera de la cueva y, hábilmente, le partió la cáscara con un golpe de cuchillo. Pataleando todavía, lo tiró a unos pasos sobre el barro. Cien corridas de perfil, rápidas como sombras, convergieron a aquel lugar. Se hizo un remolino de redondelitos negruzcos, de pinzas alzadas. Todos, ridículamente, zapateaban un malambo con seis patas, sobre los restos del compañero. ¡Qué restos! Al ratito se fueron separando y ni marca quedaba del sacrificado. En cambio ellos, sobreexcitados por su principio de banquete, se atacaban unos a otros, esquivaban las arremetidas que llegaban de atrás, se erguían frente a frente con las manos en alto y las tenazas bien abiertas. Como nosotros estábamos quietos, podíamos ver algunos de muy cerca. Muchos estaban mutilados de una manera terrible. Les faltaba pedazos en la orilla de la cáscara, una pata... A uno le había crecido una pinza nueva, ridículamente chica en comparación de la vieja. Lo estaba mirando, cuando lo atropelló otro más grande, sano. Este aferró sus dos manos en el lomo del que pretendía defenderse y, usando de ellas como de una tenaza cuando se arranca un clavo, quebró un trozo de la armadura. Después se llevó un pedazo al medio de la panza, donde al parecer tendría la boca. Dije a mi compañero:

—Parecen cristianos por lo muy mucho que se quieren.

—Cristianos —apoyó Patrocinio—, ahá...; aurita va a ver los rezadores.

A unas cuadras más adelante nos detuvimos frente a un inmenso barrial chato.

Así fue. El sol se ponía. De cada cueva salía una de esas repugnantes arañas duras, pero más grandes, más redondas que las del cañadón. El suelo se fue cubriendo de ellas. Y caminaban despacio, sin fijarse unas en otras, dadas vuelta todas hacia la bola de fuego que se iba escondiendo. Y se quedaron inmóviles, con las manitos plegadas sobre el pecho, rojas como si estuvieran teñidas de sangre.

¡Aquello me hacía una profunda impresión! ¿Era cierto que rezaban? ¿Tendrían siempre, como una condena, las manitos ensangrentadas? ¿Qué pedían? Seguramente que algún vacuno o yeguarizo, con jinete, si mal no venía, cayera en aquel barro fofo minado por ellos.

Levanté la vista, y pensé que por leguas y leguas el mundo estaba cubierto por ese bicherío indigno. Y un chucho me castigó el cuerpo.

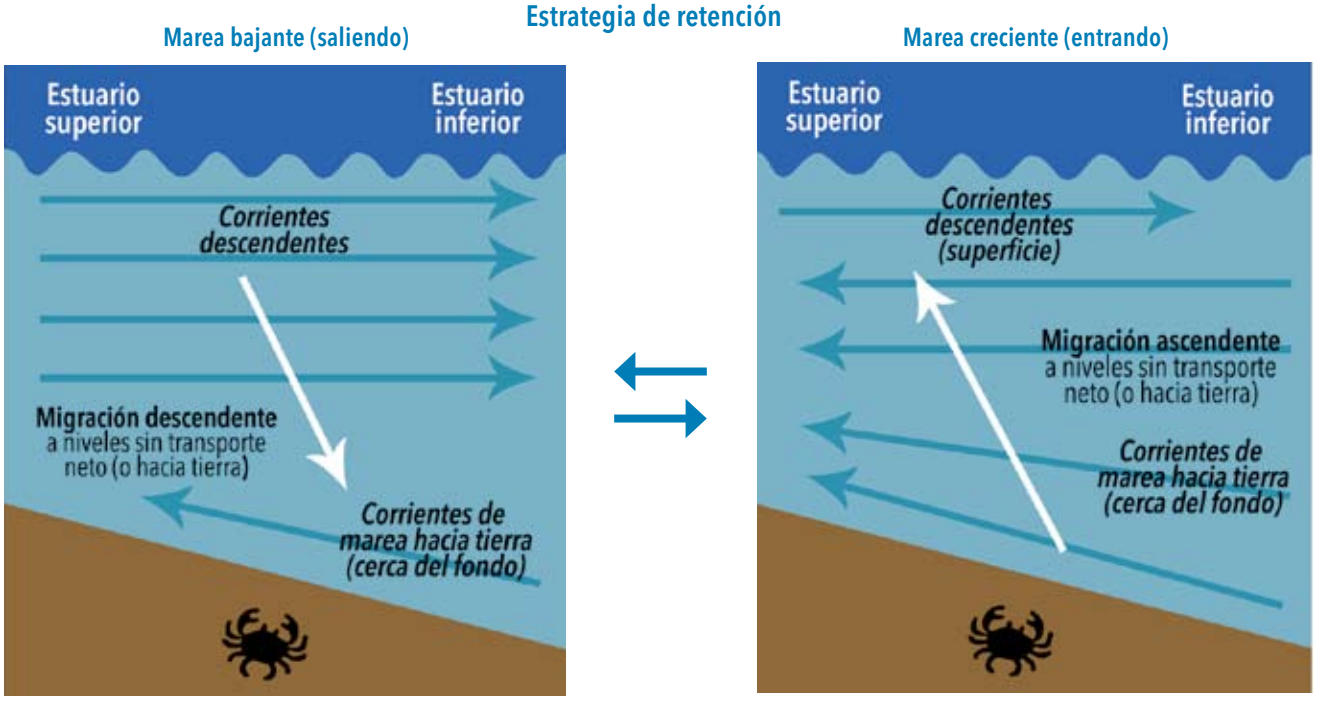
Ricardo Güiraldes, *Don Segundo Sombra*, 1926

## CANGREJOS ESTRATEGAS

Según la Real Academia de la Lengua, estrategia es 'el arte de dirigir las operaciones militares' y, figurativamente, 'el arte de dirigir cualquier asunto'. A pesar de su evidente connotación de 'propósito', muy lejana del pensamiento evolucionista actual, los ecólogos usan comúnmente este término para designar un conjunto de adaptaciones, adquiridas por medio de un proceso evolutivo, que caracterizan, por ejemplo, la reproducción de un organismo.

En los ciclos de la vida complejos de los cangrejos (y otros animales) que habitan estuarios se han descripto dos tipos de estrategias: una de retención y otra de exportación de larvas. Ambas se basan en un único fenómeno: el agua de mar, más pesada, penetra al estuario por el fondo; el agua dulce de los ríos, más liviana, sale por la superficie.




Estrategias ecológicas en los cangrejos estuariales. El esquema superior muestra la 'estrategia de exportación', tal como se observa en Mar Chiquita; el inferior, la 'estrategia de retención'. Ilustraciones Klaus Anger

En el primer caso (retención) las larvas permanecen en el estuario y evitan, activamente, descendiendo o ascendiendo en la columna de agua, ser transportadas al medio marino. Estas larvas viven en un medio nutritivamente rico pero deben presentar mecanismos que aumentan su tolerancia a salinidades bajas o variables y que permitan eludir a los abundantes depredadores (por ejemplo, un gran tamaño corporal, la presencia de espinas o comportamientos de evasión). En las estrategias de exportación, las larvas salen del estuario después de la eclosión, que debe estar sincronizada con la hora de la bajamar, colocándose en la parte superior de la columna de agua. Si bien no enfrentan el estrés osmótico ni el apetito voraz de los peces e invertebrados estuariales, estas larvas deben disponer de mecanismos que les permitan regresar al estuario luego de su desarrollo, ya que las corrientes marinas pueden alejarlas. Solo aquellas que son capaces de aprovechar las corrientes superficiales, debidas al viento que sopla del mar hacia la tierra, encuentran el camino de regreso al terruño.



Un aspecto del paisaje de Mar Chiquita. La foto muestra un arroyo de mareas, en el cual penetra el agua de la laguna. En primer plano, la cueva de un *Chasmagnathus granulata*; más atrás, asoman del agua los 'bochones' o arrecifes formados por un gusano poliqueto. En los bochones se encuentran cientos de minúsculos *Cyrtograpsus angulatus* que ya finalizaron su vida en el mar como larvas. Por último, en la orilla izquierda se ve la vegetación de *Spartina densiflora*, una planta típica de las zonas estuariales.



El cangrejo del fango, *Chasmagnathus granulata*, forma los grandes cangrejales del Tuyú que describe Güiraldes. En la foto, un macho de Mar Chiquita visto de frente. A pesar del aspecto feroz que le dan las grandes quelas, que usa en la defensa y el cortejo, esta especie es predominantemente vegetariana.

variables (lluvia en primavera, desecación en verano). En esos charcos se desarrollan las larvas, que curiosamente adquieren muy temprano la capacidad osmorregulatoria. Las segunda vive alejada hasta 200m de la costa del mar, pero las hembras con huevos deben bajar a la playa, donde eclosionan las larvas. La tercera habita en las orillas de ríos alejados hasta 10km tierra adentro. Las larvas nacen en esos ríos, descienden hacia el mar, y solo allí tiene lugar su desarrollo. Ninguna de las tres especies ha logrado la independencia total del mar; siempre transcurre allí al menos una parte de su ciclo de vida.

En cambio, el género *Sesarma*, también en Jamaica, incluye especies marinas y aun otras cuya vida transcurre por completo en las selvas montañosas, en ambientes muy alejados del mar: las larvas de *Sesarma jarvisi* se desarrollan en agua dulce recolectada en el interior de conchas de caracoles (son los cangrejos los que colocan los caracoles 'boca arriba' de modo que se llenen de agua de lluvia) mientras que las larvas de la especie afín *Sesarma depressus* viven en el agua de lluvia que llena las axilas de las bromeliáceas, plantas comunes en las selvas

## CANGREJOS Y CANGREJÓLOGOS

Los cangrejos estuariales del Atlántico Sudoccidental son objeto de investigación por varios grupos de investigación de universidades de la región. La ecología y fisiología del *Chasmagnathus granulata* son permanentemente estudiadas: el papel de esta especie en el funcionamiento de los cangrejales en las universidades de Mar del Plata y Buenos Aires; la capacidad de osmorregulación y respiración áreas en la universidades de RÍo Grande del Sur (Brasil) y Buenos Aires. Esta especie también es usada como un modelo experimental en fisiología del comportamiento por el grupo de Héctor Maldonado (UBA). Como muestra de la actividad científica que se desarrolla alrededor de estos animales, baste señalar que se han realizado cuatro reuniones de especialistas, que se denominan 'taller sobre cangrejos y cangrejales': Buenos Aires (1988 y 1999), Mar del Plata (1994), Rio Grande, Brasil (1996).

tropicales. La mamá cangrejo, en ese caso, mantiene la calidad del agua por medio de comportamientos asombrosamente complejos: remueve el detrito, recircula el agua para oxigenarla y coloca en ella conchas de caracoles como fuente de calcio y regulador del pH.

Christoph Schubart, Rudolph Diesel y S Blair Hedges demostraron recientemente, con técnicas moleculares (estudiando las secuencias de ADN y ARN ribosomal), que las nueve especies de cangrejos terrestres *Sesarma* de Jamaica se originaron hace unos cuatro millones de años a partir de un único antecesor común marino, por medio de un proceso de radiación adaptativa. Es decir, un proceso de diversificación en varios nichos ecológicos que involucra a especies derivadas de una misma forma. Un hecho sorprendente es que el tiempo transcurrido es bastante corto en términos evolutivos.

Las grandes migraciones relacionadas con la reproducción no son exclusivas de los cangrejos grápsidos. Quizá la más conocida (estudiada, relatada, fotografiada y filmada) es la que ocurre todos los años en la isla Christmas, en el océano Índico. Rojos como papás Noel (como corresponde a su hábitat), los *Gecarcoidea natalis* (familia *Gecarcinidae*) bajan de los bosques hacia el mar tiñendo todo el idílico paisaje isleño, ocupando las carreteras e interrumpiendo crónicamente los juegos de golf de los felices habitantes (humanos) del lugar. Una vez en la costa, las hembras liberan las larvas que se desarrollaron en el mar.

En un paisaje menos espectacular, y con menos colorido, los cangrejos grápsidos de las costas templadas de Sudamérica fueron y son el objeto de curiosidad de turistas y de inspiración de literatos. El estudio de su historia natural, comportamiento, ecología y fisiología, solo parcialmente conocidos, es un desafío permanente para los biólogos, tanto en el campo como en el laboratorio (ver recuadro 'Cangrejos y cangrejólogos'). CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**ANGER K**, 1991, 'Effects of temperature and salinity on the larval development of the Chinese mitten crab *Eriocher sinensis* (Decapoda: Grapsidea)', *Marine Ecology Progress Series*, 72: 103-110.

–, 1995, 'The conquest of freshwater and land by marine crabs: adaptations in life-history patterns and larval bioenergetics', *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 193: 119-145.

**ANGER K**, **SPIVAK E**, **BAS C**, **ISMAEL D** & **LUPPI T**, 1994, 'Hatching rhythms and dispersion of decapod crustacean larvae in a brackish coastal lagoon in Argentina', *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 48: 445-466.

–, 1994, 'Distribution and habitat preferences of two grapsid crabs in Mar Chiquita Lagoon (Buenos Aires Province, Argentina)', *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 48: 59-78.

**BURGGREN WW** & **MCMAHON BR** (eds.), 1988, *Biology of Land Crabs*, Cambridge University Press.

**COLÓN C**, 1982, *Textos y documentos completos*, Prólogo y notas de Consuelo Varela, Alianza, Madrid.

**GÜIRALDES R**, 1979, *Don Segundo Sombra*, Prólogo de JJ Güiraldes, Espasa Calpe, Madrid.

**SCHUBART CD, DIESEL R** & **BLAIR HEDGES S**, 1998, 'Rapid evolution to terrestrial life in Jamaican crabs', *Nature*, 393: 363-365.

**SPIVAK E** & **BAS C**. 1999, 'First finding of the pelagic crab *Planes marinus* (Decapoda: Grapsidea) in the Southwestern Atlantic', *Journal of Crustacean Biology*, 19 (1).



Foto Héctor Elías Monsalve

Ciencia Hoy volumen 17 número 99 junio-julio 2007

**Gustavo A Lovrich**
Investigador del Conicet en el Centro Austral de Investigaciones Científicas, Ushuaia

**Javier Calcagno**
Investigador del Conicet en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

**Sven Thatje**
National Oceanographic Centre, Universidad de Southampton

**Klaus Anger**
Biologische Anstalt Helgoland-AWI

# Las centollas colonizan la Antártida

Los crustáceos como los langostinos, camarones y centollas constituyen delicadezas culinarias a las que acceden pocos y selectos comensales. Las centollas son un plato típico para los viajeros que llegan al fin del mundo, a Ushuaia, porque justamente Tierra del Fuego es el lugar de Sudamérica con mayor abundancia de estos crustáceos, y donde se ha desarrollado una pesquería durante las últimas cuatro décadas (figura 1, recuadro 'Crustáceos, decápodos y –además– cangrejos'). Hasta hace pocos años era universalmente aceptada la ausencia de cangrejos en la Antártida, pero hallazgos recientes de centollas en aguas cercanas a la península antártica nos desafían a explicar su existencia como el único cangrejo en los mares más fríos del planeta.

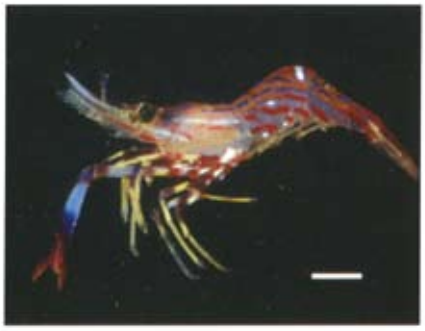
## Los decápodos del océano Austral en un contexto evolutivo

La Antártida se mantiene hoy en un aislamiento prácticamente infranqueable, rodeada por mares fríos y profundos. Pero este no ha sido siempre el caso, y si pudiéramos retroceder lo suficiente en el tiempo –unos 200 millones de años (Ma)–, veríamos que los continentes del hemisferio sur se hallaban más próximos entre sí, formando un supercontinente llamado Gondwana, con un clima más templado que el actual (ver recuadro 'Marco geológico y climático'). La fauna marina antártica y subantártica tienen un origen común –denominada en algunos casos gondwánico– y algunos grupos animales

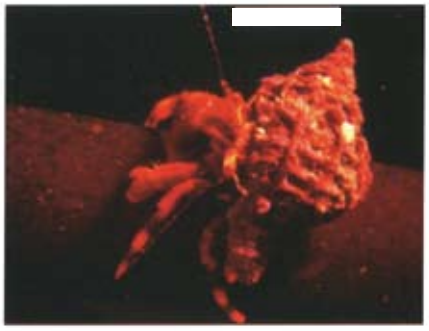
### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Es conocido que en la Antártida no viven cangrejos. En los últimos años, se han hallado 'falsos cangrejos' o centollas, lo que podría estar anunciando una futura conquista de la Antártida por estos crustáceos.

Los crustáceos son invertebrados que básicamente tienen el cuerpo cubierto por un exoesqueleto duro constituido por una proteína –la quitina– y carbonato de calcio, patas articuladas, dos pares de antenas y que respiran por medio de branquias. Entre los crustáceos, el grupo de los decápodos se caracteriza por tener cinco pares de patas caminadoras, de los cuales el primero está modificado en forma de pinzas. Los decápodos a su vez se dividen en varios grupos, con tres 'formatos' básicos: camarones, langostas y cangrejos. El grupo que integra a las centollas se denomina 'anomuros' e incluye formas como las langostillas (de agua dulce y salada), los cangrejos ermitaños y 'falsos' cangrejos como las mismas centollas. En el grupo de los cangrejos braquiuros o cangrejos verdaderos, el último par de patas está desarrollado normalmente o adaptado para funciones tales como la natación. En los cangrejos anomuros, el último par de patas –a veces el penúltimo también– está reducido y generalmente debajo del caparazón. A las centollas también suele denominárselas 'cangrejos litódidos', por pertenecer a la familia *Lithodidae* y diferenciarlas del conjunto de los cangrejos 'verdaderos' (técnicamente, infraorden *Brachyura*).



Camarón *Campylonotus vagans*



Cangrejo ermitaño. Foto H Monsalve



Langostilla *Munida gregaria*. Foto F Tapella



Cangrejo araña *Eurypodius latreillei*

**Figura I.** Ejemplos de crustáceos decápodos típicamente subantárticos. Las barras blancas representan una escala de 1cm. Fotos M. Rautschert, salvo cuando se indica otro autor.

pueden ser hallados en el registro fósil hasta el Mesozoico (250 Ma) o Paleozoico (540 Ma). Los cambios climáticos drásticos, por ejemplo las glaciaciones, provocaron –particularmente en la plataforma continental y en partes someras sobre el talud continental de la Antártida– la extinción de algunos grupos y crearon nuevos ambientes colonizables por otros animales.

Los crustáceos decápodos representan uno de los misterios sin resolver de la investigación de la biodiversidad marina antártica. En las aguas subantárticas viven unas 120 especies de camarones y cangrejos, una diversidad relativamente alta comparada con la fauna antártica, constituida por solamente 5 especies de camarones que habitan la plataforma continental del mar de Weddell (figura 2). Durante el Cretácico tardío-Cenozoico temprano (aproximadamente 70 Ma), la provincia paleobiogeográfica Austral (un área marina con fauna similar que abarcaba lo que hoy es Australia, Nueva Zelanda, sur de Sudamérica, la India oriental y las diferentes placas tectónicas que hoy constituyen la Antártida) tenía un clima templado, favorable para el desarrollo de los decápodos, tal como se evidencia en el registro fósil. El enfriamiento de la Antártida –que tuvo lugar entre 30 y 15 Ma (ver recuadro 'Marco geológico y climático')– como consecuencia de la deriva continental y procesos oceanográficos asociados, hasta hoy parece ser la causa más importante de la extinción de los cangrejos y de la drástica disminución en la diversidad de los decápodos.

En los crustáceos, la tolerancia al frío requiere, en primer lugar, un ajuste de la capacidad funcional de los mecanismos de provisión de oxígeno como ventilación y circulación (ver recuadro 'Límites a la adaptación al frío'). En los cangrejos 'verdaderos' (o braquiuros, ver ejemplo en el recuadro 'Crustáceos, decápodos y –además– cangrejos'), este ajuste estaría impedido por la incapacidad de mantener bajas concentraciones del ión magnesio –$Mg^{2+}$– en el líquido sanguíneo (la hemolinfa) con una concentración menor a la del agua de mar. Una concentración de $Mg^{2+}$ en la hemolinfa igual a la del agua de mar combinada con baja temperatura produce un efecto anestésico en aquellos animales que no pueden osmorregularlo, es decir, que no logran controlar la concentración de un ión por la entrada o salida de agua a través de una membrana permeable. Un movimiento imprescindible que permite a los decápodos sobrevivir es el que realizan apéndices especiales de las piezas bucales (los escafognatitos) que provocan la circulación de agua a través de las cámaras branquiales, y posibilitan la ventilación y el intercambio de gases entre el agua y la hemolinfa. Otro proceso que también demanda energía aeróbica (es la energía que se obtiene a través de una serie de reacciones químicas donde in-

terviene el oxígeno, denominado ciclo de Krebs, que es común a todos los organismos vivos) es el cuidado de la masa de huevos, que implica movimientos por contracción muscular del abdomen de la hembra (figura 3). Esta actividad asegura la provisión de oxígeno a los embriones durante su desarrollo. En consecuencia, los cangrejos braquiuros tienen una limitación fisiológica que afecta a todos los movimientos corporales donde exista demanda de energía aeróbica. De esta manera, aquellos que estén sometidos a bajas temperaturas serán menos competitivos comparados con otros crustáceos que puedan mantener baja la concentración de $Mg^{2+}$ en la hemolinfa, como sucede en los camarones, isópodos y anfípodos (figura 4).

Durante el Cretácico (hace aproximadamente 100 Ma), al momento de la diversificación de los cangrejos braquiuros, el planeta Tierra era más templado que ahora, la temperatura global del agua de mar estaba por sobre los 0°C, con un mínimo cercano al 0°C en los polos (actualmente el agua marina polar puede alcanzar -1,8°C, que es el punto de congelación de una solución de agua y sal con la concentración marina de unos 35 gramos de sal por litro). Algunos organismos con ciertos caracteres pueden ser más aptos para poblar y/o sobrevivir en un ambiente particular; es decir, tienen ventajas evolutivas, o al contrario poseen características que los ponen en desventaja para explotar los recursos. El ambiente cretácico templado no fue restrictivo –por ejemplo, con bajas temperaturas– y permitió que sobrevivan especies incapaces de osmorregular la concentración $Mg^{2+}$ en la hemolinfa, y esta falta de osmorregulación se mantuvo desde entonces en todos los cangrejos anomuros y braquiuros.

Las centollas no son capaces de regular la concentración de $Mg^{2+}$, y en la actualidad su diversidad es más alta en las zonas subpolares (de ambos hemisferios) con aguas templado-frías. Este grupo representa probablemente una de las familias menos antiguas entre los decápodos. Existe un solo registro fósil de un cangrejo litódido, que es del Mioceno medio (15 Ma). Es entonces poco probable que estuvieran presentes en la Antártida al momento de la extinción masiva de la fauna marina templada, que incluía a los crustáceos decápodos. Los litódidos evolucionaron hace unos 15-23 Ma cuando el clima mundial estaba en pleno enfriamiento (ver recuadro 'Marco geológico y climático'), evidenciado por la aparición de los casquetes polares.

La extinción de los crustáceos decápodos en la Antártida está relacionada tanto con el descenso de la temperatura del agua de mar como con los efectos provocados por los eventos de glaciación de la plataforma continental. Estos factores probablemente hayan afectado a los cangrejos braquiuros con distribución limitada, por ejemplo, los que habitaban solamente aguas de poca profundidad. Aquellas especies con amplia distribución en profundidad, como los camarones, pudieron haber 'escapado' al avance del hielo y refugiado en aguas más profundas del talud y las cuencas oceánicas, donde la glaciación no llegó. La historia se completa si se piensa que, desde allí y una vez retirado el hielo de la plataforma continental, estos grupos fueron capaces de recolonizarla.

El momento geológico exacto de la extinción de los decápodos en la Antártida está todavía en discusión. El registro fósil refleja una comunidad de decápodos bien establecida hasta hace 15 Ma, pero no indica durante

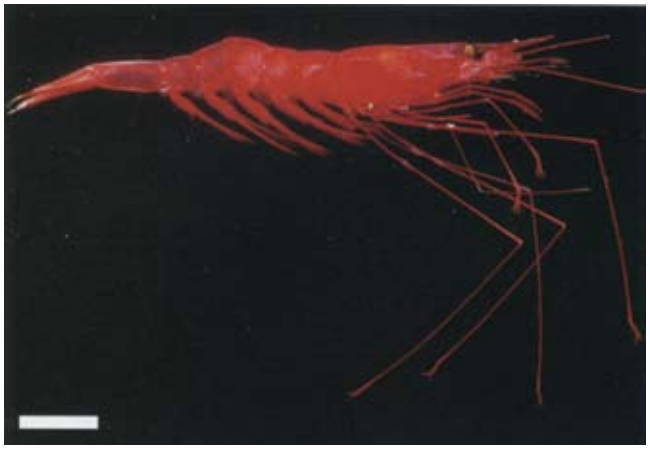


**Figura 1.** En aguas del canal Beagle, un buzo con una centolla *Lithodes santolla* en su mano derecha y con un centollón *Paralomis granulosa* en la izquierda. A pesar de su nombre común, el centollón es siempre más pequeño que la centolla, y llegan a pesar en promedio 500 y 1500g respectivamente. A la izquierda foto arriba, centolla *Lithodes santolla*; foto abajo, centollón *Paralomis granulosa*. Las barras blancas representan una escala de 1cm. Fotos Héctor Elías Monsalve

cuánto tiempo se extendió. Además, este registro está restringido a los hallazgos en la isla Seymour (Marambio), y no sabemos prácticamente nada sobre el registro paleontológico antártico del mar profundo. La relativa escasez de registro fósil más reciente indica que al menos algunas especies pueden haber sobrevivido refugiadas en el talud continental antártico, que podría haber permanecido libre de hielo durante el máximo glacial, o tenían una distribución en profundidad más amplia y sobrevivieron debido a sus adaptaciones al frío. La extinción completa fue ciertamente gradual y todavía no están acabadamente comprendidos los procesos ecológicos involucrados, tales como la competencia con otros crustáceos (por ejemplo, con las especies de isópodos y anfípodos que también incuban los huevos) que prosperaron como consecuencia de la extinción de los decápodos (potencialmente sus depredadores). El hallazgo de estrellas de mar (asteroideas y ofiuroideas) fósiles, perfectamente preservadas sin daños o brazos en regeneración, sugiere que ya en el Eoceno escaseaban o faltaban depredadores con capacidad de hacer presión y romper a su presa, como hacen los cangrejos con sus pinzas.

A partir de 1995, se han localizado poblaciones de cangrejos litódidos en aguas profundas fuera de la plataforma continental antártica, en el mar de Bellingshausen, con temperaturas superiores a 1°C (figura 5). Estos hallazgos reabrieron el debate sobre el 'retorno' de los cangrejos –en este caso, los litódidos– a las aguas antárticas. Para que las centollas sobrevivan en la Antártida son necesarias adaptaciones particulares, especialmente durante la etapa larval, que les permiten subsistir en los ambientes polares fríos con limitada disponibilidad alimentaria de origen planctónico. En estos ambientes, la producción primaria es marcadamente estacional, y se manifiesta solo durante parte de la primavera y/o el verano, cuando la luz puede penetrar en la columna de agua, ser captada por las algas y permitir el proceso de fotosíntesis. Las larvas de litódidos son capaces de sobrevivir al frío, desde 1°C hasta 15°C. Sin embargo, presentan límites de tipo fisiológico –como la falta de regulación del ión $Mg^{2+}$ en la hemolinfa– que les impiden sobrevivir en aguas por debajo de 0°C y que explicarían su ausencia en la alta Antártida, por ejemplo el mar de Weddell.

**Figura 2.** Un camarón antártico, *Nematocarcinus lanceopes*.



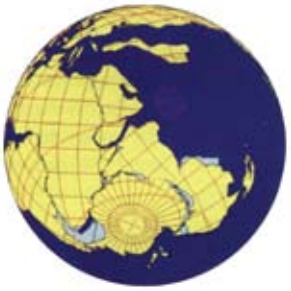
## Adaptación al frío o extinción

La información disponible acerca de la biología de estadios tempranos de las centollas antárticas es nula, principalmente por razones logísticas. Los cangrejos litódidos de las altas latitudes del hemisferio sur deben de

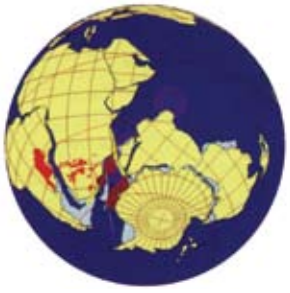


**Figura 3.** Hembra ovígera de centollón *Paralomis granulosa*. Se separa el abdomen para dejar a la vista el espacio entre este y la parte ventral del cefalotórax que define la cámara incubatriz. En la foto de la derecha se muestran los huevos que están adheridos a extremidades especialmente adaptadas para llevarlos (visibles en la foto de la izquierda).

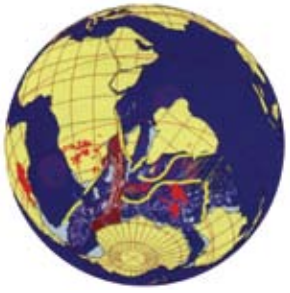
## MARCO GEOLÓGICO Y CLIMÁTICO



Mientras el resto del planeta era cálido, la Antártida tenía un clima templado. Hace unos 200 millones de años (Ma) –durante el Jurásico temprano (208-178 Ma)–, la masa terrestre que conocemos hoy como Antártida formaba parte de un supercontinente, que en 1885 fue llamado Gondwana por el geólogo Eduard Suess.



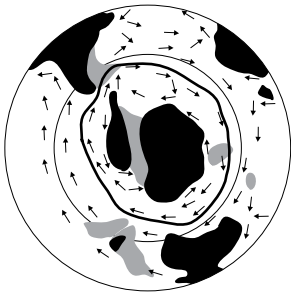
Debido al movimiento de las placas continentales, entre el Jurásico tardío (157 Ma) y el Cretácico temprano (130 Ma) comenzó a formarse el océano Atlántico por el desplazamiento de Sudamérica y África hacia el oeste y Antártida, Mozambique, India y Australia hacia el este.



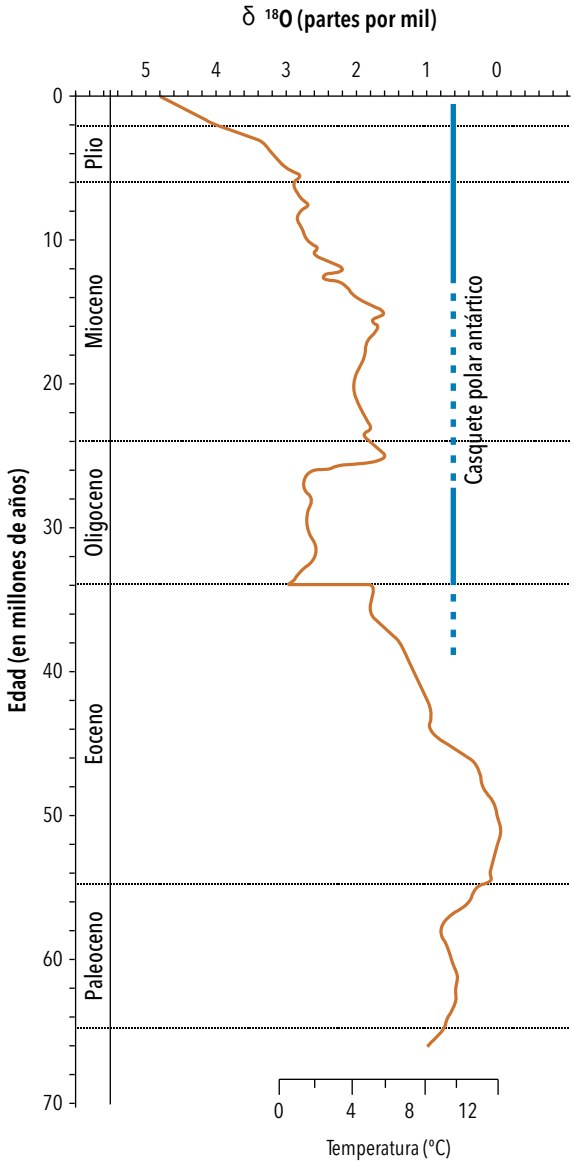
La separación entre la Antártida y Australia probablemente haya comenzado hace 125 Ma, con la formación de un pasaje de aguas poco profundas entre ambos continentes. Hacia el final del período Cretácico (75-65 Ma) el continente Antártico estaba todavía ligado, aunque mínimamente, a Sudamérica y Australia.



Esta conexión estaba dada por una plataforma continental de relativamente poca profundidad, formando pasajes marinos entre los continentes australes y la Antártida (áreas sombreadas). La apertura de dos pasajes oceánicos profundos, el pasaje de Drake y al sur de Australia, ha sido clave para propiciar el aislamiento de la Antártida. El pasaje de Drake comenzó a abrirse en el límite entre el Eoceno-Oligoceno (36 Ma) y permitió el pasaje de masas de agua superficiales e intermedias. Las flechas de la figura señalan la circulación de las corrientes y la línea gruesa en los océanos Atlántico e Índico, una fuerte corriente del oeste.



Más tarde, en el Mioceno medio (15Ma), las masas de agua profundas también comenzaron a fluir alrededor de la Antártida, formando la 'proto' Corriente Circumpolar Antártica. El establecimiento de esta corriente ayudó al enfriamiento y aislamiento que hoy conocemos. Coincidentemente con el inicio de la apertura del pasaje de Drake (hace unos 35 Ma) la temperatura del agua de mar –a nivel global–, tanto en superficie como en profundidad, disminuyó al menos 4°C en el corto lapso geológico de unos 75.000 a 100.000 años.




El descenso abrupto de la temperatura global junto a la formación de una fuerte corriente marina del oeste que finalmente se estableció alrededor de la Antártida promovieron eventos de enfriamiento de gran magnitud en la Antártida: el descenso de la temperatura del agua de mar y la rápida expansión de los casquetes polares antárticos.

Este proceso de enfriamiento global que finalizó en el Mioceno medio-tardío (10-15 Ma) es el que originó el océano Austral y su actual fauna marina asociada.

El gráfico muestra la variación de isótopos del oxígeno ($O^{18}$ y $O^{16}$) en foraminiferos fósiles, que a su vez fue calibrado con la temperatura global del agua de mar (escala inferior). En azul se señala la formación de hielo antártico tanto efímero (línea punteada) como permanente (línea continua). Redibujado de Zachos y col. (2001).

haberse adaptado fisiológicamente y reproductivamente a las bajas temperaturas. En las centollas del extremo austral de América estas adaptaciones consisten en disminuir la actividad aeróbica –que podría traducirse como una disminución de la actividad general del animal, o movimiento–, tanto en larvas como en adultos. Por ejemplo, los períodos de nacimiento de larvas de alrededor de dos meses evitan el consumo de oxígeno debido al movimiento del abdomen por parte de la madre al momento de la eclosión de los huevos y el nacimiento de las larvas. Las larvas (figura 6) nacen con una cantidad importante de reservas energéticas –vitelo– que les permite no ingerir alimento (por ejemplo fito y/o zooplancton). La no dependencia del plancton como alimento permite a las larvas superar el potencial desfase entre el momento de la eclosión y la disponibilidad de alimento en el medio. O sea que las reservas energéticas propias son suficientes para que las larvas puedan sobrevivir.

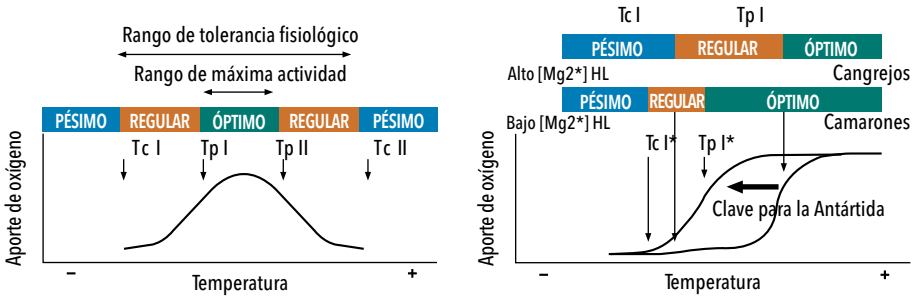
Por otra parte, la independencia de alimento externo impone restricciones a la extensión del desarrollo larval, que en las centollas del hemisferio sur es abreviado. Salvo excepciones, los cangrejos braquiuros en otras partes del mundo generalmente presentan seis o más estadios larvales diferentes, y otras especies de centollas que se alimentan de plancton presentan cinco estadios. En contraposición, en las centollas del hemisferio sur se observan solo tres o cuatro estadios larvales, reduciéndose así la energía requerida para el pasaje de un estadio al

## LÍMITES A LA ADAPTACIÓN AL FRÍO

En los animales marinos cuya temperatura corporal debe ser ajustada a la temperatura del agua en que viven, los procesos y los límites a la tolerancia térmica están ligados con el ajuste de su capacidad aeróbica desde el nivel celular al individuo como un todo. Esta capacidad aeróbica está indicada por el descenso de los niveles de oxígeno en los fluidos corporales y/o la progresiva limitación en la capacidad de los mecanismos circulatorio y ventilatorio. A altas temperaturas, una demanda excesiva de oxígeno causa su insuficiencia en los fluidos corporales, mientras que a temperaturas más bajas la capacidad aeróbica de las mitocondrias (las organelas dentro de las células responsables de la obtención de la energía a partir del metabolismo de hidratos de carbono) puede ser limitante para la ventilación y circulación. Un mayor enfriamiento o calentamiento más allá de estos límites conllevan a temperaturas críticas (Tc, ver figura) donde la capacidad aeróbica desaparece y ocurre una transición del metabolismo mitocondrial al modo anaeróbico (obtención de energía sin la participación del oxígeno), que resulta en una deficiencia de energía a nivel celular. A nivel individual, la entrega de oxígeno se establece al nivel tal que satisfaga la demanda máxima de oxígeno entre las temperaturas mínima y máxima promedio. A nivel celular, una posible adaptación al cambio de temperaturas puede ser el ajuste de la densidad de mitocondrias y de sus propiedades funcionales. Hacia temperaturas más extremas, la supervivencia pasiva es mantenida por el metabolismo anaeróbico o la protección de las funciones moleculares por proteínas que reaccionan al calor/frío (*heat shock proteins*) y defensas antioxidantes. Por tanto, la protección primaria a los excesos/defectos de temperatura está dada al nivel de organización individual por los sistemas de provisión de oxígeno que se ponen en funcionamiento antes de que los sistemas a nivel celular (a nivel de la membrana) sean afectados.

En el caso de los crustáceos decápodos braquiuros y anomuros (cangrejos verdaderos, centollas, bogavantes, cangrejos ermitaños) el alto nivel del ión magnesio $Mg^{2+}$ en los fluidos corporales limita la capacidad de ajuste mitocondrial para tolerar el frío y sobreponerse a la falta de oxígeno. Como el $Mg^{2+}$ en combinación con temperaturas frías (por debajo de 0 °C) actúa como antagonista del calcio en la placa neuromotriz (la conexión entre las terminaciones nerviosas y los músculos), ejerce un efecto anestésico restringiendo las capacidades ventilatorias y circulatorias. De esta manera el $Mg^{2+}$ limita la capacidad aeróbica y exacerba la limitación de oxígeno en condiciones polares. Solo la reducción activa de las concentraciones de $Mg^{2+}$ en la hemolinfa puede permitir a otros crustáceos –como anfípodos, isópodos y camarones– ocupar los nichos de las áreas polares que en otros océanos están dominados por cangrejos (anomuros y braquiuros).

### MODELO CONCEPTUAL DE LA TOLERANCIA TÉRMICA EN INVERTEBRADOS




En el panel superior, el centro de la campana, entre las temperaturas 'Tp' indica el rango de actividad óptima. Los efectos limitantes de la temperatura se dan más allá de las 'Tp' resultando en la reducción de la capacidad aeróbica y del aporte de oxígeno. Entre las temperaturas 'Tp' y la 'Tc', existe una transición al metabolismo anaeróbico y un incremento del estrés oxidativo durante la hipoxia (baja concentración o reducción de oxígeno) progresiva.
En el panel inferior se muestra solo la parte izquierda de la campana, es decir, las temperaturas más bajas. Aquellos crustáceos decápodos que pueden regular la concentración del ión $Mg^{2+}$ (por ejemplo, los camarones) extienden su rango de actividad óptima, ganando capacidad aeróbica hacia temperaturas más bajas, permitiendo su tolerancia al frío y supervivencia.

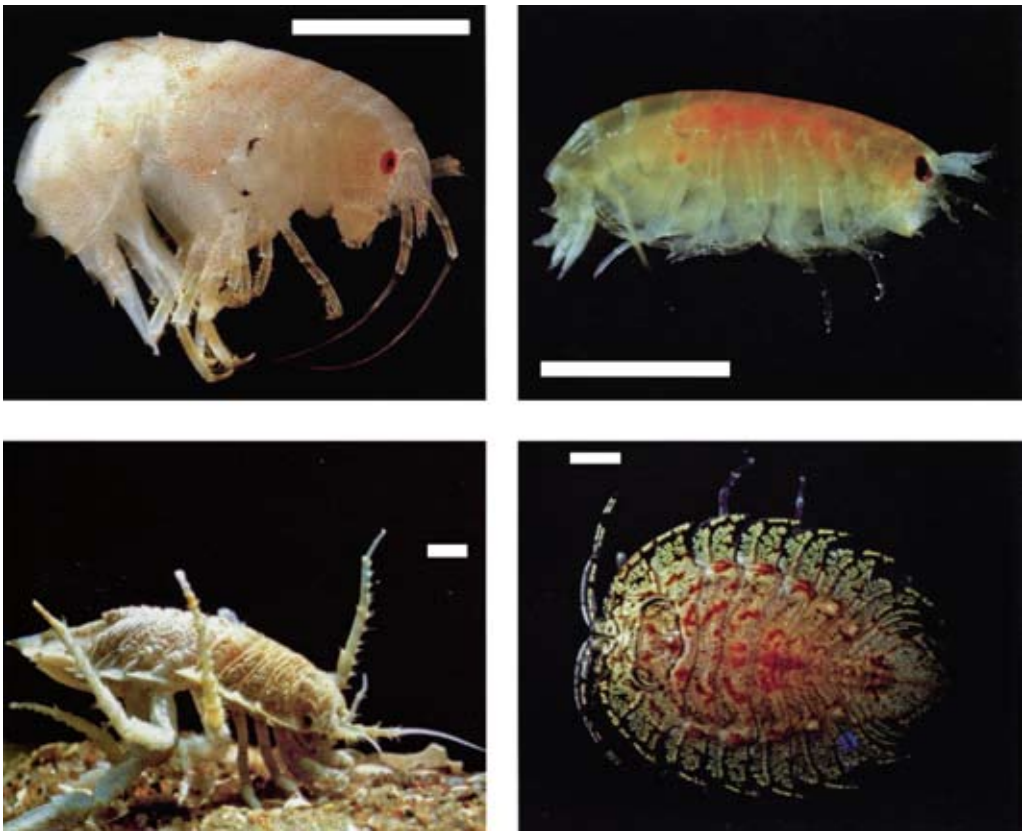


**Figura 4.** Anfípodos (fotos Ekkehard Vareschi) e isópodos antárticos (fotos Martin Rauschert).
Las barras blancas representan una escala de 1cm.

**Arriba, izquierda.** Anfípodo antártico *Iphimidiella rigida*.
**Arriba, derecha.** Anfípodo antártico *Orchomenopsis acantura*.
**Abajo, izquierda.** Isópodo 'gigante' antártico *Glyptonotus antarcticus* alcanza un largo total de 12cm.
**Abajo, derecha.** Isópodo antártico *Serolis sp.*

otro y también la mortandad asociada. En los cangrejos braquiuros son excepcionales los casos de especies con desarrollo larval independiente de la disponibilidad de alimento externo y desarrollo abreviado, por ejemplo, los cangrejos terrestres que viven en ambientes aislados como en el agua de lluvia acumulada por algunas plantas (bromeliáceas) en el trópico. Esto es una adaptación a la falta de producción primaria en los reservorios de agua transitorios en las axilas de las hojas. Entre las especies de litódidos, el centollón *Paralomis granulosa* completa su desarrollo larval (de tres estadios) a 1°C, hecho que sugiere una mejor tolerancia al frío que la centolla *Lithodes santolla*. En experimentos donde mantuvimos larvas a diferentes temperaturas (1, 3, 6, 9, 12 y 15°C), las de centolla no alcanzaron a terminar su desarrollo larval a 1°C.

Esta particular capacidad de los cangrejos litódidos –con sus larvas independientes del alimento externo y su capacidad de soportar temperaturas equivalentes al mar profundo o de altas latitudes– resulta más notable cuando se las compara con los cangrejos ermitaños, filogenéticamente emparentados, especialmente abundantes y con alta diversidad de especies en latitudes tropicales. Mientras el umbral inferior de tolerancia a la temperatura de las larvas de las centollas es aproximadamente 1°C, en los ermitaños –ausentes de ambientes polares– el límite térmico se encuentra a temperaturas más altas. Al extrapolar la duración del primer estadio larval de los ermitaños a temperaturas equivalentes a las de altas latitudes, teóricamente su extensión excedería varios años (figura 7). Los litódidos del mar de Bellinghausen probablemente no muestren una mejor adaptación térmica que sus parientes subantárticos, por ejemplo un umbral mínimo de 1°C, y ello explicaría la ausencia de los litódidos del mar de Weddell, donde la temperatura del agua de mar se halla permanentemente por debajo de los 0°C. De hecho, el rendimiento fisiológico de los cangrejos litódidos en el frío es buena, pero no pueden superar la barrera fisiológica impuesta por su incapacidad de regular el $Mg^{2+}$ a temperaturas por debajo de cero. El bajo metabolismo y la optimización de los diferentes estadios en su ciclo de vida a las bajas temperaturas es la clave fisiológica del éxito de este grupo en los mares polares.

## La conexión con el mar profundo

El mar profundo es un ambiente constante y predecible. Las capas más profundas de los océanos –entre los 2000 y 5000m de profundidad– son ambientes muy estables, con temperaturas del agua que se mantienen a aproximadamente 2°C y adonde nunca llega la luz solar. Aparte de algunas bacterias quimiosintetizadoras, el único alimento que los animales que allí habitan pueden consumir es el originado en las capas superiores del océano, como la materia orgánica proveniente de restos de exoesqueletos de crustáceos, de la muerte y/o los defecciones de los organismos planctónicos y nectónicos.

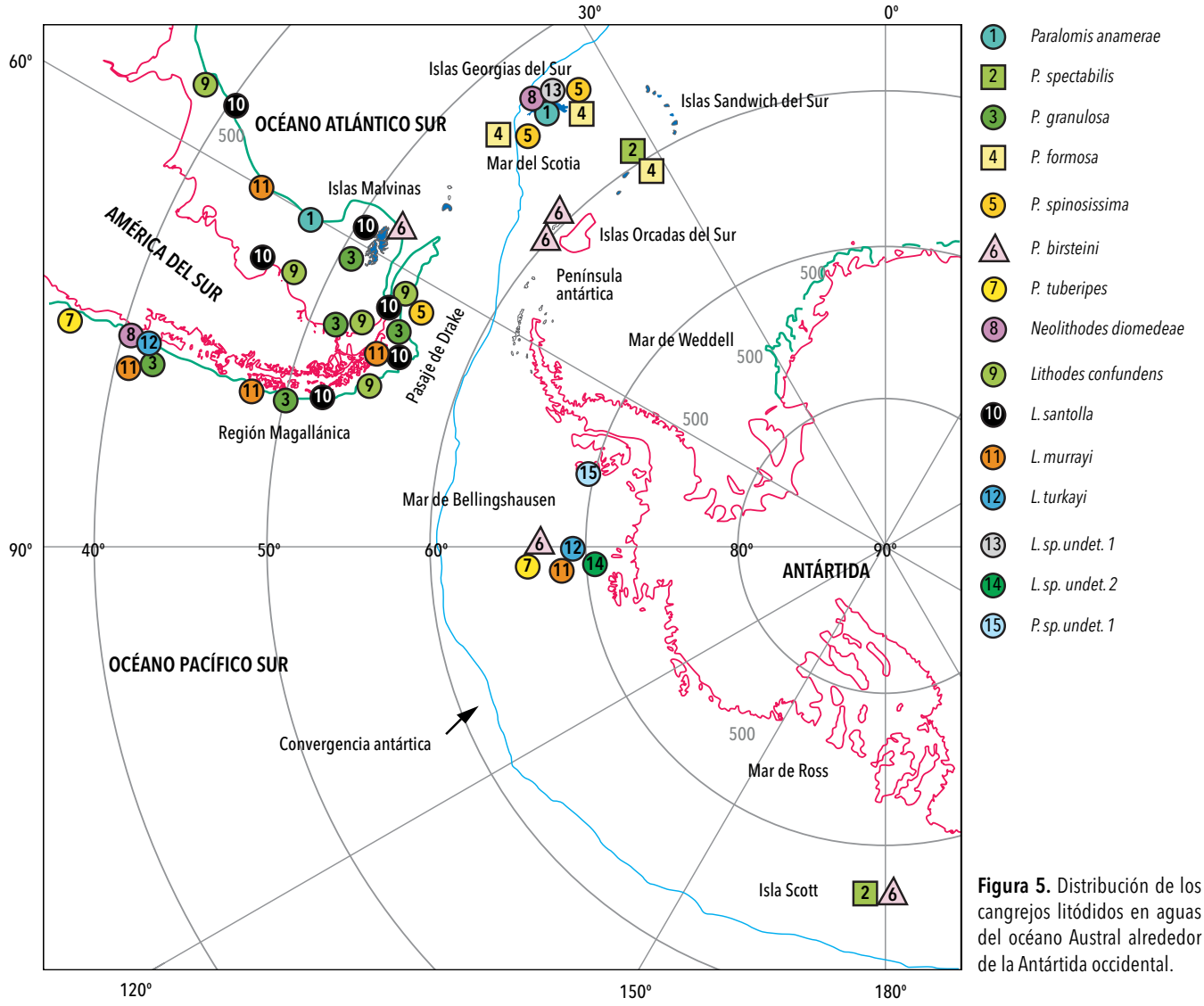



**Figura 5.** Distribución de los cangrejos litódidos en aguas del océano Austral alrededor de la Antártida occidental.

Se considera que los cangrejos litódidos se han originado hace aproximadamente 20 Ma en aguas poco profundas del Pacífico norte y a partir de allí han colonizado gradualmente otros ambientes, incluidas las aguas subantárticas y antárticas. Los litódidos del hemisferio norte (en inglés *'king crabs'*) se diversificaron en aguas costeras y de poca profundidad, hecho que podría explicar por qué algunas especies se alimentan de plancton durante las etapas tempranas de su desarrollo. Como los litódidos no pueden hacer frente a las aguas cálidas tropicales, la colonización hacia el hemisferio sur se supone que se realizó a través de aguas profundas, como la única posibilidad de conexión entre ambos hemisferios. De hecho, existen unas pocas especies en áreas tropicales, pero a grandes profundidades o en áreas de surgencia, donde la temperatura del agua de mar es relativamente baja. La aparente falta de estadios tempranos del desarrollo que se alimenten de plancton en el océano Austral y aguas adyacentes, y la capacidad de dispersión a través de aguas profundas permiten suponer el origen de las centollas antárticas a partir de ancestros del mar profundo.

Creemos que las centollas colonizaron las aguas profundas fuera de la plataforma antártica recientemente, pero no sabemos si este proceso continúa actualmente. Si así fuera, la colonización de la Antártida por parte de las centollas puede estar ocurriendo por dos vías. A juzgar por la actual distribución geográfica de las centollas, una posible vía de llegada a la Antártida puede ser a través de las aguas someras de las islas subantárticas del arco de Scotia (figura 5). Sin embargo, pensamos que el desplazamiento de los adultos a través del mar profundo sería el mecanismo más plausible de llegada de centollas a la Antártida. Los factores ambientales del mar profundo –bajas temperaturas y escasez de alimento para las larvas– permitirían la supervivencia y reproducción de centollas en este ambiente en un rango muy amplio de profundidades, desde el litoral hasta a más de 3000m de profundidad. A pesar de que existen pocos estudios sobre los ambientes profundos antárticos y aun con el

escaso conocimiento acerca de la distribución batimétrica de las centollas en el océano Austral, se estima posible que algunas de ellas hayan sido capaces de caminar hacia la Antártida atravesando el fondo marino a unos 3000-4000m de profundidad. Las larvas de centollas no se han hallado nunca en el plancton ni son transportadas por corrientes. Además, el Frente Polar y la Corriente Circumpolar Antártica son barreras prácticamente infranqueables para organismos planctónicos. En consecuencia, la dispersión de centollas hacia la Antártida por el transporte larval es altamente improbable.

La mayoría de las centollas recolectadas en la Antártida fueron encontradas durante los últimos diez años por medio de trampas y redes de arrastre de fondo (figura 8). Estas últimas han sido también usadas –junto con sistemas de video sumergibles y vehículos de operación remota (ROV)– frecuentemente en el mar de Weddell y en el mar de Lazarev durante las últimas tres décadas por investigadores alemanes, pero sin resultado, ya que no se ha encontrado allí una sola centolla. Es cierto que las adaptaciones al frío que muestran las larvas de centolla son insuficientes para sobrevivir en el ambiente de la alta Antártida como el mar de Weddell o el mar de Ross, donde se encuentran las aguas más frías del planeta, entre 0 y -1,8°C.

Este hecho explicaría por qué las centollas no han invadido la plataforma continental de la alta Antártida, pero efectivamente están presentes al noroeste de la península antártica, donde la temperatura es más elevada, del orden de 1°C. Los cangrejos litódidos se distribuyen a lo largo de las islas del arco de Scotia e islas periantárticas. Si consideramos que un cambio climático continuo generaría condiciones térmicas favorables para los cangrejos en los ambientes marinos de la alta Antártida, el retorno de estos depredadores con capacidad de presionar y romper a su presa –actualmente excluidos del ecosistema– va a rediseñar y alterar considerablemente las comunidades asociadas al fondo marino en altas latitudes. Este proceso ya ha comenzado. En el sistema actual de la alta Antártida, los anfípodos e isópodos ocupan parte del nicho ecológico de los cangrejos, y las estrellas de mar (asteroideos) son considerados los depredadores tope. Los equinodermos, anfípodos e isópodos constituyen una parte importante de las presas de los cangrejos litódidos, y por tanto la incorporación de las centollas en la trama alimentaria del fondo del mar Antártico tendría un efecto directo en su diseño. CH


## Agradecimientos

Las investigaciones realizadas por los autores han sido financiadas por un subsidio para la cooperación internacional otorgado conjuntamente por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SECYT) de la Argentina y el International Bureau del Ministerio de Investigaciones Científicas de Alemania.

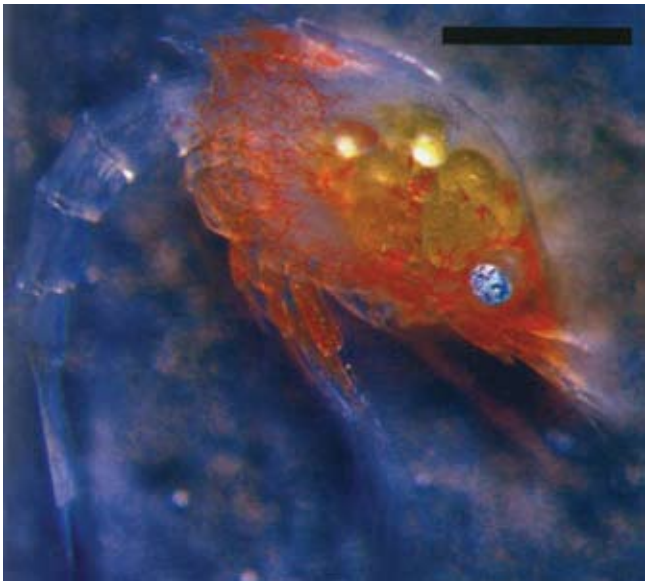



**Figura 6**. Estadio larval zoea de la centolla *Lithodes santolla* del canal Beagle. Los glóbulos amarillo-verdosos cercanos a los ojos son el vitelo, la sustancia de reserva de la que obtienen energía para sobrevivir durante todo el período larval, que a 6°C dura aproximadamente dos meses. La barra indica una escala de 1mm. Foto F Tapella

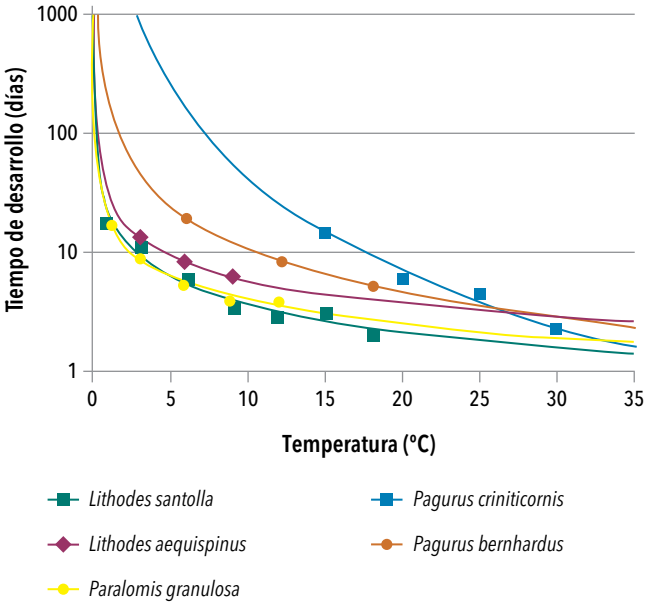



**Figura 7.** Relación entre el tiempo de desarrollo del primer estadio larval (zoea) y la temperatura del agua de mar en centollas y cangrejos ermitaños (grupos filogenéticamente emparentados). Los símbolos muestran las temperaturas a las que se realizaron los experimentos, y cuya extensión representa el rango de tolerancia térmico de la zoea I de cada especie. Las centollas están ejemplificadas por especies de ambos hemisferios (*Lithodes aequispinus* es una centolla del hemisferio norte), mientras que entre los cangrejos ermitaños *Pagurus bernhardus* es una especie boreal y *P. criniticornis*, tropicaltemplada. En los cangrejos ermitaños, los valores de tiempo de desarrollo extrapolados hacia las bajas temperaturas tienden a ser mayores a los mil días, biológicamente improbable.





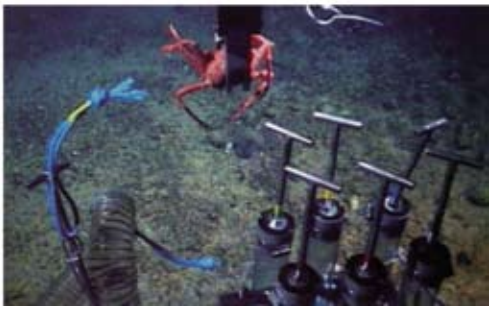


**Figura 8.** Medios de captura de centollas.

**Arriba.** Trampa utilizada en el canal Beagle y estrecho de Magallanes para la pesca comercial de centollas. Foto Héctor Elías Monsalve

**Abajo izquierda.** Rastra de fondo (red Agassiz) utilizada en la plataforma continental antártica para tomar muestras científicas (abajo derecha). La bolsa en segundo plano es el final o copo de la red que contiene la muestra luego de un lance, a bordo del rompehielos *Polarstern*.

**Abajo derecha**. Captura de un ejemplar de *Paralomis sp*. En el talud continental antártico, a 1100m de profundidad por medio del vehículo operado remotamente (ROV) *Isis* (NOCS Southampton, Inglaterra) durante el verano de 2007 a bordo del buque de investigación *James Clarke Ross*.

## LECTURAS SUGERIDAS


**ANGER K**, 2001, *The biology of decapod crustacean larvae*, AA Balkema, Lisse.

**CRAME A**, 1999, 'An evolutionary perspective on marine faunal connections between southernmost South America and Antarctica', *Scientia Marina*, 63 (suppl. 1): 1-14.

**GORNY M**, 1999, 'On the biogeography and ecology of the Southern Ocean decapod fauna', *Scientia Marina,* 63: 367-382.

**LOVRICH GA**, 1997, 'La pesquería mixta de centollas *Lithodes santolla* y *Paralomis granulosa* (Anomura: Lithodidae) en Tierra del Fuego, Argentina', *Investigaciones Marinas,* 25, Valparaíso: 41-57.

**MACPHERSON E**, 1988, 'Revision of the family Lithodidae Samouelle, 1819 (Crustacea, Decapoda, Anomura) in the Atlantic Ocean', *Monografías de Zoología Marina,* 2: 9-153.

**PORTNER HO**, 2002, 'Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals', *Comparative Biochemistry and Physiology*, 132: 739-761.

**THATJE S, ARNTZ WA**, 2004, 'Antarctic reptant decapods: more than a myth?', *Polar Biology*, 27: 195-201.

**ZACHOS J, PAGANI M, SLOAN L, THOMAS E & BILLUPS K**, 2001, 'Trends, rythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present', *Science,* 292: 686-693.

**ZAKLAN SD**, 2002, 'Review of the family Lithodidae (Crustacea: Anomura: Paguroidea): Distribution, Biology, and Fisheries', en AJ Paul, EG Dawe, R Elner, GS Jamieson, GH Kruse, RS Otto, B Sainte-Marie, TC Shirley & D Woodby (eds.), *Crabs in cold water regions: Biology, management, and economics*, University of Alaska Sea Grant, AK-SG-02-01, Fairbanks, pp. 751-845.

Ciencia Hoy volumen 19 número 114 diciembre 2009 - enero 2010

**Pablo E Penchaszadeh** (compilador)
Investigador del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia

**Juan López Gappa**
Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

**Eduardo Spivak**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

**Juan M Díaz de Astarloa**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

**Marcelo A Scelzo**
Universidad Nacional de Mar del Plata

**Flavio Quintana**
Centro Nacional Patagónico, Conicet

**Silvia C Marcomini y Rubén A López**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

# Darwin y el mar

*Si después de estudiar la tierra examinamos el mar, lo encontraremos tan rico en criaturas vivientes como es pobre la primera. En todas partes del mundo, una costa rocosa y algo protegida suele albergar, en un espacio determinado, mayor número de animales vivientes que cualquier otro medio.*

Comentario sobre el estrecho de Magallanes en el *Viaje del Beagle*

Tan conocido es el aporte de Darwin a la geología, la paleontología y la biogeografía de ecosistemas terrestres de la pampa húmeda y la Patagonia como desconocida su afición por los ambientes marinos y los seres vivientes que los pueblan o su biota.

La intimidad de Darwin con el mar se advierte en toda su obra: en el *Viaje del Beagle* y en *El origen de las especies* igual que en numerosos trabajos de investigación realizados y publicados a su regreso a Inglaterra. Entre 1846 y 1854 dio a conocer una extensa obra sobre cirrípedos o cirripedios, que sentó las bases del estudio de esos crustáceos y, aún hoy, es bibliografía obligada de los taxónomos. Su trabajo sobre la estructura y distribución de los arrecifes coralinos (1842) es considerado un documento fundacional del conocimiento sobre el origen de los atolones. Los moluscos fueron igualmente objeto de publicaciones y cartas entre 1848 y 1871. La difundida imagen de Darwin sentado ante un escritorio escribiendo sus libros lleva a olvidar que pasaba también mucho tiempo con el microscopio.

En el *Viaje* incluyó párrafos sobre aves marinas, lo mismo que sobre briozoos o briozoarios, y en *El origen* explicó sus pensamientos acerca de la migración de los ojos en los lenguados. Dedicó especial atención a las algas gigantes o sargazos marinos de Tierra del Fuego (donde se los conoce por *cachiyuyos*), sobre los que escribió encendidos párrafos en el *Viaje*:

Un producto marino entre todos los que se encuentran en Tierra del Fuego merece una mención particular. Se trata del alga yodífera Macrocystis pyrifera. Crece sobre las rocas sumergidas, a gran profundidad o en aguas poco profundas, lo mismo en la costa abierta que en las orillas de los canales.

Los lechos de esta alga, aun cuando no son muy anchos, actúan como excelentes rompeolas flotantes naturales. Es curioso observar, en un puerto expuesto, como la altura de las olas que vienen del mar abierto va disminuyendo al cruzar la barrera formada por los tallos ralos para convertirse en agua mansa. Es maravilloso el número de criaturas vivientes de todos los órdenes cuya existencia depende íntimamente de esta planta. Podría escribirse un grueso tomo sobre los habitantes de uno solo de estos lechos de algas. Casi todas las hojas, excepto las que flotan en la superficie, están de manera tan densa cubiertas de coralinas [briozoos] que parecen de color blanco. Entre estas incrustaciones las hay delicadas en forma exquisita, y en ellas habitan simples pólipos parecidos a las hidras, o seres más organizados como la hermosa Ascidia [papa de mar]. También en las hojas van adheridas varias conchas pateliformes [lapas], trochidos [caracol trompo], moluscos sin concha [nudibranquios] y algunas bivalvos. Innumerables crustáceos frecuentan todas las partes de las plantas. Al sacudir las grandes raíces enmarañadas de una de ellas, cayeron al suelo gran número de pececillos, conchas, calamares, cangrejos de todas clases, huevos de mar, estrellas marinas, bellos holoturios [pepinos de mar], planarias y toda clase de bichos rastreros del género Nereis [gusanos poliquetos]. Cada vez que he examinado una rama de esta alga, he encontrado invariablemente nuevas formas de vida, nuevos animales de estructura diversa.

Así pues, estas plantas constituyen focos de vida sin igual. Solo puedo comparar estos grandes bosques acuáticos del hemisferio sur con las selvas terrestres de las regiones intertropicales. Incluso si supongo que se destruyese una selva, no creo que perecieran tantos seres vivientes como si desapareciese esta especie de alga.

## GLOSARIO

**Cipris**. Estadio del desarrollo larval de ciertos crustáceos, como los cirripedios.

***Gastrópodos* o *gasterópodos***. Grupo muy numeroso de moluscos terrestres y acuáticos que incluye a varias decenas de miles de especies vivientes y extintas, entre ellas, caracoles y babosas.

**Metamorfosis**. Cambios de forma más o menos bruscos que sufre un organismo en su desarrollo, especialmente al pasar de la etapa larval a la poslarval, juvenil o adulta.

**Mysis**. Tercer estadio de desarrollo de las larvas de crustáceos como el camarón, después del de *protozoea*.

***Nauplius*** (plural ***nauplii***). Nombre del estadio inicial de desarrollo de larvas de ciertos crustáceos (copépodos, eufausiacios, cirripedios, camarones, langostinos).

**Nudibranquios**. Grupo filogenético o clado (*Nudibranchia*) de moluscos marinos generalmente desprovistos de conchas; en muchos casos se caracterizan por la variedad y viveza de sus colores. Las especies descriptas del grupo exceden las tres mil y viven en todos los mares del planeta y en diversas profundidades, pero son más vistosas en aguas poco profundas o someras de mares tropicales.

**Plancton**. Comunidad de organismos (animales, plantas, arqueas, bacterias) que viven en las aguas a distintas profundidades y a merced de las corrientes. Pueden o no tener la capacidad de realizar movimientos propios.

**Pleópodos**. Patas abdominales de los crustáceos, usadas primordialmente para nadar o enterrarse, pero en algunas especies también para incubar huevos.

***Poslarvas*** o ***megalopas***. Estadio final de desarrollo larval de crustáceos. Tienen el número completo de segmentos y apéndices funcionales del cuerpo del adulto, pero su tamaño es mucho menor.

***Protozoea***. Segundo estadio de desarrollo de las larvas de crustáceos, como el camarón, después del de *nauplius*.

***Zoea***. Primer estadio libre del desarrollo de las larvas de aquellas especies de crustáceos que experimentan un importante crecimiento embrionario en los huevos incubados en los pleópodos de las hembras.

**Juan López Gappa**
Investigador del Conicet en el Museo Argentino
de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia

# Darwin y los briozoos

En el capítulo sexto de *El origen de las especies*, dedicado a discutir objeciones a la teoría de la selección natural, Darwin mencionó a un curioso grupo de organismos, los zoófitos o polizoos, actualmente denominados briozoos (*Bryozoa*), que literalmente significa 'animales musgo'. Se trata de invertebrados marinos que se alimentan de plancton, al que capturan filtrando agua mediante una corona de tentáculos. Viven en colonias, parecidas al coral por su apariencia.

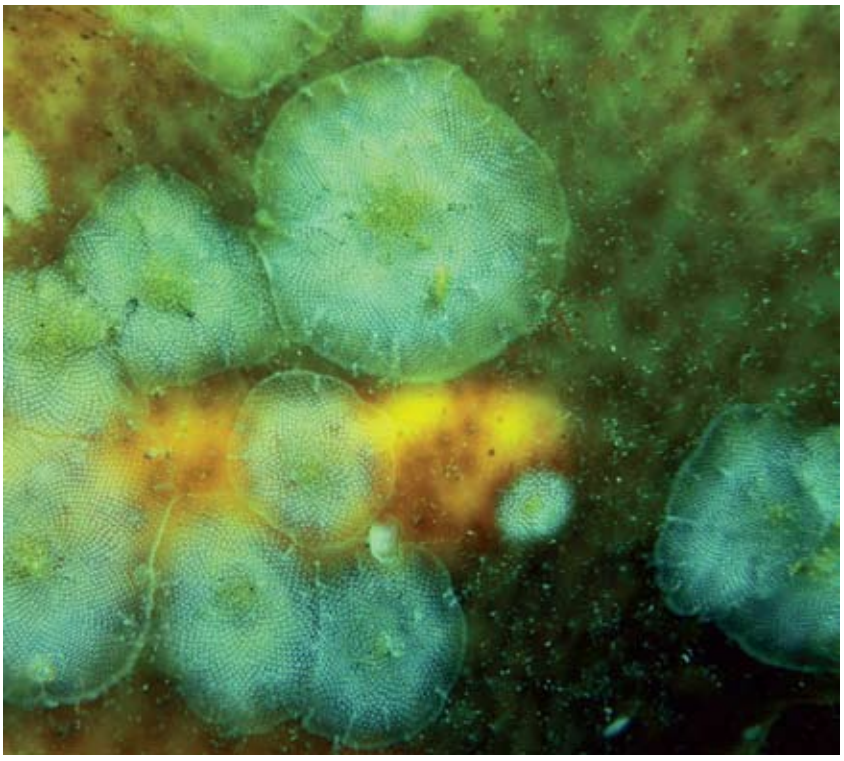
Se los encuentra adheridos a piedras, algas u otros sustratos, la mayoría en el fondo del mar aunque algunos en aguas dulces. Abarcan unas seis mil especies distribuidas por todo el mundo, más un número mucho mayor de especies fósiles. Tienen una presencia importante en el registro fósil, en el que sus primeros representantes datan de comienzos del período ordovícico de la era paleozoica, es decir, de hace unos 480 millones de años.

Un aspecto de la biología de los briozoos atrajo la atención de Darwin: que sus colonias están formadas por módulos, llamados *zooides*. No todos los zooides son iguales, pues presentan diferencias morfológicas relacionadas con distintas tareas, como alimentación, reproducción, defensa o limpieza de la colonia. Es una división del trabajo similar a la que ocurre en las abejas, pero los zooides, que equivalen a los individuos, son clones, pues brotan unos de otros a partir de una larva que origina la colonia. Además, están unidos físicamente.

Los zooides especializados en defensa poseen una mandíbula triangular con la que atrapan y sujetan a pequeños organismos. Se denominan *avicularias*, debido a su notable parecido con la cabeza de un ave. Darwin propuso que las avicularias habían evolucionado a partir de zooides normales y que debían existir formas intermedias entre ambos, hecho que luego se comprobaría.

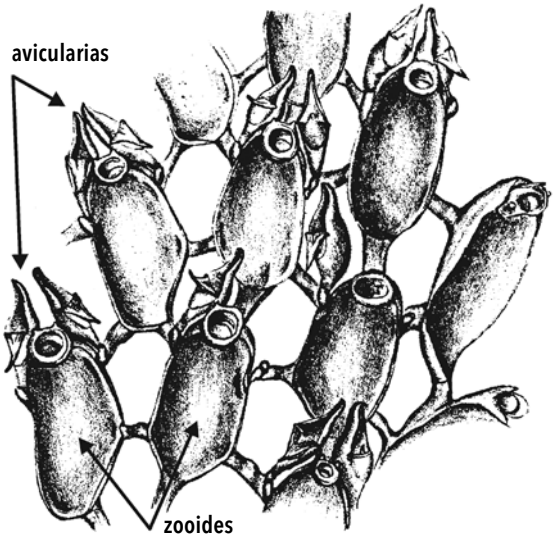
Las colonias de briozoos pueden estar compuestas por miles de zooides o individuos, y suelen tener un tamaño de entre algunos milímetros y varios centímetros, pero cada zooide es pequeño: por lo común mide menos de un milímetro.

Durante su viaje a bordo del *Beagle*, Darwin coleccionó abundantes colonias de briozoos a lo largo de las costas de la Patagonia, Tierra del Fuego, las islas Malvinas, el cabo de Hornos y el estrecho de Magallanes. Tomó algunas muestras en localidades como Puerto Deseado y Puerto San Julián. Cedió el material para su estudio a George Busk (1807-1886), médico naval, zoólogo, paleontólogo y especialista en briozoos del Museo Británico de Historia Natural, quien entre 1852 y 1854 publicó la descripción de más de treinta especies coleccionadas por Darwin, en su mayoría nuevas para la ciencia.



Colonias de briozoos sobre el alga invasora *Undaria*.
Foto Gregorio Bigatti

Parte de una colonia de una de las especies de briozoos coleccionadas por Darwin (*Beania magellanica*). Cada zooide mide alrededor de un milímetro. Lámina de George Busk, *Catálogo de los polizoos marinos en la colección del Museo Británico*, 1854.



**Marcelo A Scelzo**

Investigador del Conicet en la Universidad Nacional de Mar del Plata

# Darwin y el desarrollo larval de crustáceos

*En la gran clase de los crustáceos, formas asombrosamente distintas unas de otras, como parásitos succionadores, cirripedios, varios entomostracos y aun malacostracos, aparecen al principio como larvas bajo la forma de nauplius* [...] *Es probable que en algún período muy remoto haya existido un animal adulto, independiente, parecido al nauplius, y que haya producido varias líneas divergentes de descendencia* [y dado lugar a] *los grandes grupos de crustáceos.*
*El origen de las especies*

Los crustáceos (cangrejos, langostinos, camarones, langostas y muchos más, incluso los muy pequeños que llamamos kril) forman un gran grupo de más de cincuenta mil especies de animales, la mayoría acuáticas. Son artrópodos, es decir, invertebrados con esqueleto externo, cuerpo segmentado y patas articuladas, características que comparten con insectos, arañas, escorpiones y ciempiés, entre otras formas.

Los crustáceos se reproducen por huevos que, al eclosionar, en la mayoría de los casos dan lugar a larvas microscópicas. Estas pasan a integrar el plancton, ese conjunto de organismos (animales, plantas, bacterias, arqueas) que vive en las aguas a distintas profundidades y a merced de las corrientes. Así, las larvas de crustáceos son diseminadas por estas, lo que les permite colonizar diferentes áreas.

Generalmente las larvas son bastante diferentes de los adultos. Tras sucesivas mudas, van creciendo y pareciéndose a los adultos, en un proceso conocido como *metamorfosis*. Hay especies que liberan los huevos fecundados directamente al agua y otras que los retienen y protegen en cámaras de incubación, hasta la eclosión o nacimiento de la larva.

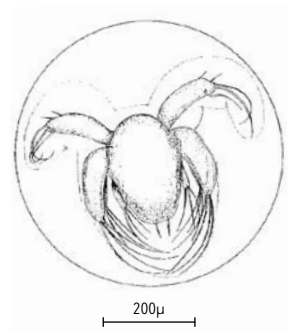
Los camarones y langostinos constituyen un ejemplo de desarrollo larval que podríamos llamar primitivo. Cada hembra libera al agua miles de huevos esféricos (de unos 0,4mm). Aproximadamente veinticuatro horas después nacen las larvas, conocidas en ese estadio como *nauplius* (plural *nauplii*). Pequeñas y de estructura biológica elemental, con un solo ojo y un par de apéndices utilizados como remos o aletas, son las larvas más primitivas de crustáceo, cuyas características morfológicas no escaparon a la atención de Darwin, quien las mencionó reiteradas veces en el libro citado en el epígrafe. Dados su tamaño y fragilidad, hay escasas evidencias fósiles de estas larvas, algunas de las cuales aparecieron en el cámbrico superior, alrededor de 400 millones de años atrás.

Los nauplii de camarones y langostinos no se alimentan del medio externo, pues su tubo digestivo aún no está abierto al exterior: se nutren de la yema o vitelo de su huevo de proveniencia. Los de otras formas de crustáceos se alimentan de pequeñas partículas de fito o zooplancton.

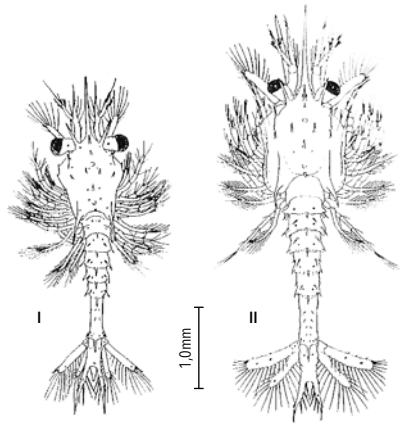
Las larvas van creciendo con sucesivas mudas y agregando segmentos a su cuerpo. Varios días después de nacidas pasan al segundo estadio de desarrollo: se transforman en *protozoeas*, en las que se reconoce la cabeza, los ojos y un mayor número de apéndices utilizados para nadar. Mudan otras tres veces y, en una semana, se transforman en *mysis*. Luego de una segunda semana y tres o cuatro mudas adicionales, llegan al estadio de pequeño camarón, de alrededor de 5mm de longitud, en el que son conocidas como *poslarvas*. En ese estadio tienen el número completo de segmentos y apéndices funcionales del cuerpo del adulto. Así finaliza la metamorfosis.

Otras formas de crustáceos, como cangrejos, centollas, ermitaños y langostas, se desarrollan con cuidado maternal de los huevos embrionados, que quedan adheridos a las patas abdominales o *pleópodos*. Luego de varios días o semanas de crecimiento embrionario, nacen las larvas en un estadio avanzado de desarrollo conocido

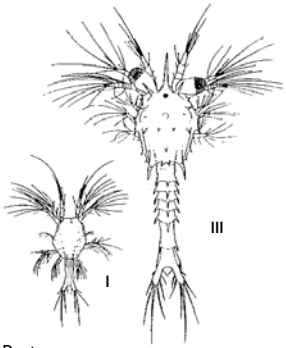
**Estadios de desarrollo del langostino *Pleoticus muelleri*.** Dibujos tomados de Iorio MI, Scelzo MA y Boschi EE, 1990, 'Desarrollo larval y poslarval del langostino *Pleoticus muelleri*', *Scientia Marina*, 54, 4: 329-342.



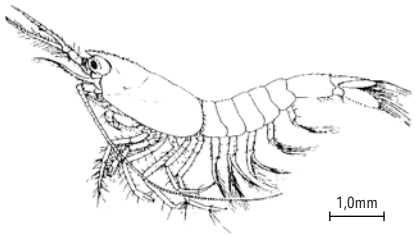

Huevo con nauplius



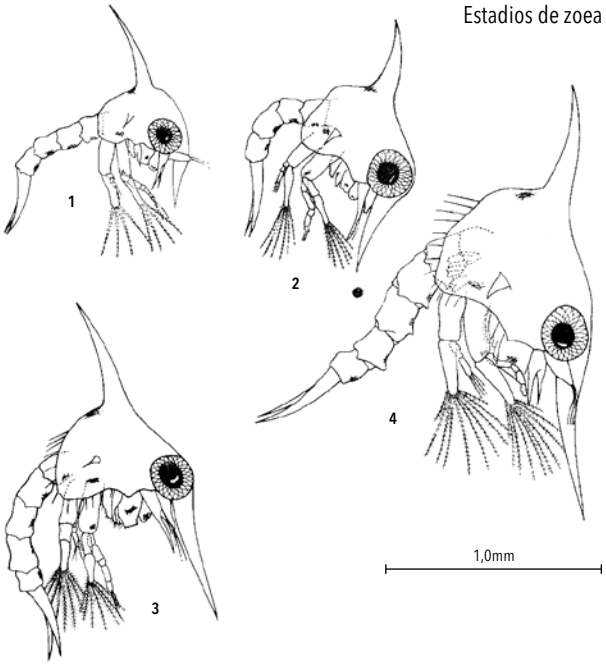

Mysis

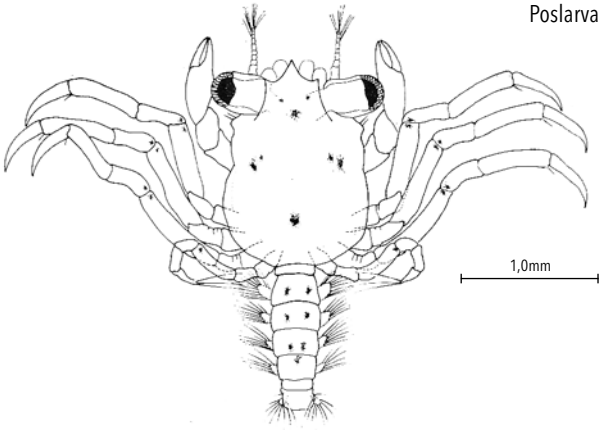



Protozoea




Poslarva




**Estadios de desarrollo larval y metamorfosis del cangrejo *Cyrtograpsus altimanus*.** Dibujos tomados de Scelzo MA y Lichtschein de Bastida V, 1978, 'Desarrollo larval y metamorfosis del cangrejo *Cyrtograpsus altimanus*', *Physis*, sec. A, 38,94: 103-126.

como *zoea*. Según las familias de crustáceos, puede haber entre dos y hasta siete estadios de zoea, separados por mudas. En las aguas del Atlántico Sur, la duración de cada estadio es de aproximadamente una semana, con lo cual el desarrollo larval, hasta alcanzar el estadio de megalopa o poslarva, se puede extender por entre uno y dos meses. Hay ejemplos de langostas cuyas larvas pueden permanecer casi un año en el plancton.

El conocimiento detallado del desarrollo larval y de la metamorfosis es una herramienta más para conocer la evolución del grupo. Los conocimientos de la anatomía, la fisiología y los requerimientos ambientales de las larvas de especies de importancia comercial, como camarones o langostinos, permitió avanzar en la tecnología del cultivo de camarones y, en particular, de larvas o larvicultura.

---

**Eduardo Spivak**

Investigador del Conicet en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata

# Cirripedios

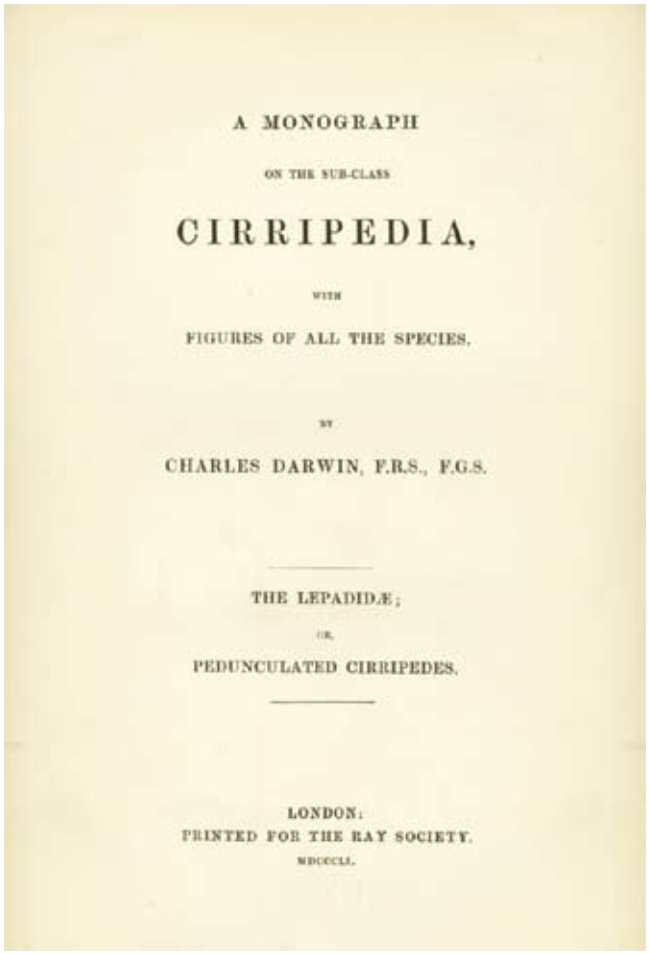
*... nadie alcanza el secreto*
*de su frío castillo gótico*
Pablo Neruda, 'El picoroco'

Es posible que algunos lectores recuerden haber visto callosidades en el dorso de las ballenas francas, resultado de haber sido colonizadas por organismos calcáreos. También, que hayan advertido unas filosas incrustaciones blancas que a veces aparecen en las valvas de mejillones, o unos conitos semejantes a volcanes en miniatura que tapizan las rocas de Mar del Plata. En los tres casos se trata de distintas especies de *cirripedios* (*Cirripedia*), también denominados *dientes de perro* (y, en inglés, *barnacles*), un gran grupo de crustáceos que viven adheridos a alguna superficie durante toda su vida adulta. En el litoral atlántico argentino no hay cirripedios comestibles, pero sí en Chile, como el corpulento *picoroco* (*Megabalanus psitacus*), que evoca Neruda en el poema citado, y en España, donde los *percebes* o *percebeiros* (*Pollicipes pollicipes*) de las costas gallegas son tan caros como difíciles de recolectar en los acantilados golpeados por el oleaje.

Son organismos sedentarios o *sésiles*, que se alimentan extendiendo unas patas (llamadas *cirros*, de donde proviene el nombre del grupo) con numerosas y delgadas prolongaciones en forma de una malla que retiene partículas suspendidas en el agua. La mayoría de las especies son hermafroditas y practican la fertilización cruzada: los individuos adultos se inseminan recíprocamente por

medio de un pene extensible. Como en los demás crustáceos, los huevos incubados eclosionan como *nauplii* (singular *nauplius*), larvas de libre movimiento en el agua que entran a formar parte del plancton.

Luego de pasar por varios estadios en los que las larvas son cada vez más grandes, llegan al de *larva cíprida* o *cipris*, que nada activamente, posee ojos, antenas y seis pares de apéndices (los futuros cirros). Esas larvas quedan protegidas por dos valvas y tienen, frecuentemente, comportamiento gregario. Cuando localizan un ambiente apropiado, se adhieren por la cabeza a una superficie y se transforman en adultos.



A MONOGRAPH

ON THE SUB-CLASS

CIRRIPEDIA,

WITH

FIGURES OF ALL THE SPECIES.

BY

CHARLES DARWIN, F.R.S., F.G.S.

THE LEPADIDÆ;

OR,

PEDUNCULATED CIRRIPEDES.

LONDON:
PRINTED FOR THE RAY SOCIETY.
MDCCCLI.

Estos peculiares animales, durante mucho tiempo considerados moluscos, llamaron la atención de Darwin, quien reunió una colección de diez mil especímenes, la mayoría en la expedición del *Beagle*, y los estudió durante ocho años. Entre 1851 y 1854, es decir antes de la publicación de *El origen de las especies*, dio a conocer monografías sobre sus formas fósiles y vivientes. Sus trabajos constituyen una monumental obra de sistemática: las distintas especies fueron cuidadosamente descriptas, ilustradas y agrupadas en géneros, familias y órdenes.

Los cirripedios más conspicuos integran un orden llamado torácicos (*Thoracica*), nombre que le asignó Darwin para señalar que, de las tres típicas regiones del cuerpo de los crustáceos (cabeza, tórax y abdomen), solo poseen la segunda. Su cuerpo está contenido en una envoltura llamada *manto*, equivalente al caparazón de los demás crustáceos, que secreta la conchilla, a veces reforzada por placas calcáreas. El manto se adhiere al sustrato directamente o por medio de un pedúnculo.

El estudio comparativo de las placas de distintos grupos de cirripedios torácicos realizado por Darwin incluyó algunos de los razonamientos que condujeron a la formulación de su teoría de la evolución. Sin embargo, en ciertos aspectos, como las comparaciones de larvas y adultos, las conclusiones de Darwin fueron erróneas.

La zona intermareal de casi todas las costas rocosas del mundo se caracteriza por la presencia de cirripedios, que muchas veces forman una banda compacta visible en bajamar. Hasta la década de 1960, una muy notable excepción era la extensa costa argentina. Pero a fines de la década de 1960 apareció la especie *Balanus glandula*, originaria del Pacífico norteamericano: probablemente llegó al puerto de Mar del Plata adherida al casco de barcos, y encontró un ambiente sin competidores que le permitió proliferar extraordinariamente. Una vez establecida, sus poblaciones avanzaron hacia el sur con una velocidad estimada de 40km por año. Alcanzaron Comodoro Rivadavia, donde registran densidades de hasta treinta mil individuos por metro cuadrado. Su presencia modificó en forma fundamental, en tiempo relativamente breve, las comunidades litorales de los fondos rocosos de una vasta área geográfica.

## LECTURAS SUGERIDAS


**DEUTSCH J**, 2007, *Le ver qui prenait l'escargot comme taxi et autres histoires naturelles*, Seuil, París (traducción castellana: 2009, *El gusano que usaba el caracol como taxi y otras historias naturales*, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires).

**SPIVAK E**, 2005, 'Los cirripedios litorales', en Penchaszadeh PE (ed.), *Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña*, Eudeba, Buenos Aires.

Las monografías de Darwin están disponibles en *http://darwin-online.org.uk*. Son *A monograph of the sub-class Cirripedia, with figures of all the species, vol. 1 The Lepadidae or pedunculated cirripedes*, 1851, y vol. 2 *The Balanidae (or sessile cirripedes), the Verrucidae*, 1854, The Ray Society, Londres; *A monograph on the fossil Lepadidae or pedunculated cirripedes of Great Britain*, 1851, y *A monograph on the fossil Balanidae and Verrucidae of Great Britain*, 1854, The Palaeontographical Society, Londres.

**Flavio Quintana**
Investigador del Conicet en el
Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

# De Darwin a los acelerómetros

Durante su viaje por las costas patagónicas, Charles Darwin describió someramente el comportamiento de algunas especies de aves marinas. A ojo desnudo o con la ayuda de algún viejo monocular, observó acerca de los cormoranes: *Un cuervo marino, que se arrojó al agua, se sumergió hasta las profundidades, para volver a salir a la superficie…* Y sobre pingüinos: *Cuando se sumergen utilizan las aletas como nadadores. Cuando están en el mar y se dedican a pescar, asoman a la superficie para tomar aliento y se sumergen de nuevo con tanta velocidad que parecen que lo hicieran por simple deporte*.

Sus observaciones son tan básicas como ciertas y pueden ser verificadas observando el mar en busca de siluetas negras que aparecen y desaparecen de la superficie. Pero aspectos más complejos del comportamiento de estas aves en el mar guardan, en la actualidad, cada vez menos secretos para los biólogos interesados en su evolución. Durante los últimos años, el avance de la tecnología electrónica y su miniaturización permitieron disponer de pequeños instrumentos capaces de ser colocados en las aves para develar su conducta submarina.

Dichos instrumentos se conocen técnicamente como *registradores electrónicos de múltiples sensores*, y más sencillamente como *acelerómetros* (en inglés *daily diaries*). Son a los biólogos modernos lo que la libreta de notas era a Darwin. Provistos de sensores de aceleración que miden el movimiento en tres dimensiones, permiten registrar en forma detallada los desplazamientos del animal que los porta y, en forma indirecta, medir la energía gastada en cada una de sus actividades diarias.

Hoy nos podemos dar el gusto de ampliar las notas de Darwin y escribir: *Los cormoranes patagónicos bucean a más de 50m de profundidad y gastan unas 84kcal (un poco menos de las contenidas en medio alfajor de dulce de leche) buceando durante un viaje de alimentación*. También estamos en condiciones de afirmar: *Los pingüinos necesitan capturar menos de media anchoíta por buceo para compensar el gasto de energía de su inmersión y se dejan llevar a la superficie casi sin agitar sus aletas*.







**Figura 1.** Pingüino de Magallanes con un acelerómetro colocado en el lomo.
**Figura 2.** Cabeza de cormorán biguá (*Phalacrocorax olivaceus*).
**Figura 3.** Pingüinos patagónicos o de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*).

## LECTURAS SUGERIDAS

**GODLEY BJ y WILSON RP**, 2008, 'Tracking vertebrates for conservation: Introduction', *Endangered Species Research*, 4: 1-2.

**QUINTANA F, WILSON RP & YORIO P**, 2007, 'Dive depth and plumage air in wettable birds: The extraordinary case of the imperial cormorant', *Marine Ecology Progress Series*, 334: 299-310.

**Juan M Díaz de Astarloa**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata



**Figura 1.** Lenguado siniestro, *Neoachiropsetta milfordi*.

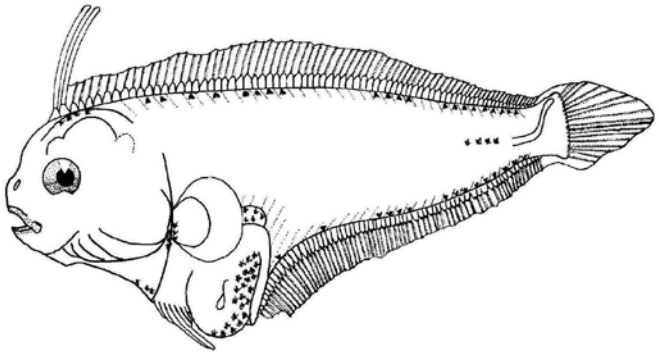


**Figura 2.** Larva del lenguado *Etropus longimanus*. Dibujo Laura Machinandiarena

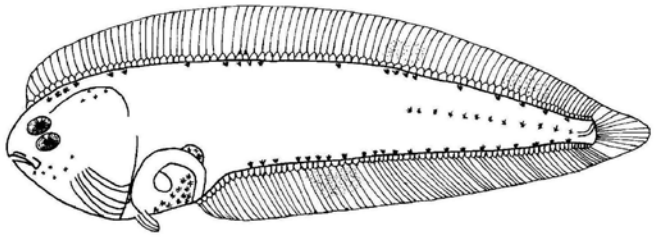


**Figura 3.** Ejemplar juvenil de lenguado metamorfoseado, *Symphurus trewavasae*. Dibujo Laura Machinandiarena



**Figura 4.** Lenguado diestro de Darwin, *Oncopterus darwinii*.

## Los peces de cara torcida

Extraños y aberrantes a la vista, pero deliciosos al plato. Así son los lenguados, criaturas asimétricas con dos ojos situados del mismo lado del cuerpo (figura 1). Los pueden tener del lado derecho, en cuyo caso se llaman *diestros* o *dextrógiros*, o del lado izquierdo, denominados *siniestros* o *levógiros*. Esta notable desviación del patrón simétrico, normal en la mayoría de los peces, es la culminación de cambios espectaculares que ocurren durante el desarrollo larvario.

El nombre lenguado, rodaballo o incluso solla se refiere a un orden (*Pleuronectiformes*) de peces con una centena de géneros y más de setecientas especies. Son peces planos, ovalados, que habitan el fondo de cuerpos de agua dulce y salada. Se alimentan de diversos peces, crustáceos y otros invertebrados, y resultan sumamente apreciados en gastronomía.

Las larvas o alevinos de lenguado son *simétricas* y *pelágicas* (es decir, nadan libremente en la columna de agua). Sus dos ojos están situados uno a cada lado de la cabeza (figura 2). La metamorfosis transforma las larvas en juveniles (figura 3): tanto ellos como los adultos son *asimétricos* y *bentónicos* (es decir, se apoyan sobre el fondo marino, en el que viven), y tienen los dos ojos del mismo lado de la cabeza. Dependiendo de la especie, puede ser tanto el ojo derecho como el izquierdo el que se desplaza, e incluso esa variación puede darse dentro de la misma especie.

Se han descripto catorce especies de lenguados que viven en aguas argentinas, de las que solo una, el lenguado de Darwin (*Oncopterus darwinii*), cuyo nombre honra al naturalista, tiene los ojos sobre el lado derecho (figura 4). El resto de las especies son siniestras.

La transición de la larva simétrica al juvenil asimétrico implica una dramática migración de uno de los ojos, que cruza la parte superior de la cabeza hacia el otro lado del cuerpo y se ubica cerca del otro ojo. Una vez migrado, el pez plano –que terminó pareciéndose a una pintura de Picasso– se apoya sobre su lado ciego, que es de color blancuzco, en el fondo del mar. El lado oculado tiene una pigmentación que permite al lenguado mimetizarse notablemente con su entorno y pasar casi inadvertido (figura 5).

Algunas veces, la ruta migratoria del ojo queda interrumpida y el ojo migrante, en lugar de posicionarse junto al otro, queda ubicado en la parte superior de la cabeza delante de una escotadura (figura 6).

¿Cómo ocurre esa migración, y cómo varía la polaridad del viaje ocular? El hecho de que sea el ojo derecho o el izquierdo el que migre depende de la orientación de los nervios ópticos que unen los ojos con el encéfalo. En los lenguados diestros, el nervio óptico del ojo migrante (el izquierdo) siempre cruza dorsalmente el nervio del ojo derecho. El nervio óptico de los lenguados siniestros exhibe una condición giratoria anormal.

Cuándo y de qué manera se produjo la asimetría craneal de los lenguados ha desvelado a muchos evolucionistas y naturalistas, incluso a Darwin, quien planteó la hipótesis de que la migración gradual del ojo durante la evolución de los lenguados les confirió una ventaja adaptativa al medio, por la inutilidad funcional de tener un ojo del lado que el pez apoya sobre el fondo. Darwin observó que las larvas de lenguado, con sus ojos en lados opuestos de la cabeza, no podían retener por mucho tiempo la posición vertical, debido a la profundidad del cuerpo y al hecho de carecer de vejiga gaseosa, el órgano hidrostático que permite a los peces óseos mantenerse suspendidos sin esfuerzo en la columna de agua. Por ello, concluyó, se cansan y caen al fondo, donde quedan apoyados sobre un lado. De ahí que tuerzan el ojo inferior con vigor.

El extraordinario hallazgo de especímenes fósiles de 45 millones de años de antigüedad realizado por Matt Friedman, de la Universidad de Chicago y del Field Museum de esa ciudad, y descripto no hace mucho por este en la revista *Nature*, reivindica la predicción de Darwin de una gradual migración del ojo de los lenguados durante su evolución, y refleja la metamorfosis acaecida durante el desarrollo de las formas actuales entre los estadios de huevo fertilizado y adulto maduro (llamado su *ontogenia*).












**Figura 5.** Lenguado patagónico, *Paralichthys patagonicus*, fotografiado en aguas costeras de Mar del Plata. Foto Gabriel Genzano
**Figura 6.** Lenguado patagónico, *Paralichthys patagonicus*, con una anormalidad en la migración del ojo derecho. Foto María Rita Rico
**Figura 7.** Lado ciego de *Paralichthy patagonicus* con ambicoloración total.
**Figura 8.** Lado ciego del lenguado *Xystreurys rasile* con ambicoloración parcial.

## LECTURAS SUGERIDAS

**COUSSEAU MB y PERROTTA RG**, 2004, *Peces marinos de la Argentina. Biología, distribución y pesca*, 3ª edición, INIDEP, Mar del Plata.

**FRIEDMAN M**, 2008, 'The evolutionary origin of flatfish asymmetry', *Nature*, 454: 209-212, 10 de julio.

**POLICANSKY D**, 1982, 'The asymmetry of flounders', *Scientific American*, 246: 116-122.

**Silvia C Marcomini y Rubén A López**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

## Incursión en la costa sur de Buenos Aires

En las notas en que registró sus observaciones sobre la morfología y la dinámica costeras de lugares que visitó a bordo del *Beagle*, Darwin describió formas como acantilados, terrazas marinas, planicies de marea y dunas. Realizó detalladas descripciones de acantilados en Punta Alta, Monte Hermoso y al sur del río Negro. Sobre la desembocadura de este observó: …*el paisaje cerca de la boca del río es deslucido en extremo: en el lado sur comienza una larga línea de acantilados perpendiculares que deja expuesta una sección de la naturaleza geológica del lugar*.

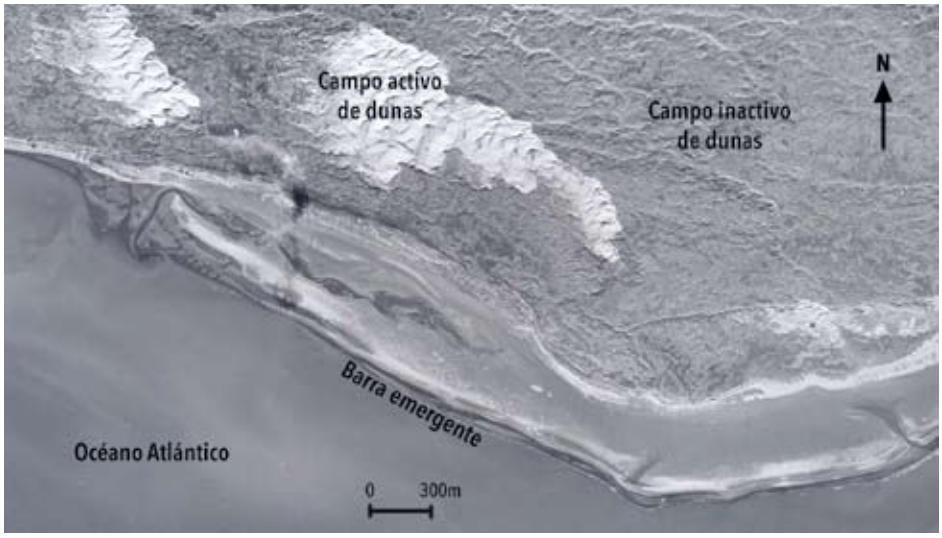
Describió terrazas marinas en las cercanías de Bahía Blanca, *una pequeña porción de tierra plana, ubicada aproximadamente veinte pies por sobre la marca de pleamar, llamada Punta Alta, está formada por estratos de grava cementada y arcilla rojiza, con abundantes conchillas* [de] *especies recientes, que aún habitan los mares vecinos*.

En esa zona, quedó impresionado por las extensas dunas costeras. *La costa norte de Bahía Blanca está formada principalmente por inmensas dunas de arena que descansan sobre grava con conchillas recientes y se alinean en hileras paralelas a la costa*. Se cuestionó sobre el origen de la arena de las dunas: *Actualmente no hay una fuente de donde pueda provenir esa inmensa acumulación de arena* [pero] *la formación de areniscas del río Negro podría haber proporcionado un inagotable aporte de arena, que se habría acumulado naturalmente en la margen norte del río, lo mismo que en cada parte de la costa abierta a los vientos del sur entre Bahía Blanca y Buenos Aires*.

Realizó asimismo inferencias sobre la génesis de las planicies y terrazas (*beach ridge plains*) de la costa sur de Buenos Aires: *El origen de las planicies arcillosas, que separan los cordones paralelos de dunas, parece deberse a la tendencia de las mareas (como creo que sucede en muchas costas protegidas) a construir una barra paralela a la playa y a cierta distancia de ella. Esa barra crece gradualmente y proporciona una base para la acumulación de dunas de arena* […] *La repetición de ese proceso, sin elevación del terreno, formaría una planicie atravesada por líneas paralelas de colinas arenosas. Durante una lenta elevación de la tierra, las colinas descansarían en una superficie suavemente inclinada, como la que se advierte en la costa norte de Bahía Blanca*.

A pesar de haber transcurrido más de ciento cincuenta años desde las primeras observaciones realizadas por Darwin, los procesos costeros aún no han sido comprendidos en profundidad y resta mucho aún por investigar. CH

Fotografía aérea de la costa en Punta Tejada, entre Bahía Blanca y Punta Alta, tomada en 1996 por la Agrupación Naval Aerofotográfica.



Ciencia Hoy Volumen 6 número 31 1995

**RJ Quintana y JL Agraz**
Instituto Antártico Argentino
**LC Borgo**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

# Biodiversidad en la Antártida

La Antártida se extiende alrededor del Polo Sur, en un radio aproximado de 2500km, siempre en latitudes mayores que los 60°; tiene una superficie, incluyendo las plataformas de hielo sobre el mar, de aproximadamente catorce millones de kilómetros cuadrados –ligeramente superior que la de Europa–; alcanza los cincuenta millones si se agrega el océano que la circunda, el Antártico, cuyas aguas son más frías y menos saladas que las del resto de los mares. En la denominada *convergencia antártica*, situada entre los 50° y los 60° de latitud sur, las masas frías de agua polar desaparecen bajo las más cálidas provenientes del norte, con lo que se establece el límite oceanográfico, así como uno biológico.

Hace unos doscientos millones de años la Antártida formaba parte de supercontinente Gondwana que dio origen, por sucesivas fragmentaciones, entre otros, a los actuales Sudamérica, África y Australia y –hace aproximadamente veintiocho millones de años– al continente blanco. Que se hayan encontrado, en este, fósiles similares a los hallados en los otros del hemisferio sur, demuestra esa antigua relación, y también indica que el clima antártico fue diferente del actual. El paisaje que ahora se observa en la Antártida es el resultado del gran cambio climático



Pingüino de barbijo. Foto Christopher Michel, Flickr.com.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

La conservación de la flora y la fauna en ecosistemas terrestres antárticos.

ocurrido durante las *glaciaciones pleistocenas*. Desde el plioceno se halla cubierto de hielo, el cual alcanzó su máxima extensión hace cinco millones de años.

La Antártida es el continente que tiene mayor altura media: 2050m sobre el nivel del mar. Hay evidencias que llevan a pensar que, en realidad, debajo del hielo yacen dos continentes: la Antártida oriental, constituida por *rocas precámbricas* y *paleozoicas*, con un relieve general bajo pero con largas cadenas montañosas costeras cuyos picos se elevan a más de 3000m, y la occidental, formada por *plegamientos mesozoicos* y *cenozoicos*, que abarca la península Antártica y sus islas adyacentes, cuyas montañas son una continuación de los Andes denominada Antartandes.

El clima antártico está determinado por factores como la baja absorción de los rayos solares, la altura, la latitud, la continentalidad y los vientos. Las temperaturas medias de enero oscilan entre 0,4°C, en la costa, y -40°C, en el interior del continente; las de julio, respectivamente entre -23°C y -68°C. Es un clima muy seco, sobre todo lejos del mar, donde las precipitaciones son muy escasas y solo de nieve: en la Antártida continental llueve, en promedio, 140mm anuales, es decir, menos que en el Sahara. En la Antártida marítima e insular, incluyendo la península Antártica, la humedad es mayor y, ocasionalmente, llueve.

Solo el 4% del territorio antártico alberga vida vegetal, a excepción de algunas algas, capaces de existir en la nieve. Casi todos los seres vivos están en una franja relativamente estrecha, que se extiende a lo largo de la costa y llega no más que unos pocos cientos de metros hacia el interior. En dicha franja se producen los *intercambios bióticos* de materia y energía entre las comunidades acuáticas y terrestres, por vía de las *relaciones tróficas* de ambas. Allí está la mayor biodiversidad, puesto que se trata de lugares libres de hielo y nieve en el verano, que la vegetación ha podido colonizar, y donde, además, se encuentran las principales formaciones vegetales y áreas de nidificación, cría y descanso de avifauna y mamíferos marinos. Bajo la influencia de diversos factores, como los edáficos y climáticos, en tales lugares se advierten una importante heterogeneidad espacial y temporal y una notable riqueza de especies vegetales y animales, lo que llevaría a concluir que no es razonable calificar a los antárticos de ecosistemas relativamente simples, como se ha sugerido alguna vez.



Pingüino Papúa. Foto Rita Willaert, Flickr.com.

En diversas zonas de la Antártida marítima, sobre todo en la parte occidental de la península Antártica y sus islas, hay pequeñas áreas que deben considerarse de alta biodiversidad por comparación con la Antártica continental. El fuerte contraste entre la riqueza de especies de una y otra zona puede ejemplificarse comparando las observaciones expuestas más adelante para Punta Cierva con las realizadas en un sitio de especial interés científico en la península Bailey (66°17'S, 100°32'E), juzgado como uno de los lugares de la Antártida continental donde la vegetación está excepcionalmente desarrollada, en el cual se identificaron tres especies de musgos, una de hepática y veinticinco de líquenes. Los lugares en los que se advierte una compleja vida vegetal y animal son importantes, por su biodiversidad, para la conservación de la biota antártica. Si bien son numerosos, su fragilidad es considerable, por su pequeño tamaño, su relativamente fácil acceso y por ser adecuados para el asentamiento humano, en especial el relacionado con actividades turísticas, que están tomando gran auge en los últimos años.

Punta Cierva es uno de esos sitios con gran diversidad de especies, de particular interés para la realización de estudios ecológicos. Está en la costa de Danco, en el oeste de la península Antártica, a los 64°9'S. Su aspecto general se asemeja al de la cordillera patagónica. El área está limitada, por el nordeste, por un pequeño glaciar de valle, llamado Mamut, que desemboca, junto con otros dos glaciares (el Grande y el Chico), en la caleta Cierva. Se destacan tres picos: el cerro Mojón, de 280m; el Escombrera, de 323m, y el Chato, de 600m, cuyas ubicaciones configuran una zona de declive,



Cormorán imperial. Foto Liam Quinn, Flickr.com.

**Géneros de líquenes relevados en Punta Cierva** (por N Scutari, FCEYN, 1991)

**Crustosos**
*Acarospora* (1)
*Buellia* (7)
*Caloplaca* (7)
*Candelariella* (1)
*Leconora* s.l. (4)
*Lecidea* s.l. (4-5)
*Ochrolechia* (1)
*Rinodina* (2)
*Rhizocarpon* (3)

**Foliosos**
*Candelaria* (1)
*Collema?* (1)
*Peltigera* (2)
*Parmelia* s.l. (1?)
*Physcia* (3?)
*Umbilicaria* (5?)
*Xanthoparmelia* (1)
*Xanthoria* (1)

**Escamosos**
*Psoroma* (2?)

**Fruticosos**
*Cladina* (1)
*Cladonia* (11?)
*Sphaerophorus* (1)
*Stereocaulon* (2)
*Pseudoephebe* (1)
*Usnea* (5)

El número entre paréntesis indica la cantidad de especies.

**Hongos de la clase *Basidyomicetes***
(relevados por R Singer y A Corte, 1962)

Familia: TRICHLOLOMATACEAE
Género: OMPHALINA
*Omphalina antarctica*
*Omphalina sp.*
Familia: CORTINARIACEAE
Género: GALERINA
*Galerina antarctica*
*Galerina perrara*
*Galerina longincua*
*Galerina moelleri*

**Musgos relevados en Punta Cierva** (por O Benítez, Inst. Ant., 1993)

*Andreaea depressinervis* Card.
*Andreaea regularis* C. Muell.
*Bartramia patens* Brid.
*Bryum cf. argenteum* Hedw.
*Calliergidium austro-sarmentosum* (C Muell) Bartr.
*Chorisodontium aciphyllum* (Hook & Wils) Broth.
*Dicranoweisia antarctica?* (C. Muell) Kindb
*Dicranoweisia grimmiacea* (C. Muell) Broth
*Ditrichum sp.*
*Drepanocladus uncinatus* (Hedw.) Warnst.
*Grimmia cf. grisea* Card.
*Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb.
*Pohlia nutans* (Hedw) Lindb.
*Polytrichum alpestre* Hopp.
*Polytrichum alpinum* Hedw.
*Polytrichum piliferrum* Hedw.
*Tortula princeps var. princeps* De Not.
*Tortula princes var. conferta* De Not.

**Hongos asociados con suelo rizosférico de *Deschampsia antarctica*, *Colobanhus quitensis* o *Poa sp.***
**Relevados en Punta Cierva** (por N Cabello, FCYN, 1989)

*Acremonium furcatum**
*Acremonium fusidiodies**
*Acremonium sclerotigenum**
*Acrospeira sp.**
*Geomyces pannorum*
*Gliomastix murorum**
*Micelio dematiiaceo esteril*
*Martierella alpina**
*Martierella humilis**
*Martierella parvispora**
*Mucor hiemalis*
*Penicillium steckii**
*Penicillium thomii*
*Phialophora sp.**
*Phoma sp.**
*Rhizoctonia sp.**
*Trichoderma sp.*
*Verticillium psalliotae**

* Especie citada por primera vez para la Antártida.

**Aves presentes en Punta Cierva durante el verano**
(relevadas por R Quintana y J Merler, FCEYN, 1992)

| | |
|---|---|
| Pingüino de barbijo | *Pygoscelis antarctica*$^{AN}$ |
| Pingüino de Adelia | *Pygoscelis adeliae*$^{RP}$ |
| Pingüino papúa | *Pygoscelis papua*$^{AN}$ |
| Peterel damero | *Daption capense*$^{RN}$ |
| Petrel de Wilson | *Oceanites oceanicus*$^{AN}$ |
| Cormorán imperial | *Phalacrocorax atriceps*$^{FN}$ |
| Paloma antártica | *Chionis alba*$^{SN}$ |
| Skúa antártico | *Catharacta maccormicki*$^{AN}$ |
| Skúa grande | *Catharacta lombergi*$^{AN}$ |
| Gaviota cocinera | *Larus dominicanus*$^{FN}$ |
| Gaviotín antártico | *Sterna vittata*$^{SN}$ |
| Petrel blanco | *Pagodroma nivea*$^{RP}$ |

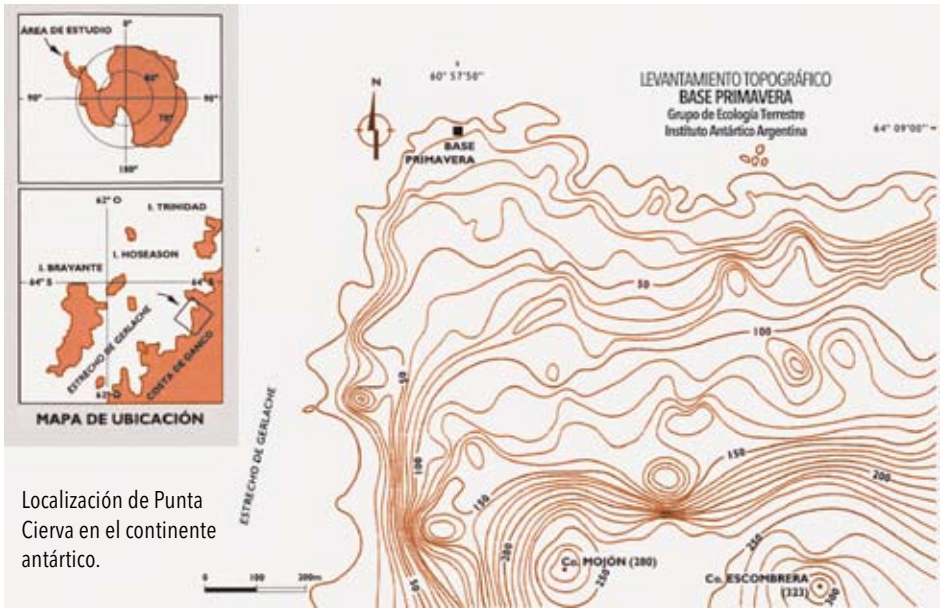
$^{N}$nidifica; $^{P}$de paso; $^{R}$rara; $^{S}$escasa; $^{F}$freucente; $^{A}$abundante.

**Artrópodos asociados al ecosistema terreste de Punta Cierva**
(relevados por A Pettovello, FCEYN, 1993)

***PHYLUM*** *Arthropoda*

SUBPHYLLUM *Chelicerata*
CLASE *Arachnida*
ORDEN *Acari*

SUBPHYLLUM *Mandibulata*
CLASE *Insecta*
SUBCLASE *Apterygota*
ORDEN *Collembola*
SUBORDEN *Arthropleona*
SECCIÓN *Poduromorpha* (1 especie)
SECCIÓN *Entomobryomorpha* (1 especie)
ORDEN *Diplura* (1 especie)
SUBCLASE *Pterygota*
ORDEN *Diptera* (1 especie)




Localización de Punta Cierva en el continente antártico.

con pendiente fuerte hacia el sur, cubierta permanentemente por nieve, y otra, con una extensión aproximada de 3km$^2$, de pendiente moderada a suave hacia el norte, libre de nieve durante el verano. En esta se asientan las comunidades bióticas incluyendo una importante vegetación –que cubre de modo continuo buena parte del terreno con una asociación de gramíneas, briófitas y líquenes asociados a estas– y numerosas especies de aves (entre ellas una colonia de pingüinos de vincha o papúa, *Pygoscelis papua*). La complejidad de las comunidades vegetales es notable, considerando la latitud del lugar. Forman también parte del área protegida varias islas de la caleta Cierva, que mantienen colonias de pingüinos de barbijo (*Pygoscelis antarctica*) y cormoranes imperiales (*Phalacrocora atriceps*), inexistentes en la porción continental de Punta Cierva.

Los relevamientos de flora y fauna terrestres realizados en Punta Cierva por diferentes investigadores descubrieron la presencia de 68 líquenes y 18 musgos, sobre un total de 119 de los primeros y 44 de los segundos relevados en el conjunto de la Antártida marítima; es decir, respectivamente, el 57% y el 41% de esos totales. Se hallaron también las dos plantas vasculares ya encontradas en la Antártida, *Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*, además de un pequeño parche de *Poa sp.*, planta traída en tiempos recientes de Tierra del Fuego, y dos especies de hepática, *Marchantia berteroana* y *Barbilophozia hatcherii*. Los efímeros arroyos o chorrillos y las pequeñas charcas están usualmente colonizados por un alga macroscópica, *Prasciola crispa*, asociada con nutrientes provenientes de las áreas de nidificación de aves. La única laguna y otros pequeños cuerpos de agua albergan variadas algas y microorganismos de agua dulce: en dos de ellos se constató la presencia de *Branchinecta gainii*, un crustáceo macroscópico. Se hallaron dieciocho especies de hongos, asociadas con suelo rizosférico, de *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis* y *Poa sp.*, trece de las cuales (72%) no habían sido citadas antes en la literatura científica sobre la Antártida. Las pertenecientes a taxones que no pudieron definirse en el nivel específico serían nuevas para la ciencia. Del mismo modo, se identificaron seis hongos de la clase de los *Basidiomycetes*.

Asociada con esta vegetación vive una rica fauna de invertebrados terrestres, entre los cuales se destacan los pertenecientes a los órdenes *Collembola*, *Acari*, *Diplura* y *Diptera*. Se han reconocido también trece especies de aves; las más numerosas son pingüinos pigoscélidos (*Pygoscelis papua* y *P. Antarctica*), skúas (*Catharacta lombergii* y *C. maccormicki*) y petreles de Wilson (*Oceanites oceanicus*). La mayor predación de las colonias de pingüinos es causada por los skúas en tierra y los leopardos marinos (*Hydruga leptonix*) en el agua. Los mamíferos marinos más abundantes son las focas de Weddell (*Leptonychotes weddelli*), la focas cangrejeras (*Lobodon carcinophagus*) y los leopardos marinos. Las focas, así como los lobos marinos (*Arctocephallus gazella*), descansan durante el verano en las playas de canto rodado; en cambio, los leopardos marinos lo hacen sobre los témpanos de la caleta Cierva y no utilizan el ecosistema terrestre. En el litoral marítimo, muy variados en flora y fauna, se encontraron desde algas y pequeños crustáceos (entre estos, grandes concentraciones de kril, *Euphausia spp.*) hasta ballenas, sobre todo las minke (*Balaenoptera acutorostrata*), jorobadas (*Megaptera novaengliae*) y orcas (*Urcinus orca*).

Desde 1989, el grupo de investigación que integran los autores analiza el ecosistema terrestre de Punta Cier-



Paloma antártica. Foto Samuel Blanc, Wikimedia Commons.

va, con el fin de conocer la relación entre los condicionantes ambientales y la abundancia y distribución de la flora y la fauna. Se trata de un estudio de sumo interés, entre otras razones, porque permite comparar un ecosistema terrestre antártico muy diversificado y en condiciones casi prístinas con otros alterados por años de ocupación humana. Los datos que se están obteniendo permitirán elaborar estrategias para la conservación del área, cuyo valor como reserva de biodiversidad no solo está dado por la representatividad de sus especies vegetales y animales sino también porque el impacto de la acción humana ha sido limitado. La zona ha sido declarada, en el marco del tratado antártico, *sitio de especial interés científico*, lo que significa que se ha formulado un plan de investigación y se han establecido restricciones de acceso, limitado a la actividad científica; por esta condición, el turismo se encuentra excluido.

Mucho se ha avanzado en el conocimiento de la biodiversidad del ecosistema antártico desde que, en 1843, el médico y botánico británico Joseph Dalton Hooker, que tomó parte de la expedición de James Ross a esa región del planeta, confeccionara una corta lista de especies vegetales, que incluía nueve líquenes, cinco musgos y cuatro algas. Hoy se reconoce la importancia de los lugares cuyas características ambientales permiten la existencia de una gran diversidad biótica, lo que fue tomado en cuenta en el tratado antártico por las disposiciones orientadas a la conservación de la flora y la fauna, en especial, por la creación de las figuras de *sitios de especial interés científico* y *zonas especialmente protegidas*.

El problema que se plantea es qué estrategia elegir para lograr, en el largo plazo, la conservación de las áreas protegidas mediante figuras jurídicas. Los planes que se tracen deberían tener en cuenta varias consideraciones. Por un parte, el posible aislamiento biogeográfico de los ecosistemas terrestres antárticos podría influir sobre los procesos de recolonización de especies. Además, si bien actualmente



Foto Martha de Jong-Lantink, Flickr.com.



Hongos *Basidiomycetes*.

existe alguna controversia acerca de cuán frágiles serían tales ecosistemas, no se puede desconocer que son sensibles a acciones que los disturben y que, efectivamente, están alterados por la presencia humana. Por ejemplo, la construcción de la base Primavera, a fines de los años 50, podría haber causado la desaparición o disminución de algunas colonias de aves de Punta Cierva, como las de petreles gigantes (*Macronctes giganteus*) y gaviotines antárticos (*Sterna vittata*), y la retracción de los sitios de nidificación de pingüinos. Además, los sistemas antárticos tienen baja capacidad de recuperación luego de un disturbio. Estudios realizados en la Antártida marítima demostraron que la formación de una capa de musgo de pocos centímetros de espesor demanda cientos de años. De ahí la conveniencia de que toda actividad que deba tener lugar en la Antártida esté precedida por un análisis de sus efectos sobre el medio natural, habitualmente llamado *estudio de impacto ambiental*, que determine los costos para el ambiente y considere alternativas.

Es ciertamente aconsejable definir nuevos sitios de especial interés científicos, similares a Punta Cierva, porque solo con un conjunto de sitios protegidos podrá asegurarse la preservación de los ecosistemas, a los cuales, según el pensamiento más reciente, debe apuntar una estrategia efectiva para conservar la biodiversidad, y no a las especies tomadas en forma aislada, pues, en última instancia, solo así se garantizaría la preservación de estas. Por otro lado, los esfuerzos que se hagan por reducir pérdidas de biodiversidad serían más eficaces si, sobre todo, apuntaran a mantener la *resiliencia del ecosistema* ante disturbios.

Es, en conclusión, importante analizar las relaciones funcionales entre la diversidad biológica y la capacidad de persistencia en los ecosistemas antárticos, con el fin de asegurarse de que, en el largo plazo, la calidad ambiental se mantenga en el continente que ha sido menos afectado por la acción del hombre. CH

## GLOSARIO

**Biodiversidad.** Heterogeneidad biótica.

**Biota.** Conjunto de todos los seres vivos cuyo hábitat es una determinada zona o región.

**Biótico.** Perteneciente o relativo a los seres vivos.

***Cenozoico*** (de *kenós* –καιρός– nuevo, y *zôon* –ζωον–, animal) **o terciario.** tercera de las cuatro grandes divisiones que clásicamente se hacen de la historia geológica de la Tierra posterior al precámbrico. Se inició hace unos sesenta y cinco millones de años y duró unos sesenta millones. Sus divisiones son los períodos Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno.

***Edáfico*** (de *édafos* –έδαφος–, suelo). Perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a la vida de las plantas.

***Glaciaciones pleistocenas.*** Grandes invasiones de hielo que acontecieron durante el Pleistoceno. Se han comprobado cinco glaciaciones, con sus correspondientes períodos interglaciares en que el clima era más benigno; la última terminó hace uno diez mil años.

***Gondwana*** (del nombre del país de la India central habitado entre los siglos XII y XVIII por los *gondos*). Continente hipotético que reunía en un solo bloque, hace unos doscientos millones de años, las tierras que hoy constituyen Australia, el sur y el sudoeste de Asia, Madagascar, África, Sudamérica y la Antártida. El resto de las tierras formaban otro megacontinente llamado *Laurasia* y ambos habrían resultado del desmembramiento del supercontinente original, *Pangea*.

**Kril** (del noruego *kril*, pequeño pez). Crustáceos del orden *Euphausiacea* que integran el zooplancton y constituyen el principal alimento de las ballenas sin dientes (verdaderas ballenas o ballenas con barbas, del suborden *Mysticeti* o mistacocetos).

***Mesozoico*** (del *mésos* –μέσος–, medio, y *zôon* –ζωον –, animal) **o *secundario.*** Segunda de las cuatro divisiones que clásicamente se hacen de la historia geológica de la Tierra posterior al Precámbrico. Se inició hace unos doscientos cincuenta millones de años y duró unos ciento ochenta y cinco millones. Sus divisiones son los períodos Triásico, Jurásico y Cretásico.

***Paleozoico*** (de *palaiós* –παλαιόν–, antiguo, y *zôon* –ζωον–, animal) **o *primario.*** Primera de las cuatro divisiones de la historia geológica de la Tierra posterior al precámbrico. Se inició hace unos seiscientos millones de años y duró unos trescientos cincuenta millones. Sus divisiones son los períodos cámbrico, silúrico, devónico, carbonífero y pérmico.

***Pleistoceno*** (de *plêistos* –πλέστος–, muy numeroso, y *kainós* –καινός–, reciente). Lapso comprendido desde hace alrededor de cinco millones de años hasta hace unos diez mil, que constituye el período más antiguo de los dos en que se divide en Cuaternario o Antropozoico, la era geológica presente. La división más reciente del Cuaternario es el Holoceno y va desde hace unos diez mil años hasta hoy.

***Plioceno*** (de *pleîon* –πλειον–, más, y *kainós* – καινός –, reciente). Último período de la Era Terciaria, comprendido entre el mioceno y el cuaternario, desde hace unos diez millones de años hasta hace unos cinco millones.

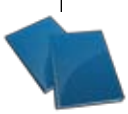
***Relaciones tróficas*** (de *trofós* –τροφός–, alimentario). Se refiere a la cadena alimentaria de los seres vivos. Las plantas forman un primer nivel trófico, los herbívoros un segundo y los carnívoros un tercero, pero todos se hallan interrelacionados.

***Resiliencia*** (de *resilire*, rebotar). Es resistencia al cambio o la deformación y capacidad de volver al estado original.

***Rocas precámbricas.*** Formaciones geológicas anteriores al cámbrico (de *Cambria*, nombre latino de Gales), el más antiguo de los cinco períodos en que se divide el paleozoico, hace entre unos seiscientos y unos quinientos millones de años.

*Véase una escala de tiempo geológico en* Ciencia Hoy, *29: 25, 1995.*

## LECTURAS SUGERIDAS




**HOLDGATE MW**, 1964, 'Terrestrial Ecology in the Maritime Antarctic', en CARRICK, R. *et al.*, (eds.), *Biologie Antarctique*, Hermann, París, pp. 181-194.

**HOOKER JD**, 1847, *The Botany of the Antarctic Voyage of HMS Discovery, Erebus and Terror, in the years 1839-1843, under the commmand of Sir James Clark Ross*, Reeves Brothers, Londres, 1844-1860, 6 vols.

**LAWS R**, 1989, *Antarctica, the Last Frontier*, Boxtree, Londres.

Ciencia Hoy volumen 22 número 131 febrero - marzo 2013

**Nancy Correa**
Servicio de Hidrografía Naval

**Pablo S Almada**
Facultad de Ciencias Exactas
y Naturales, UBA

# Agua de lastre y especies exóticas

## Especies exóticas y su introducción en los ecosistemas

El término *especies exóticas* es antónimo de *especies autóctonas*. Estas, que comprenden desde los microorganismos hasta las plantas y los animales superiores, son las nativas de cada ecosistema, las que forman parte natural de él y participan del equilibrio de relaciones entre todos sus integrantes. Las especies exóticas o introducidas, en cambio, están fuera de esa trama de relaciones, a la que necesitan integrarse a su llegada (o desaparecer) y a la que pueden llegar a perturbar notablemente.

Muchos animales y plantas son llevados de un lugar a otro deliberadamente por los seres humanos. Eso sucede sobre todo con las especies domésticas, tanto las plantas cultivadas para fines agrícolas o forestales y las usadas en jardinería, como la gama de ovinos, bovinos y equinos de interés ganadero, perros, abejas y mucho más. En la Argentina se han importado del hemisferio norte, con fines deportivos, truchas, salmones, antílopes, ciervos y jabalíes, y se los ha liberado al medio natural.

Sin embargo, un alto porcentaje de los organismos exóticos que ingresaron en los ecosistemas nativos del país no fue introducido ex profeso sino accidentalmente. Llegaron como polizones, por así decirlo, ocultos en mercaderías y sus embalajes, en el equipaje de viajeros, o en el cuerpo mismo de personas y animales domésticos. En otros casos su introducción fue producto de haber escapado de estaciones de cría, zoológicos, laboratorios, acuarios, etcétera. Hay raros casos de arribos por medios naturales, como pájaros africanos transportados a América por una tormenta.

Para los organismos acuáticos, actualmente una de las vías más comunes de entrada es el agua de lastre de los

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

El agua que los navíos embarcan como lastre cuando deben atravesar el océano sin carga suele contener organismos vivos. Al ser descargada aquella, estos ingresan en un medio al que son ajenos y pueden convertirse en plagas.

barcos. Cuando un buque sale vacío o semivacío de un puerto, para compensar la falta del peso de la carga, que haría peligrar su estabilidad en altamar, embarca agua en tanques especialmente diseñados para ese propósito. Al llegar al destino en que debe tomar carga, elimina el agua de lastre, y con ella salen al medio los organismos que puede contener, provenientes del puerto de origen. Se estima que en el mundo se movilizan entre 3000 y 5000 millones de toneladas de agua de lastre por año, y que transportan diariamente de manera involuntaria individuos de unas 7000 especies de animales y plantas.

Este mecanismo de dispersión de especies, que no existía cuando se usaba lastre sólido (por ejemplo, rocas o ladrillos), fue aumentando exponencialmente con el incremento del comercio internacional. En la bahía de San Francisco, en California, por ejemplo, se han registrado hasta unas 450 especies introducidas. Se estima que allí el ritmo de las introducciones creció de una nueva especie cada 55 semanas entre 1851 y 1960, a una cada 14 semanas entre 1961 y 1995.

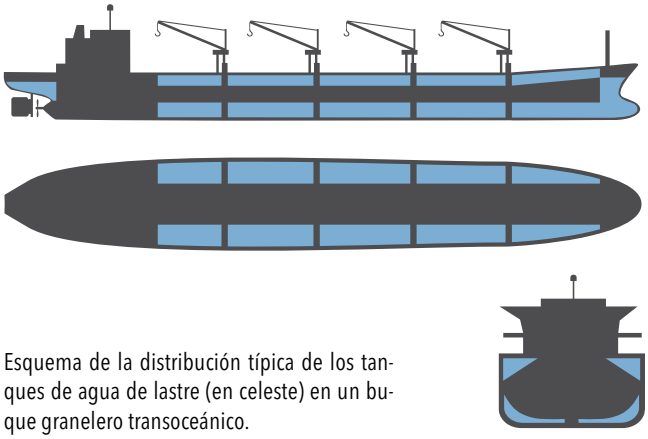
## Trastornos causados por las especies exóticas

Si bien la mayoría de los organismos embarcados con el agua de lastre muere antes de llegar a destino, algunos sobreviven al viaje. De estos, muchos pertenecen a especies que no logran adaptarse a las condiciones del nuevo lugar y desaparecen rápidamente. Los que se adaptan pueden generar poblaciones estables que se integran sin causar mayores alteraciones en la mencionada trama de relaciones del ecosistema. Pero esporádicamente llegan individuos de especies que, por diversas razones, encuentran el nuevo lugar particularmente favorable para multiplicarse, y lo hacen con tal éxito y generan tal cantidad de descendientes que dominan, por no decir monopolizan, el espacio y los recursos disponibles. En tales casos, su presencia provoca modificaciones en las condiciones de vida de la mayoría de las especies locales. Según desde qué punto de vista se las mire, esas modificaciones no necesariamente resultan adversas al medio nativo, pero las hay que generan muy importantes consecuencias negativas.

Alrededor de 1990, un mejillón de agua dulce (*Limnoperna fortunei*) proveniente del sudeste de Asia apareció en las costas del Río de la Plata. Se presume que sus larvas fueron traídas en el agua de lastre de algún buque. Quince años más tarde ese mejillón estaba presente en Brasil, Uruguay, Bolivia y Paraguay, y se lo podía ver agolpado en costas con densidades de hasta 200.000 individuos por metro cuadrado. Estudios recientes indican que la presencia masiva de esta nueva especie aumenta la diver-



Algunas especies introducidas en la Argentina los últimos veinte años por agua de lastre. De arriba a abajo: 1. Mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*), foto Paraguay Biodiversidad. 2. Alga japonesa (*Undaria pinnatifida*), foto Ignacio Bárbara, AlgaeBase. 3. Cangrejo verde (*Carcinus maenas*), foto Hans Hillewaert, Wikimedia Commons. 4. Caracol asiático (*Rapana venosa*), Foto Jiří Novák, BioLib.cz.



Esquema de la distribución típica de los tanques de agua de lastre (en celeste) en un buque granelero transoceánico.

sidad y la cantidad de organismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua que habita, disminuye la turbidez del agua, favorece la presencia de plantas y aves acuáticas, y constituye una importante fuente de alimentación para peces locales. Pero para instalaciones industriales y centrales generadoras de electricidad, incluidas las nucleares, que utilizan agua de ríos y lagos, es un flagelo, porque tapona filtros y cañerías. Además, su actividad favorece el desarrollo de algas tóxicas en lagos y embalses.

Hay centenares de ejemplos de este tipo, algunos muy dramáticos. En la década de 1980, la pesquería de la anchoa europea (*Engraulis encrasicolus*) colapsó en el Mar Negro y dejó sin trabajo a miles de pescadores y operarios. Si bien dicha pesquería ya estaba afectada por la sobreexplotación, la causa del colapso fue el ingreso vía agua de lastre y la proliferación descontrolada de un pequeño organismo ctenóforo con el nombre científico de *Mnemiopsis leidyi*, un invertebrado de consistencia gelatinosa, oriundo de aguas costeras del Atlántico norteamericano, que se alimenta de larvas de peces y otros animales integrantes de la dieta de la anchoa. Los ctenóforos son una categoría de invertebrados distinta de los celenterados o medusas, aunque a veces se aplica a ellos por error este último nombre. Curiosamente, unos años más tarde, también con agua de lastre, ingresó en el Mar Negro otra especie de ctenóforo (*Beroe ovata*) que se alimenta del primero, proviene de la misma región que este, redujo sus poblaciones y permitió el restablecimiento de la pesquería.

## Formas de mitigar los trastornos

En la década de 1990 comenzó a tomarse conciencia de que la carga y la descarga de agua de lastre constituía un peligro latente para los ecosistemas acuáticos del mundo. Como resultado, la Organización Marítima Internacional (OMI) elaboró una serie de recomendaciones orientadas a mitigar las consecuencias de esa práctica del tráfico marítimo. La principal medida recomendada es realizar un recambio del agua de lastre en alta mar, con el objeto de evitar el traslado de especies costeras o de agua dulce de los puertos de origen a los de destino. La justificación del procedimiento reside en que los organismos que habitan el océano abierto no sobreviven en aguas costeras o dulces, y viceversa. Por ende los organismos costeros y de agua dulce no representan un peligro para el océano abierto, mientras que las especies del océano abierto no son riesgosas para los ambientes costeros y de agua dulce.

En concordancia con estas recomendaciones, la Prefectura Naval Argentina emitió un par de ordenanzas (7/98 y 12/98) que, entre otras cosas, regulan la descarga de agua de lastre en los puertos de la cuenca del Plata y en trece áreas protegidas a lo largo de la costa marítima argentina. Como cualquier otra regla, para garantizar su cumplimiento estas normas requieren que exista fiscalización.

## Un estudio de cinco puertos argentinos

Entre julio de 2007 y diciembre de 2008 se llevó a cabo en la Argentina un estudio orientado a evaluar el cumplimiento de las normas de la OMI y de la legislación argentina. Consistió en la fiscalización de los buques que arribaron a los puertos de Dock Sud (Buenos Aires), San Antonio Este (Río Negro), Puerto Madryn



*Mnemiopsis leidyi*, pequeño invertebrado gelatinoso introducido involuntariamente en el Mar Negro por agua de lastre y responsable allí del colapso de las pesquerías de anchoa europea. Foto Steven G Johnson, tomada en el Boston Aquarium, Wikipedia Commons.

(Chubut), Puerto Deseado (Santa Cruz) y Ushuaia (Tierra del Fuego).

Recibieron en ese lapso embarcaciones provenientes de Algeciras y Gibraltar, España; Amberes, Bélgica; Gdynia, Polonia; Kaliningrado y San Petersburgo, Rusia; Klaipèda, Lituania; Portsmouth, Reino Unido; Rotterdam y Vlissingen, Holanda; y Zeebrugge, Bélgica, todos en Europa; Casablanca, Marruecos; Dakar, Senegal; Lagos y Port Harcourt, Nigeria; Las Palmas, islas Canarias; Lomé, Togo; Matadi, República Democrática del Congo; Pointe Noire, Congo; y Warri, Nigeria, todos en África; Willmington, Delaware, Estados Unidos; St John's, Antigua y Barbuda; Bridgetown, Barbados; Panamá; Auckland, Nueva Zelanda; Rota, Turquía y Jedda, Arabia Saudita; más, del Brasil, Aratu, Bahía; Imbituba y San Francisco del Sur, Santa Catalina; Paranaguá, Paraná; Río de Janeiro; Río Grande y Tramandai, Río Grande del Sur; Salvador, Bahía; Santos, San Pablo; Villa del Conde, Pará; y Vitoria, Espíritu Santo; de Chile, Puerto Williams, Punta Arenas, Quellón, San Antonio, San Vicente y Valparaíso; Montevideo; y los puertos argentinos de Bahía Blanca, Campana, Mar del Plata, San Pedro y Zárate, además de Puerto Argentino, en las Malvinas.

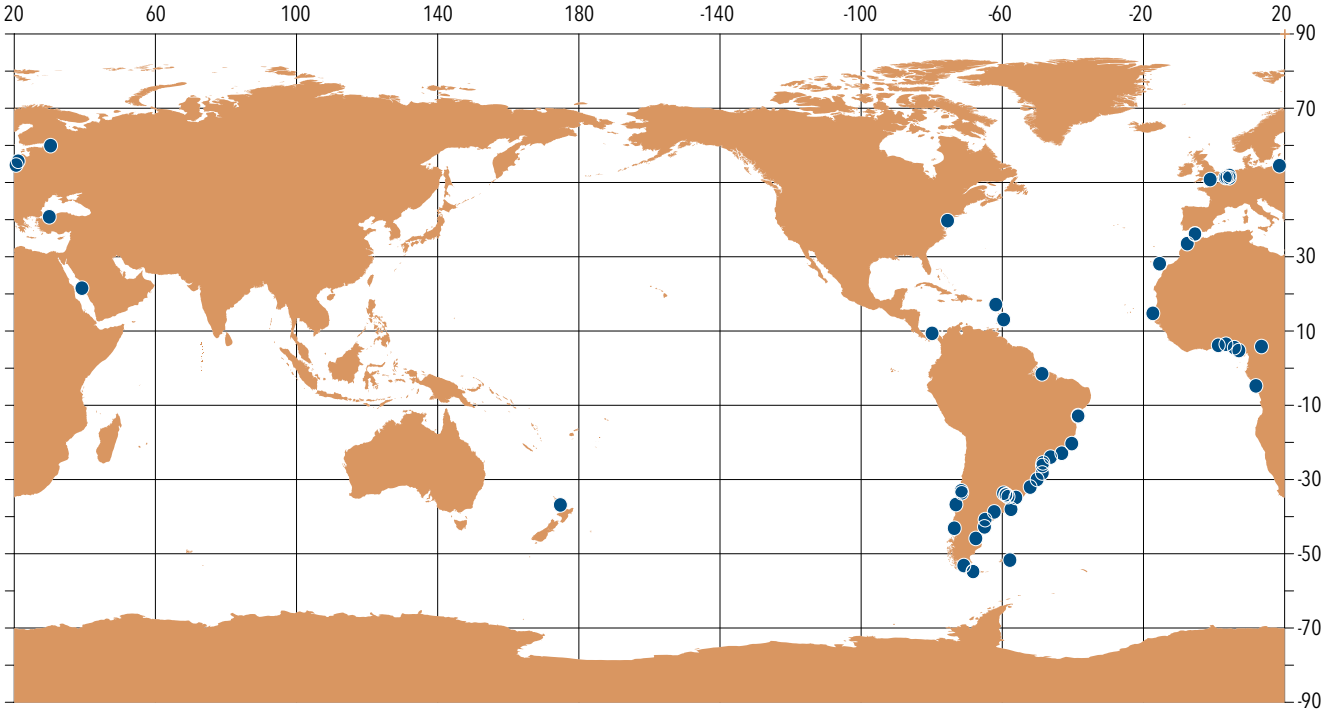
Los relevamientos de campo del estudio estuvieron a cargo de personal de la Prefectura Naval, mientras que los análisis biológicos fueron realizados por una decena de especialistas de diferentes instituciones.

Se analizaron las planillas de manejo de agua de lastre de los buques, en las cuales se detalla, para cada uno de los tanques (puede haber más de veinte por embarcación), dónde y cuándo se cargó el agua, dónde, cómo y cuándo se hizo el recambio, y dónde y cuándo se realizó la descarga. Además se tomaron muestras de agua de lastre de tanques seleccionados al azar para verificar qué organismos contenían, determinar si eran de agua dulce o marinos, costeros o de mar abierto, y para medir la salinidad del agua.

La salinidad del agua constituye un buen indicador de su origen, ya que en el océano abierto es normalmente mayor que 30 partes por mil (30 gramos de sal por litro de agua), mientras que en las aguas costeras puede ser considerablemente menor, y en las aguas interiores o dulces de ríos y lagos no supera generalmente las 4 partes por mil. En consecuencia, si un buque consigna en sus planillas que el agua de lastre que planea descargar en el puerto argentino fue reemplazada en altamar, pero su salinidad es inferior a 30 partes por mil, es señal de que el agua no fue cambiada, o que el cambio no se realizó de manera adecuada de acuerdo con las recomendaciones de la OMI.

En total el estudio fiscalizó a 194 buques comerciales para cumplir con los siguientes objetivos:

- Caracterizar del tráfico comercial de los puertos indicados y relevar el lugar de origen de los buques entrantes.
- Evaluar el grado de conocimiento de las tripulaciones tanto de las recomendaciones la OMI




Mapa que indica los puertos de origen nombrados en el texto de los viajes de buques comerciales que operaron con cinco puertos argentinos durante el período julio de 2007 a diciembre de 2008.

sobre agua de lastre como de las regulaciones argentinas en la materia.
- Analizar la documentación relacionada con el manejo del agua de lastre, comprobar el cumplimiento de las normas y verificar la utilidad de la documentación para constatar los movimientos del agua de lastre.
- Analizar la salinidad del agua de los tanques de lastre.
- Determinar los tipos de organismos vivos y muertos presentes en los tanques de lastre y establecer la presencia de especies potencialmente peligrosas para los ecosistemas locales.

El estudio indicó que en la mayor parte de los buques las tripulaciones estaban al tanto de las normas de la OMI y tenían a bordo una copia de ellas. Pero en más del 70% de los navíos se desconocían las normas argentinas y carecían de copias de ellas a bordo.

El 77% de los buques inspeccionados (149) llevaba algún tipo de registro de movimientos del agua de lastre, pero en solo 56 casos la información registrada permitía deducir inequívocamente el origen del agua; 138 buques carecían de esos registros, o llevaban planillas incompletas, desactualizadas, con información errónea o hasta vacías. En consecuencia, en el 71% de las inspecciones la documentación revisada no ofrecía información de utilidad para analizar el origen del agua de lastre.

Se tomaron muestras para determinar la salinidad del agua de lastre contenida en 261 tanques. Para más del 60% de ellos fue imposible establecer el origen del agua. Para 73 tanques se logró establecer el origen del agua y su salinidad. La gran mayoría de esos casos presentaron inconsistencias severas, incluyendo salinidades inferiores a 30 partes por mil para tanques supuestamente llenados en altamar, sitios de recambio de agua de lastre demasiado próximos a la costa o fuera del derrotero del buque, etcétera.

De 115 muestras biológicas obtenidas de diferentes tanques, 24 no contuvieron organismos identificables. En cada una de las restantes 91 se encontraron entre 1 y 103 especies diferentes, generalmente vivas y en buen estado de salud en el momento de su recolección. En total se registraron 408 especies de plantas y animales acuáticos, tanto marinos como de agua dulce. De estos, 3 especies marinas –dos algas unicelulares y un crustáceo microscópico– nunca antes habían sido registradas en aguas argentinas y podrían constituir nuevas introducciones.

Estos resultados muestran que en la fecha del estudio el grado de cumplimiento de las normas locales e internacionales sobre manejo de agua de lastre era sumamente bajo. Las labores de manejo del agua de lastre y su registro detallado requieren de las tripulaciones un esfuerzo que, si pueden, procuran evitar. La señal más clara de que inspecciones periódicas pueden mejorar el cumplimiento de las normas es que en varios buques inspeccionados más de una vez –en el mismo o en diferentes puertos–, en el lapso de dieciocho meses que abarcó el estudio, se apreciaron con cada nueva entrada a puerto evidentes adelantos en el buen manejo del agua de lastre y de los correspondientes registros. Se puede decir que los controles realizados por la Prefectura contribuyeron a mejorar la respuesta de las tripulaciones.

## La situación actual

El estudio comentado fue el punto de partida de una serie de acciones llevadas a cabo en varios puertos del país. Una de ellas fue capacitar a personal de la Prefectura en el muestreo de agua de lastre y en cuestiones de seguridad y protección ambiental. Eso se llevó a cabo en todos los puertos del Paraná y del Plata, además de los puertos marítimos comerciales expuestos a recibir especies exóticas. La Prefectura adquirió equipos de medición de salinidad para quince puertos clave, con el fin de posibilitar inspecciones rutinarias in situ por parte de su personal, cosa que este efectúa regularmente en la actualidad.

Como resultado de estos controles, durante 2011 se impusieron sanciones a media docena de buques comerciales que no cumplían con las disposiciones de manejo de agua de lastre, incluyendo la prohibición de entrar en puerto o la exigencia de regresar a altamar para realizar el cambio del agua de lastre. Por otro lado, se diseñaron formularios de inspección para obtener datos que permitan confeccionar estadísticas e identificar riesgo en los puertos.

En 2004 la OMI instrumentó el Convenio Internacional de Control y Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos. Para su entrada en vigor se requiere que sea ratificado por lo menos por treinta países cuyos buques representen más del 35% del tonelaje total de la flota mercante mundial (los 35 signatarios actuales representan el 30% de ese tonelaje mundial; en la Argentina, el proyecto de ley ratificatoria está en trámite en el Congreso). El ritmo de adhesiones indica como muy probable que el convenio entre en vigencia hacia fines de 2013, y haga así obligatorio cumplir con normas estrictas en materia de riesgo de dispersión de especies por el agua de lastre.

Los puertos patagónicos no son los más vulnerables en cuanto a la introducción de especies, tanto por su nivel moderado de actividad, como por el comparativamente modesto tonelaje que mueven. Cuanto mayor es el peso de la carga que se embarca, mayores son las posibilidades de que los buques entren a puerto vacíos o semivacíos y salgan completamente cargados. Ello impli-



Control de salinidad del agua de lastre por parte de personal de la Prefectura Naval Argentina.

ca que entran con mucha agua de lastre y salen sin ella, y que la liberen en o cerca del puerto. En este sentido, son mucho más vulnerables los puertos cerealeros, en la costa marina (Quequén o Bahía Blanca) y, principalmente, en el río Paraná. Por los puertos del Paraná sale el 95% de las exportaciones argentinas de granos. Es probable que una buena parte del agua de lastre de los buques que operan en esos puertos fluviales se descargue en aguas marinas o salobres en la desembocadura del Río de la Plata, para entrar con el mínimo calado al poco profundo estuario.

Según datos recopilados en la Universidad Nacional del Sur (*http://www.uns.edu.ar/inbiar/ top.htm*), en la Argentina se han registrado unas 650 especies introducidas, de las cuales algo menos del 25% son acuáticas. En comparación con otros lugares del mundo, se trata de números moderados, lo que puede deberse a la baja actividad de los puertos argentinos, al hecho de estar ubicados en el extremo de las derrotas de los buques comerciales, a que el mayor tráfico proviene de países vecinos, de los que no es probable que lleguen especies que no estén ya viviendo en nuestras aguas, y a las condiciones costeras poco favorables para el arraigo de organismos introducidos, por sus aguas frías y turbulentas, y la escasez de sustratos duros.

A pesar de lo anterior, se siguen registrando nuevas especies a lo largo de la costa. Algunos ejemplos entre otros de los últimos años son un alga japonesa (*Undaria pinnatifida*) que está desplazando a las locales en áreas costeras de la Patagonia, el cangrejo verde (*Carcinus maenas*) y un caracol asiático depredador (*Rapana venosa*). El país está lejos de ser inmune al riesgo de las invasiones biológicas, lo que hace aconsejable replicar los controles del agua de lastre efectuados en el estudio que se comentó en todos los puertos argentinos, sobre todo los marítimos de la provincia de Buenos Aires y los del río Paraná.

Esta problemática seguramente no es exclusiva de la Argentina, sino común a diversos países tanto en América del Sur como en otros lugares donde el cumplimiento de las normativas de la OMI por parte de los buques es laxo. CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**BOLTOVSKOY D, ALMADA P & CORREA N**, 2011, 'Biological invasions: assessment of threat from ballast-water discharge in Patagonian ports', *Environmental Science and Policy*, 14, 5: 578-583.

**DARRIGRAN G y DARRIGRAN J**, 2001, 'El mejillón dorado, una obstinada especie invasora', Ciencia Hoy, 61: 20-23, febrero-marzo.

**KIDDEYS AE**, 2002, 'Fall and rise of the Black Sea ecosystem', *Science*, 297: 1482-1483, agosto.

**PAOLUCCI EM, CATALDO DH y BOLTOVSKOY D**, 2012, 'Un mejillón invasor alimenta a peces nativos', Ciencia Hoy, 127: 40-45, febrero-marzo.

–, 2012, 'Nueva dieta para las larvas de peces locales: consecuencias de una invasión biológica', Ciencia Hoy, 127: 4-45, junio-julio.

**PENCHASZADEH PE** (ed.), 2005, *Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña*, Eudeba, Buenos Aires.

**SCHWINDT E**, 2008, 'Especies introducidas', en Boltovskoy D (ed.), *Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el Mar Argentino*, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, accesible en *http://atlas.ambiente.gov.ar/tematicas/mt_04/especies.htm.*

Ciencia Hoy Volumen 17 número 97 febrero - marzo 2007

**Ricardo G Perrotta, Claudio Ruarte y Claudia Carozza**
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

# La pesca costera en la Argentina

Las regiones costeras son espacios de transición e interacción entre el medio terrestre y el medio marino. Las pesquerías que se desarrollan en estas áreas se caracterizan por su complejidad ambiental (diferentes condiciones oceanográficas; problemas de contaminación por el vertido de desechos y sustancias contaminantes, provenientes de los centros urbanos e industriales), biológica (gran variedad de especies, áreas de crianza, refugio de juveniles y áreas reproductivas) y social (ya que ocupan mucha mano de obra y permiten la subsistencia de importantes comunidades costeras). Su estudio debe plantearse desde un punto de vista multidisciplinario e integral, a fin de poder tomar decisiones que permitan un desarrollo sustentable.

La Argentina tiene más de 4000km de costa y una de las plataformas más grandes del mundo, cuyo ancho varía entre 157km (frente a Punta Médanos), hasta 741km (incluyendo a las islas Malvinas), abarcando casi 1 millón

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Las regiones costeras son los espacios de transición e interacción entre el medio terrestre y el medio marino, por esto las pesquerías que se desarrollan en estas áreas se caracterizan por su complejidad y variedad, tanto desde un punto de vista ambiental, como biológico y social. El auge de estas pesquerías, mediante el empleo de embarcaciones de pequeña escala, ha estado ligado a las etapas de mayor industrialización argentina y un fuerte mercado interno, mientras que durante la década del 90, la pesca artesanal, históricamente muy limitada, comenzó a incrementar su actividad ante la falta de alternativas laborales. El desarrollo sustentable en las áreas costeras podrá ser posible con políticas que hagan cumplir las vedas y establezcan áreas de protección, que aseguren la preservación del medio ambiente y las pequeñas flotas, pero teniendo en cuenta el desarrollo económico y social. Para aplicar estas políticas se recomienda promover la participación de las comunidades costeras y pescadores.

de km$^2$. La extensa línea de costa, juntamente con la República Oriental del Uruguay debido a que forma parte de la Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), puede dividirse de acuerdo con las condiciones ambientales en dos grandes regiones: región bonaerense y región patagónica. La flota que aquí opera mantiene esta división. La primera abarca desde el Chui en el norte (33°30'S) hasta los 41°S incluyendo la ZCPAU.

El sector bonaerense (Argentina) se extiende desde Punta Rasa en el extremo sur de la bahía Samborombón hasta el límite sur señalado, y representa un 25% del total del litoral marítimo argentino y el 11% del territorio nacional. A la región patagónica: Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego (42°-56°S), le corresponde el 75% del litoral marítimo y aproximadamente el 24% del territorio nacional (figura 1). Esta región presenta una serie de frentes oceánicos de diferente intensidad localizados entre los 42° y 47°S (finales de primavera y durante el verano) que favorecen el establecimiento de áreas reproductivas y el desarrollo de huevos y larvas de diferentes especies de peces. Más al sur, la costa patagónica está influenciada por la denominada corriente patagónica, que se origina en la boca del estrecho de Magallanes (52°30'S) y se extiende hacia el NNE próximo a la costa hasta 47°S, para luego separarse de esta y ubicarse en la plataforma central. El sector bonaerense queda limitado en su parte externa por la isobata de 50 metros y se puede subdividir en tres áreas (figura 2): 1) el área estuarial de la ZCPAU, caracterizada por ser uno de los estuarios más grandes del mundo con una superficie superior a los 38.000 km$^2$, mayor que el de muchos países europeos, presenta normalmente dos capas de agua, una superficial diluida por aportes continentales y otra de fondo con alto contenido salino originada en la plataforma media; 2) el área central de la provincia de Buenos Aires (37°-39°S), que abarca una franja angosta de unos 30km, con aguas originadas en plataforma, y 3) el área de El Rincón (39°-41°S), donde encontramos aguas de plataforma que se desplazan desde el sur y las correspondientes a una corriente costera formada con aguas diluidas por el aporte de los ríos Negro y Colorado.

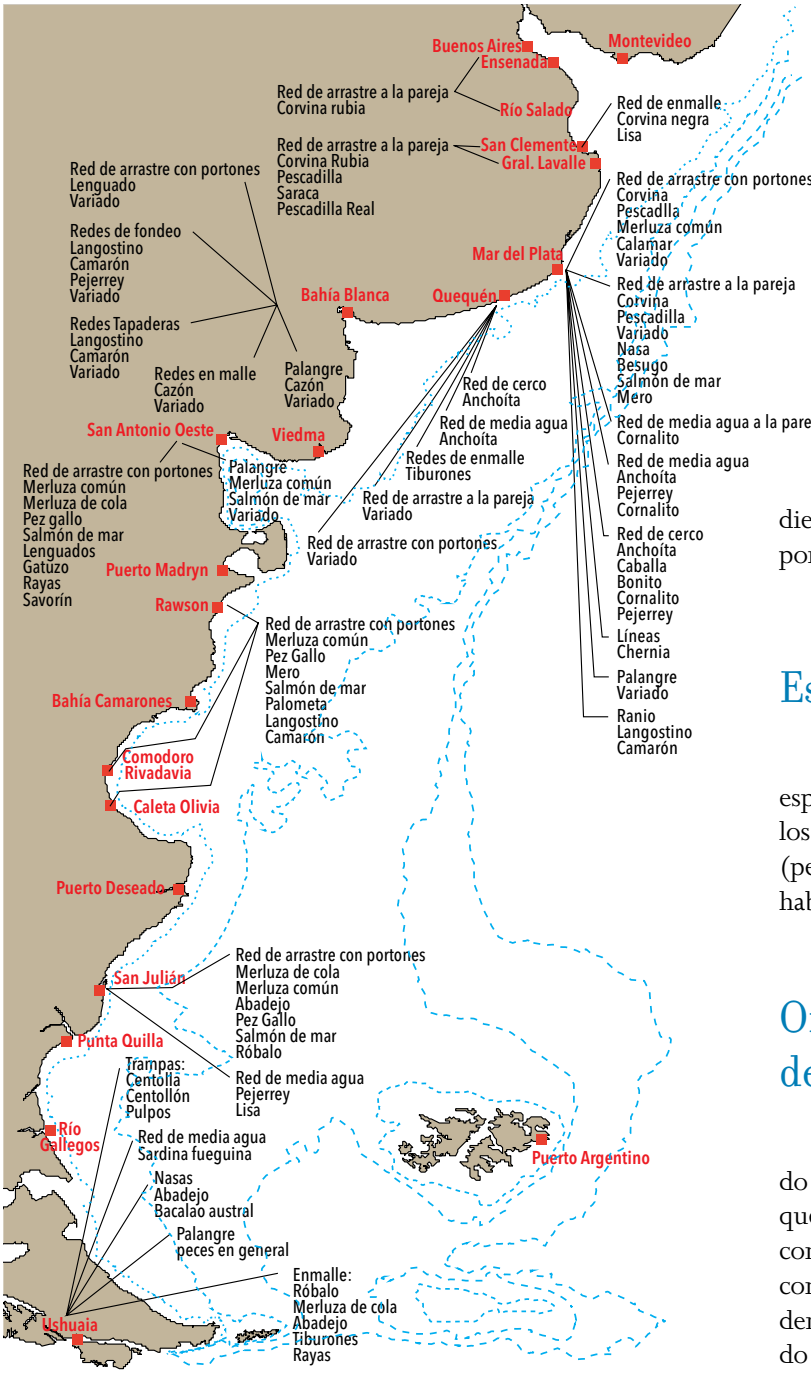



**Figura 1.** Especies desembarcadas por puerto y artes de pesca empleados por las flotas de pequeña escala.

## Especies objetivo de la pesca costera

En la figura 1 y en la tabla 1, se pueden observar las especies desembarcadas y los artes de pesca utilizados en los dos tipos principales de pesquerías costeras: demersal (peces relacionados con el fondo) y pelágica (peces que habitan la capa media de agua).

## Origen y desarrollo de la actividad pesquera

El estudio de la pesca costera debe ser abordado teniendo en cuenta los factores económicos, sociales y políticos que han promovido o retrasado su desarrollo. Para esto consideramos las siguientes etapas históricas: anterior a la conquista española; durante la colonia; desde la independencia hasta la organización nacional (1816-1880); Estado desregulador (1880-1929); Estado regulador (1930-1943); Estado interventor (1944-1957); Estado productor (1958-1975); Estado desregulador (1976-presente).

## Los primeros habitantes

A fines del pleistoceno (14.000 años a.p.) quedaban pocos lugares en el mundo sin habitar: Patagonia, Tierra del Fuego y Escandinavia. Con excepción de esta última, debido a sus condiciones climáticas, puede considerarse que el proceso de dispersión del hombre se había completado con la colonización de los territorios del sur de América. Para alcanzar estas últimas regiones, y descartadas otras posibles vías de acceso a América –ya sea por condiciones climáticas extremas (Antártida) o por indicios tardíos (últimos 3500 años) de la presencia humana en las islas del oeste del Pacífico y en la isla de Pascua (1200 años a.p.)–, el hombre tuvo que haberse trasladado a través del Estrecho de Behring. A partir de la llegada a América (30.000 a.p.), se desplazó hacia el sur, llegando a la Patagonia hace unos 12.000-11.000 años a.p. Este lento movimiento fue favorecido por el aumento de la temperatura, que caracterizó la transición Pleistoceno-Holoceno (9000 a.p.). La dieta de estos primeros pobladores se centralizó en el guanaco, caballo americano y plantas, entre otras, en el marco de una demografía baja. Por otra parte, existen evidencias de que hace unos 8000 años a.p., las poblaciones costeras patagónicas consumían abundantes moluscos y lobos marinos. Durante el Holoceno tardío (unos 5000 años a.p.), estas poblaciones costeras disponían de una economía mixta (productos terrestres y marinos), modelo que perduró más allá del período de la conquista española.

## La conquista

En 1580 Juan de Garay llegó a los alrededores de lo que es hoy la ciudad de General Lavalle y el río Ajó (Guajhó-ti, en guaraní, terreno de juncos), y denominó a esta zona la 'isla de los Guaraniz', en referencia a los indios guaraníes que formaban parte de su comitiva; más tarde se constituyó la zona en una importante ruta de navegación exploratoria. En el siglo XVI arribaron los religiosos franciscanos, dominicanos y jesuitas, que crearon entre 1610 y 1750 varias misiones con el objeto de convertir al catolicismo a los habitantes originarios, denominados pampas (que significa plano en quechua). Pero fue a lo largo del siglo XVIII que las regiones australes de América adquirieron un mayor interés, con fines exploratorios, comerciales o pesqueros. En 1745-1746, navíos españoles recorrieron el litoral marítimo, desde el Río de la Plata hasta la bahía de San Julián, para analizar la posibilidad de establecer puertos en esa bahía y en la ría de Deseado. En la segunda mitad de ese siglo, Inglaterra, Francia y Estados Unidos intensificaron la captura de ballenas y lobos marinos. Estas actividades, y la presencia de la flota portuguesa en la región, puso en peligro las posesiones españolas. Esta situación hizo que en 1770 se enviara una misión

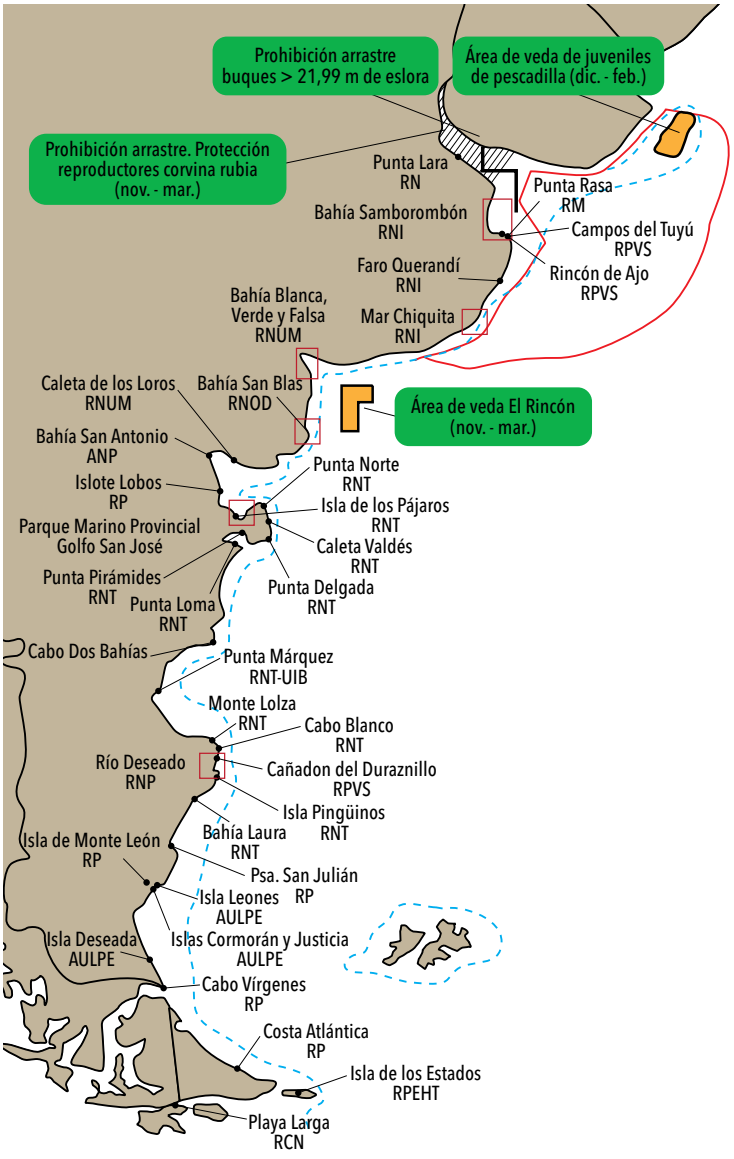



**Figura 2.** Áreas protegidas del área costera argentina. RNOD: Reserva Natural de Objetivo Definido; RNI: Reserva Natural Integral; RNUM: Reserva Natural de Uso Múltiple; RM: Reserva Municipal; ANP: Área Natural Protegida; RNT: Reserva Natural Turística; UIB: Unidad de Investigación Biológica; RPVS: Reserva Privada de Vida Silvestre; RP: Reserva Provincial; AULPE: Área de Uso Limitado bajo Protección Especial; RPEHT: Reserva Provincial Ecológica, Histórica y Turística; RCN: Reserva Cultural Natural.

conjunta entre los gobernantes de Buenos Aires y el comandante de las islas Malvinas para establecer un puerto en Deseado que sirviera de base para la caza de mamíferos y la pesca en la zona. En este sentido, los portugueses habían conseguido importantes logros en la captura de ballenas y peces, lo que motivó a la corona española, en su afán de competencia con el imperio portugués, a desarrollar un movimiento expansionista hacia el sur. Por lo tanto, objetivos económicos y estratégicos, como la creación en 1776 del Virreinato del Río de la Plata, fueron fundamentales para el devenir de los mares y territorios australes. El 5 de agosto de 1779 se creó la Compañía de Pescadores, Marineros y Toneleros en el puerto de San José

(Patagonia), con el objeto de procesar ballenas y peces. Sin embargo, la ocupación efectiva de los territorios australes resultaba muy onerosa para el Estado; es así que el virrey Vértiz, en 1783, puso en duda la conveniencia de la expansión al sur y solamente se mostró proclive a dejar un asentamiento militar en Río Negro. Gran Bretaña tenía otra idea acerca de los territorios sureños. En 1788, se estableció en la isla de los Estados una colonia con el nombre de 'Nueva Irlanda', y en las islas Malvinas los ingleses dejaron una placa por la cual reclamaban su propiedad.

En 1786, Francisco Medina realizó el primer intento privado de promover actividades económicas relacionadas con la captura de ballenas, y para tal fin solicitó un préstamo, en cuyo fundamento también incluía la salazón de carnes. Sin embargo, dicho crédito solo le fue concedido para esto último. No obstante, compró una embarcación que bautizó con el nombre de *La Ventura* con la cual, y con la ayuda de arponeros portugueses, emprendió la caza de ballenas en el sur. Antonio de Viedma, por su parte, en diciembre de 1783 realizó una extensa descripción de la costa patagónica, mencionando la abundancia de lobos marinos y peces. Más tarde, en 1787, solicitó un permiso para la captura de peces en el área patagónica, en combinación con el usufructo de las salinas de esta área. En 1789 se creó la Real Compañía Marítima, que tenía como objetivo pescar en dominios de la corona en Europa, África y América, y también se reglamentó la actividad pesquera. Como consecuencia de la formación de esta compañía, en abril de 1790, durante la gestión del virrey Arredondo, se asentó en Puerto Deseado un establecimiento pesquero. Los intentos mencionados terminaron en fracaso porque, si bien el objetivo principal era la explotación de las riquezas ictícolas, desde un comienzo fueron compartidas con otras actividades, como las agropecuarias, que con el tiempo pasaron a ser las principales.

## Desde la independencia hasta la organización nacional: 1816-1880

Una vez declarada la independencia y creadas las Provincias Unidas del Río de la Plata, el gobernador de Buenos Aires, Martín Rodríguez, designó una junta de hacendados y comerciantes con el objeto de promover el comercio, la industria y la agricultura. La consecuencia de esta decisión fue el dictado de una ley (año 1821) por la cual se fomentaba la pesca en la región patagónica. En 1828, el gobernador de la provincia de Buenos Aires firmó un decreto por el cual le otorgó a Luis Vernet el derecho a ejercer la pesca en las Islas Malvinas. En 1816 los jesuitas se instalaron sobre la margen del río Ajó ('Rincón de Ajó'); posteriormente (1826), como consecuencia de la guerra con el Brasil se incrementó el uso de esta vía navegable y de los puertos de El Tuyú y El Salado, que por decreto 03/XI de 1828 seguían operando aun concluida la guerra. En diciembre de 1827 se creó la Subprefectura en la zona de lo que es hoy la ciudad de General Lavalle. En 1839 su puerto fue usado como vía de escape de los sobrevivientes de la sublevación contra el gobernador Rosas, los denominados 'Libres del

| Nombre común | Nombre científico o familia | Nombre común | Nombre científico o familia |
|---|---|---|---|
| Abadejo (D) | *Genypterus blacodes* | Lisa (P) | *Mugil platanus* |
| Anchoa de banco (P) | *Pomatomus saltatrix* | Mejillón (B) | *Mytilus edulis platensis* |
| Anchoíta (P) | *Engraulis anchoita* | Merluza común (D) | *Merluccius hubbsi* |
| Bacalao austral (D) | *Salilota australis* | Merluza de cola (D) | *Macruronus magellanicus* |
| Besugo (D) | *Sparus pagrus* | Mero (D) | *Acanthistius brasilianus* |
| Bonito (P) | *Sarda sarda* | Palometa (P) | *Parona signata* |
| Brótola (D) | *Urophycis brasiliensis* | Pargo (D) | *Umbrina canosai* |
| Caballa (P) | *Scomber japonicus* | Pejerreyes (P) | *Atherinidae* |
| Camarón (D) | *Artemesia longinaris* | Pescadilla de red (D) | *Cynoscion guatucupa* |
| Castañeta (D) | *Cheilodactylus bergi* | Pescadilla real (D) | *Macrodon ancylodon* |
| Cazón (D) | *Galeorhinus galeus* | Pez ángel (D) | *Squatina argentina* |
| Centolla (D) | *Lithodes santolla* | Pez gallo (D) | *Callorhynchus callorhynchus* |
| Centellón (D) | *Paralomis granulosa* | Pez limón (P) | *Seriola lalandei* |
| Chernia (D) | *Polyprion americanus* | Pez palo (D) | *Percophis brasiliensis* |
| Cornalito (P) | *Sorgentinia incisa* | Rayas (B) | *Rajidae* |
| Corvina (D) | *Micropogonias furnieri* | Róbalo (D) | *Eleginops maclovinus* |
| Corvina negra (D) | *Pogonias cromis* | Salmón de mar (D) | *Pseudopercis semifasciata* |
| Gatuzo (D) | *Mustelus schmitti* | Saraca (D) | *Brevoortia aurea* |
| Langostino (D) | *Pleoticus muelleri* | Savorín (P) | *Seriolella porosa* |
| Lenguados (B) | *Paralichthyidae* | Sardina fueguina (P) | *Sprattus fuegensis* |

**Tabla 1.** Lista de especies mencionadas en el texto central de este artículo. D: demersales; P: pelágicas; B: bentónicas.

Sur', al mando del general Lavalle. En los alrededores de esa ciudad, en 1860, Pedro Luro fundó un saladero y en 1869 se iniciaron embarques de carne y grasa a Buenos Aires y a Europa. En ese mismo año se aprobó el Código Civil (código Vélez Sarsfield) que introdujo cuestiones relacionadas con el mar y la pesca. Su artículo 2343 menciona que los recursos del mar, de ríos y lagos son susceptibles de apropiación privada. En 1866, Sarmiento auspició la formación de una colonia pesquera en Rawson y, en 1871, ya como presidente de la Nación, otorgó autorización a Ernesto Rouquaud para crear una colonia en la provincia de Santa Cruz dedicada a actividades agropecuarias y a la pesca. En ese mismo año, la ley 453 (derogada en 1880) reglamentó la extracción de guano y pesca en la Patagonia. En 1874 se fundó la ciudad de Mar del Plata, cuyo desarrollo estuvo siempre vinculado al mar, y a mediados del siglo XX alcanzó a ser el principal puerto pesquero del país. El período 1850-1880 se caracterizó por una gran inestabilidad política, originada fundamentalmente por el enfrentamiento entre dos tendencias: los latifundistas y los promotores de las colonias agrícolas, cuestión que se resolvió a favor de los primeros.

## 1880-1929

En 1880, bajo el primer gobierno de Julio A Roca (1880-1886), se decidió llevar adelante el denominado 'Proceso de Organización Nacional' (PON), mediante el cual se declaró a la Argentina 'granero del mundo', estableciéndose así en una economía complementaria con la de Inglaterra. En este contexto, el 28 de diciembre de 1882 se aprobó la construcción del puerto de Mar del Plata (el primer muelle se inauguró en 1922), y en abril de 1883 se habilitó la construcción del tramo del ferrocarril del Sud entre Maipú y Mar del Plata. Con la llegada del ferrocarril, en 1886, Mar del Plata adquirió un importante impulso, ya que este facilitó las comunicaciones y el flujo turístico. Paralelamente, arribaron los primeros pescadores que vendían corvinas, cornalitos, pejerreyes y lenguados en los hoteles. Estos pescadores formaban parte de la corriente inmigratoria de fines del siglo XIX y principios del siglo XX que, procedente de Europa, originalmente se habían establecido en el Tigre y en la Boca. Estos inmigrantes impulsaron el desarrollo de la pesca, por su tradición de consumo de pescado y con la creación de núcleos poblacionales en zonas que favorecían esta actividad. La pesca en Mar del Plata se realizaba con redes que eran arrastradas por los propios pescadores quienes, atando un extremo de la red a la cintura, nadaban hasta pasar la rompiente y regresaban haciendo un semicírculo. En otros casos, se empleaba la modalidad de arrastre a la pareja, utilizando botes a vela (recién en 1911 aparecieron las primeras embarcaciones propulsadas a motor, y en 1936 se comenzó a utilizar el motor Diesel). Una vez finalizada la jornada de pesca, las embarcaciones eran izadas a tierra por medio de un guinche ubicado en un muelle de lo que hoy se conoce como la playa Bristol, o bien eran arrastradas por caballos hasta un lugar seguro en la costa. En 1914, el Poder Ejecutivo Nacional sancionó la ley 9475, que tenía como objetivo regular el otorgamiento de permisos de pesca.

## 1930-1943

La crisis de 1930 originó un cambio en el modelo de Estado, que promovió un proceso denominado 'industrialización por sustitución de importaciones' (ISI). Este consistió en reemplazar la importación de artículos de consumo doméstico mediante medidas proteccionistas, como el control de cambios y la creación del Banco Central (Plan Pinedo, 1934). Estas medidas favorecieron el crecimiento industrial de la segunda mitad de los años 30 y principios de los 40, que servirán de base al denominado Estado de bienestar ('keynesianismo'), en el cual el peronismo tuvo un papel central. Con el inicio de la guerra civil española, en 1936, se dificultó la importación de pescado. La sardi-

| Especie | Los últimos cinco años (±) | Observada (cm) |
|---|---|---|
| Corvina | 15000 | 74 |
| Pescadilla de Red | 14500 | 35 |
| Gatuzo | 9000 | 96 |
| Caballa | 5000 | 52 |
| Anchoíta | 2000 | 21 |

na fue reemplazada por la anchoíta, el atún por la caballa (1938-1939) y el bacalao noruego por el cazón. No obstante, el gran cambio en la actividad pesquera se dio a partir de principios de la década del 40, cuando finalizó la pavimentación de la ruta 2 (1934) y con el inicio de la Segunda Guerra Mundial (1939). Debido a que esta confrontación bélica impidió aun más la importación de productos manufacturados, en países como la Argentina se favoreció el desarrollo industrial y el fortalecimiento del mercado interno. Así, la orientación unilateral de la economía nacional agroexportadora establecida en 1880 se modificó, favoreciendo esta vez a sectores industriales, incluso de pequeñas y medianas industrias. No obstante, este proceso se llevó a cabo por los terratenientes ganaderos, lo que limitó su cabal desarrollo. La incipiente 'burguesía industrial' mantuvo sus lazos con el campo, e invertía la renta agraria en la industria y a su vez la ganancia de la industria en la tierra, generando así una continua interrelación. Esta burguesía no tenía un proyecto autónomo de desarrollo ya que el proceso industrializador recaía en el capital internacional y en la clase dominante local que, como ya se mencionó, seguía vinculada al agro. En 1935, alentada por la corriente industrialista de la época, la Sociedad de Fomento de General Lavalle, Unión y Progreso Ajó, invitó a instalar una fábrica de conservas en esa ciudad a empresarios provenientes de Puerto Madryn. Esta funcionó hasta mediados de los años 40, dedicándose principalmente al sábalo y a las almejas, estas últimas muy abundantes en la zona en aquella época. Como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial se generó una gran demanda de vitamina A. Esta era obtenida a partir del hígado de tiburón y estaba destinada a alimentar a los combatientes, principalmente a los aviadores, debido a su rol fundamental en el desarrollo y la mejora de la denominada 'visión nocturna'. Esto estimuló la pesca del llamado 'cazón vitamínico', realizada con redes de enmalle o espinel en la zona de bahía San Blas. La apertura de esta pesquería incrementó los ingresos de los pocos pescadores locales, y mejoró notablemente su calidad de vida. De manera simultánea, comenzaron los primeros intentos de organización de estos 'pequeños industriales' en cámaras patronales. En la década del 50 la pesca e industrialización del tiburón declinó, debido a que se logró la elaboración sintética de la vitamina A, y con ello la importancia de puertos como Carmen de Patagones y San Blas, en los que llegaron a operar más de cien embarcaciones. Dentro de esta tendencia industrializadora, se realizaba desde la década del 30 el procesamiento de la anchoíta mediante salazón, pero es a partir de 1940 cuando esta actividad adquirió un nuevo impulso, ya que se desarrolló en pequeñas fábricas o saladeros, que empleaban mano de obra familiar, con la colaboración de los vecinos del lugar cuando era necesario. En 1942, como respuesta al constante desarrollo del sector industrial pesquero, se fundó en Mar del Plata el Sindicato de la Industria del Pescado.



**Figura 3.** Lancha de rada que opera desde el puerto de Mar del Plata.




**Figura 4.** Barco costero típico.

## 1944-1957

Durante este período hubo un importante crecimiento del mercado interno. Se incrementó el consumo de conservas de pescado, obtenido principalmente con la red de cerco sin jareta (lampara), introducida en 1940 por pescadores provenientes en su mayoría de Nápoles y Sicilia. También aumentaron las capturas de langostino en el sur de nuestro país por lo que gran parte de los pescadores costeros bonaerenses se trasladó a Rawson con sus lanchas en 1948. Debido al fuerte incremento en su explotación, el recurso comenzó a declinar y hacia 1952 prácticamente desapareció. También en este último año se inició la supremacía de la industria conservera sobre la de salazón y en General Lavalle se produjo otro intento para impulsar la primera. La empresa, incluso, instaló una usina eléctrica que dio luz al pueblo.

## 1958-1975

Durante la década del 50 y principios de la del 60 los lineamientos establecidos por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina (CEPAL) fomentaron la intervención del Estado en la economía, la sustitución de importaciones, la industrialización, la diversificación de exportaciones (no solamente de materias primas) y la capacidad para planificar el desarrollo nacional. De esta manera, el desarrollismo se impuso al liberalismo ortodoxo y estas ideas ocuparon un rol decisivo en torno a las luchas políticas y sociales en América latina. En este contexto regional, a mediados y fines de los años 50 se creó el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, la empresa Astilleros y Fábricas Navales del Estado, que ya contaba con barcos de pesca, permitiendo introducir la pesca de arrastre 'a la pareja', y el Instituto de Biología Marina de Mar del Plata (IBM). Precisamente en ese período se incorporaron los primeros barcos de altura, de más de 28m de eslora, a la flota pesquera. Al mismo tiempo, la salazón de anchoíta, junto con la industria conservera, eran los rubros industriales más importantes de la pesca. Debido a las incorporaciones señaladas, la flota de altura creció en forma sostenida y en 1963 sus capturas superaron a las de la flota de pequeña escala (en 1966 comenzó a decaer su importancia relativa), comenzando la transformación hacia la gran industria. Paulatinamente, la flota de pequeña escala fue concentrando sus actividades en el puerto de Mar del Plata, que fue, desde la década del 50, el puerto que más embarcaciones de estas características albergó. En 1966 se suscribió un convenio entre el gobierno argentino y la FAO: Proyecto de Desarrollo Pesquero, que funcionó hasta 1975 en instalaciones del IBM. Estos planes de investigación y el asentamiento de industrias posibilitaron el incremento de la producción y del consumo de productos marinos. El auge de la incorporación de barcos de altura tuvo lugar entre los años 1970 y 1974. No obstante, en 1972 la flota costera aportó el 40% del volumen total de capturas, lo que significó un 50% aproximadamente del total de valores de venta. En ese año se alcanzaron los más altos requerimientos de materia prima por parte de la industria conservera; los desembarques de caballa llegaron a las 14.000 toneladas.

## 1976-presente

En febrero de 1976 se realizó un paro empresarial en el que intervino la Cámara Marplatense de Industriales del Pescado, que sirvió como preludio y apoyo al golpe militar que se anunciaba y que finalmente se concretó en marzo. Entre 1976 y 1981 se desarrollaron asociaciones entre empresas extranjeras y locales, lo que permitió a las primeras pescar dentro de nuestra zona soberana, se estimuló la importación de barcos, se estableció un rígido control de cambios (dólar subvaluado) y altas tasas de interés (altos costos internos). Las plantas conserveras se favorecieron, importando materia prima (bonito, túnidos y caballa), lo que hizo que disminuyera la compra de peces capturados por la flota de pequeña escala o que bajara su precio de venta, afectando a las embarcaciones menores, especialmente aquellas que basaban sus ingresos en la captura de anchoíta y caballa. A fines de los años 70 se abrió el mercado nigeriano y de otros países africanos, que finalizó en 1983. La actividad también tuvo una mejoría debido a la apertura del Mercado Concentrador de Mar del Plata (1980), que permitió mayor transparencia en la comercialización, valorizó especies y mejoró la capacidad nego-

| Estrato de flota | Rango de eslora (m) | Eslora promedio (m) | Alejamiento máximo desde el puerto de despacho en millas | Tiempo de ausencia en horas | Antigüedad media | Material más frecuente de construcción | Condiciones de habitabilidad | Seguridad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Artesanal** | 5 - 13 | - | 3 | 12 | - | Madera, fibra de vidrio, plástico | - | Radio |
| **Rada o ría o costeros cercanos** | 8 - 17,25 | 13 | 15 | 24 | 50 años | Madera (mayoritaria) | - | Balsas salvavidas, radio, radar, ecosonda |
| **Costera o costeros lejanos** | >17,25 - 28 | 22 | 100 | 72 | 30 años | Madera (mayoritaria) | Baño, cocina y cuchetas | Balsas salvavidas, radio, radar, ecosonda |

**Tabla 2.** Características principales de la flota de pequeña escala.

ciadora de los pescadores de pequeña escala. Sin embargo, las políticas de desmantelamiento del Estado de la década de los 90 cerraron el mercado en 1991. Paralelamente, el gobierno nacional favoreció el ingreso de numerosos buques congeladores y factorías (mayores a 40m de eslora). Esta situación se agravó con la entrada en vigor, en 1994, del Acuerdo sobre las Relaciones en Materia de Pesca entre la Comunidad Europea y la República Argentina (también se promovió la asociación entre empresas, de manera que muchas compañías locales quedaron subordinadas a empresas españolas). Para el período 1991-1996, la tasa de crecimiento del esfuerzo de pesca (esfuerzo empleado en capturar las diferentes especies comerciales) fue de casi 28000HP (unidad de potencia de máquina) por año. Una de las consecuencias inmediatas de este aumento de la presión pesquera fue la disminución de la actividad de la flota de pequeña escala (menor a 18 m de eslora). En 1992, la corvina fue objeto de interés por parte de compradores procedentes de Honk Kong, Taiwán y China. Debido a esto, la flota costera se trasladó desde el puerto de Mar del Plata a General Lavalle, San Clemente, Ensenada y otros (figura 1), llegando a operar más de 200 embarcaciones con una captura anual de 20.000t de corvina. El exceso de esfuerzo pesquero en el área produjo una abrupta caída de los rendimientos de esta especie, y en 1999 solo operaban en el área unas 50 embarcaciones. En 2004 la captura anual alcanzó las 5500t con 118 embarcaciones.

## Actualidad de la flota de pequeña escala

La flota de pequeña escala que identificamos con el color amarillo comprende tres grupos: embarcaciones artesanales (entre 5 y 13m de eslora), rada o ría (hasta 17m) y media altura o costera lejana hasta 28m (tabla 2; figuras 3, 4 y 7). La Prefectura Naval Argentina identifica el tipo de flota costera según su 'radio de acción', que es definido por las características estructurales del casco, estabilidad, equipos de comunicaciones, capacidad de alojamiento y combustible, entre otras. Su potencia y el tonelaje de registro bruto no deben superar los 550HP de potencia y las 100 toneladas de desplazamiento, respectivamente. A las embarcaciones denominadas de rada o ría, se les otorga un permiso máximo de ausencia de 24 horas y un radio de acción reducido que no puede superar las 8 millas desde la boca de salida del puerto. A las embarcaciones de media altura se les autoriza una autonomía entre 72 y 100 horas y un radio de acción máximo de 100 millas náuticas (tabla 2). Esta flota de pequeña escala forma parte de una pesquería costera socialmente muy dinámica y que representa aproximadamente el 50% de todos los barcos pesqueros, que son más de 300, y ocupa alrededor del 20% de las tripulaciones de buques nacionales.

## Artes de pesca empleados por la flota de pequeña escala

La flota de pequeña escala utiliza diferentes artes de pesca (figura 1; tabla 3) que dependen de la especie a pescar, el tamaño de la embarcación y del tipo de ambiente en el que se desarrolla la pesca. En la ría de Bahía Blanca, aprovechando la gran amplitud de mareas, los pescadores usan redes fijadas al fondo para la captura de pescadilla de red y de corvina rubia, utilizando para esto embarcaciones de pequeño porte con las cuales cierran un pequeño canal y luego arrean el pescado hacia las redes. La nasa se utili-

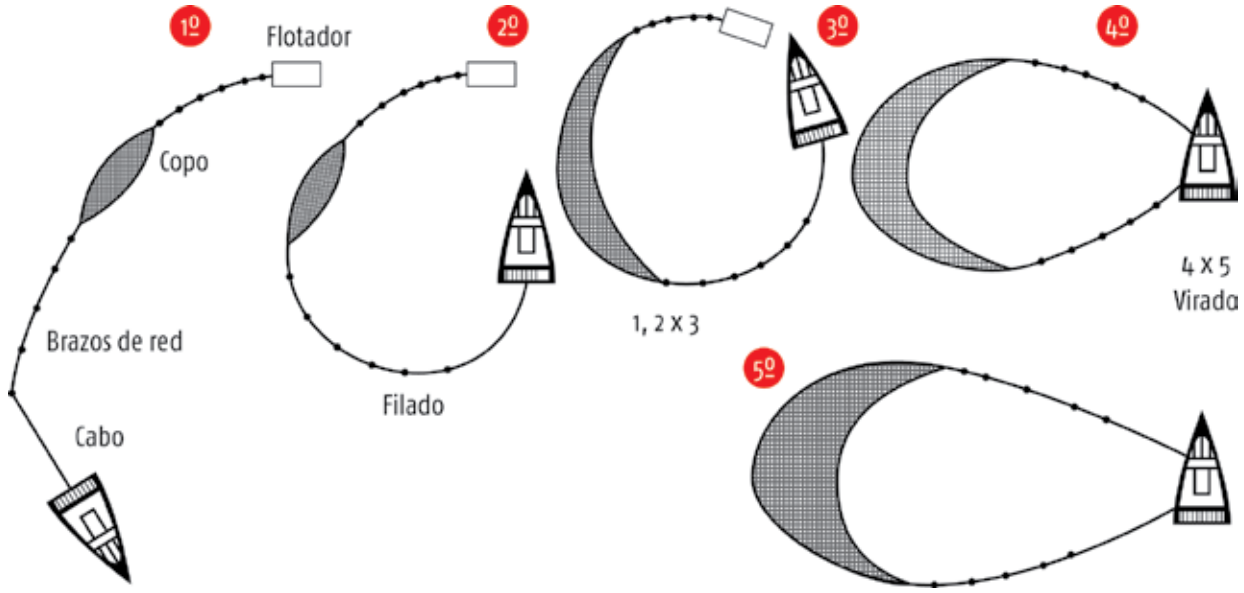



**Figura 5.** Maniobra en el empleo de red de cerco sin jareta (lampara).

za para la pesca de especies que habitan fondos rocosos, como el besugo, en el norte del golfo San Matías y la costa bonaerense. La red de arrastre con portones y 'arrastre a la pareja' (sin portones) se emplean para especies de peces demersales, esta última en zonas de aguas someras, y consiste en la utilización de dos embarcaciones que arrastran una sola red (arrastre de fondo, semipelágica o pelágica). La red de cerco es empleada por la flota de rada de Mar del Plata (figura 1), para la pesca de anchoíta (septiembre a noviembre) y caballa (octubre a enero), operando a profundidades menores a 50m. La red es lanzada por el lado de proa con una señal (flotador) y se efectúa el cerco (figura 5). Para atraer los peces se utiliza cebo cocido o fresco, constituido por cabezas de anchoíta y otras especies como saraca y jurel e incluso caballas. En 1967 se incorporó la red de cerco con jareta (cable utilizado para cerrar la relinga inferior de la red; figura 6). Este arte de pesca es empleado por embarcaciones costeras (351-400HP) en la pesca de bonito. En la zona de Bahía Blanca se capturan camarón y langostino con redes de fondeo, cazón con redes de enmalle, y corvina y pescadilla con redes fijadas al fondo y en algunos casos con líneas de mano. En los finales de los 90, la pesca artesanal de corvina, palometa, pescadilla de red, brótola y gatuzo (emplea botes de goma o semirrígidos, con motores fuera de borda y redes de enmalle colocadas a no más de una o dos millas de la costa) se expandió en el norte de la provincia de Buenos Aires. Esto se debió a su vinculación con el turismo estival de la región. En la región patagónica, principalmente en el golfo San Matías, la costa de Chubut y costa atlántica de Tierra del Fuego, esta pesca se realiza en una franja costera hasta 30-50m del límite de la marea y hasta 4-10m de profundidad. En ella intervienen de dos a cuatro pescadores por equipo que utilizan, por lo general, un bote a remo y una red de 70-100m de longitud. En las rías y bahías de Santa Cruz y en la costa de Tierra del Fuego, la pesca se realiza desde la playa, calando una red en marea baja, que permanece durante la marea alta y recolecta los peces en la siguiente bajamar. Es una pesquería oportunista, de especies demersales y pelágicas como pejerreyes (*Atherinidae*), róbalo (*Eleginops maclovinus*), palometa (*Parona signata*), merluza austral (*Merluccius australis*) y brótola o bacalao criollo (*Salilota australis*).

## Características socioeconómicas de los pescadores

Los pescadores costeros se agrupan en organizaciones con diferentes grados de desarrollo. Las mayores están en el puerto de Mar del Plata: Sociedad de Patrones de Pescadores (lanchas amarillas de Mar del Plata), que en los años 90 representaba a unas 130 embarcaciones, en la actualidad quedan unas 40; la Asociación de Embarcaciones del Puerto de Mar del Plata con 70 embarcaciones (costeros),

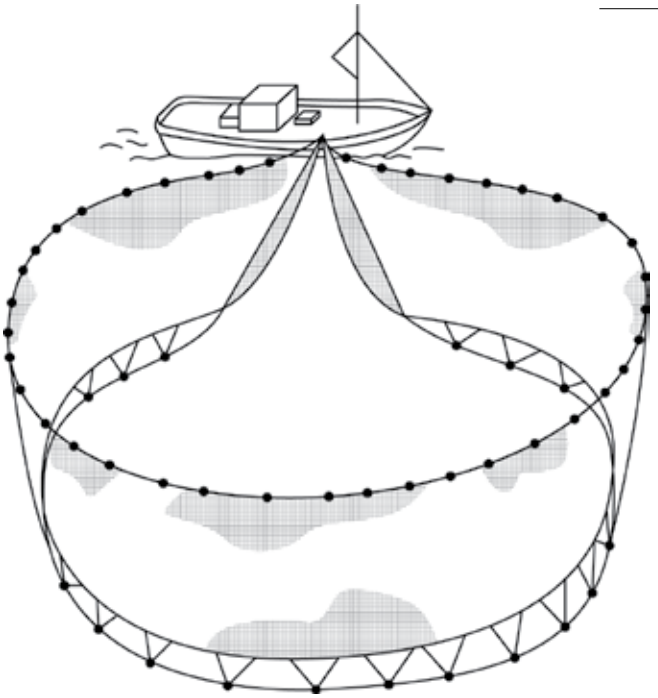


**Figura 6.** Red de cerco con jareta.

y el sector artesanal con una organización incipiente. La cantidad total de tripulantes varía según la época del año, pero se puede estimar en 650 para la flota de rada o ría, 550 para la flota costera, y para la flota artesanal alrededor de 300 personas. La agrupación con mayor tradición es la Cooperativa de Pesca e Industrialización Limitada (Coomarpes), fundada en 1950. En el año 2004 pertenecían a esta cooperativa más del 80% de las embarcaciones de rada con asiento en el puerto de Mar del Plata. El sector artesanal (figura 7) carece del desarrollo que ha alcanzado en otros países de Latinoamérica, ya que su contribución a los desembarques es menor al 2%. Su área de actividad abarca los golfos patagónicos, el canal Beagle y la costa bonaerense. Las zonas de Bahía Blanca y Monte Hermoso son las únicas que tienen una tradición en este tipo de pesca que se remonta a los años 40. El partido de la Costa, por el contrario, tiene una población de pescadores relativamente joven (36 años en promedio), en la cual solo el 25% de ellos es pescador por tradición familiar y generalmente complementan sus ingresos con otras actividades. La comercialización se realiza al pie de las embarcaciones en puestos móviles en la playa (en Santa Teresita hay fijos) autorizados por el Municipio (figura 8). En esta categoría de embarcaciones las organizaciones más importantes que agrupan a los pescadores son la Cámara de Pescadores Artesanales de Monte Hermoso y Pehuencó y la Cámara de Pescadores de la Ría de Bahía Blanca, entre otras. Como un intento de organizar a los pescadores artesanales, en junio de 2000 se desarrolló en Mar del Plata el I Primer Encuentro Nacional sobre Políticas para la Pesca Costera (artesanal y de pequeña escala), con representantes de todo el país. Este encuentro se repitió al año siguiente en Puerto Madryn. En el de Mar del Plata se sentaron las bases de la Federación Nacional de Pesca-

dores Artesanales, la cual se comprometería a bregar por el establecimiento de áreas exclusivas para la pesca artesanal y de pequeña escala, fomentar la organización social y jurídica en cada puerto, estimular la formación de cooperativas, trabajar para resolver los problemas de seguridad social y capacitación de los pescadores. Estos principios fueron refirmados en la reunión de pescadores artesanales, costeros y de comunidades costeras realizada en Santa Clara (provincia de Buenos Aires) del 1 al 4 de marzo de 2005. Finalmente la federación se fundó en diciembre de 2006, en la reunión llevaba a cabo en Carmen de Patagones con representantes de todo el país.

## Manejo de las pesquerías costeras

La evaluación y las sugerencias de manejo de las especies costeras son realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (organismo descentralizado dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, creado por la ley 21.673 del 21 de octubre de 1977) a la autoridad de aplicación, que es el Consejo Federal Pesquero (CFP), creado por la ley federal de pesca 24.922, de enero de 1998. Esta ley, en su artículo 3°, establece que son de dominio y jurisdicción de las provincias los recursos vivos existentes en las aguas interiores, golfos y mar territorial argentino adyacente a sus costas, hasta las doce millas. A partir de este límite y en aguas de la zona económica exclusiva y la plataforma continental argentina son de dominio de la Nación (artículo 4°). Mientras que en su artículo 27 establece que la administración de los recursos se regirá por el sistema de cuotas individuales transferibles (asignación en forma gratuita de una fracción del recurso disponible a una empresa por parte del Estado). Sin embargo, este sistema, debido a la resistencia de diversos sectores de la comunidad pesquera y dificultades administrativas, aún no ha podido ser implementado, por lo que continúa el sistema olímpico (los barcos capturan las especies hasta alcanzar la captura anual permitida en cada una de ellas). En la zona común de pesca compartida con la República Oriental del Uruguay (ley 20.645 de 1974), las medidas de administración de los recursos costeros deben discutirse en el ámbito de dos comisiones binacionales: la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM) y la Comisión Administradora del Río de la Plata (CARP). Dentro de las regiones bonaerense y patagónica existen distintos tipos de áreas protegidas y dependientes de varias jurisdicciones (figura 2).

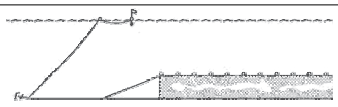
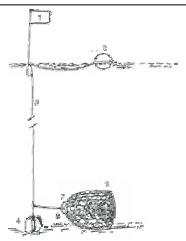
| Tipo de flota | Tipo de arte | Especie que captura |
|---|---|---|
| Rada y costera |  Red de arrastre de fondo con portones (permiten mantener abierta la red), representan aproximadamente el 85% de las artes de pesca utilizadas en la Argentina | |
| Rada y costera |  Red de arrastre de fondo a la pareja, el equipo es arrastrado por dos embarcaciones, que son las que abren la red en sentido horizontal | Corvina, pescadilla |
| Rada |  Red de enmalle, se calan en el fondo, por medio de anclas | Tiburones, especialmente gatuzo |
| Costera |  Nasas, trampas construidas con mimbre, se emplea cebo (anchoíta, caballa, surel, saraca) | Principalmente besugo, pero también capturan Salmón de mar y mero |
| Rada |  Red de cerco sin jareta, no posee en la relinga inferior ningún dispositivo de cierre. Se emplea cebo (anchoíta, caballa) | Anchoíta, caballa |

**Tabla 3.** Artes de pesca por tipo de flota y especies que capturan.



**Figura 7.** Bote artesanal del tipo de los que operan en el puerto de Bahía Blanca.

## Conflicto por los recursos y perspectivas

El puerto de Mar del Plata concentra la mayor cantidad de pescadores costeros con embarcaciones de mayor porte y mayor equipamiento (ecosonda, radio, etcétera), lo que

le permite, como ya se ha mencionado, un mayor alejamiento del puerto base. A medida que los recursos pesqueros cercanos al puerto de Mar del Plata comenzaron a escasear, esta flota fue capaz de movilizarse hacia otras zonas generando conflictos con pescadores de General Lavalle, Bahía Blanca y Monte Hermoso. Otro conflicto de importancia se originó por la disminución del rendimiento en las capturas de merluza común, que hizo que las flotas de altura concentraran parte de su esfuerzo pesquero hacia zonas costeras, compitiendo de esta manera y afectando por su mayor capacidad de pesca a las flotas de pequeño porte. Estas flotas generan gran cantidad de empleo con relación a los volúmenes capturados, por lo tanto, deberían ser protegidas por la administración pesquera con medidas como áreas de uso exclusivo, desarrollo y fomento de cooperativas, incentivos económicos, programas de capacitación, etcétera, y un mayor esfuerzo de la investigación científica interdisciplinaria desde el Estado y con activa participación de las organizaciones de los pescadores y comunidades costeras. Por otra parte, es interesante mencionar que el auge de las pesquerías costeras estuvo ligado a las etapas de mayor industrialización argentina y una mejor distribución de la riqueza; mientras que la pesca artesanal se convirtió en una alternativa laboral a partir de la década del 90, como consecuencia de una política que debilitó a las industrias locales y transformó a los trabajadores asalariados en trabajadores informales. CH



**Figura 8.** Embarcaciones, catres metálicos (empleados para trasladar la embarcación) y puestos de venta reglamentarios en el balneario de San Bernardo.


## Agradecimientos

Agradecemos al señor Rómulo Gaspari (Lulo), habitante de General Lavalle, por contarnos interesantes e inéditas historias de esa región; al personal de la biblioteca municipal de General Lavalle, por su colaboración, al personal de la Subprefectura de esa misma localidad, y a Pablo Penchaszadeh por sus valiosos comentarios sobre el manuscrito. Contribución del INIDEP Nº 1422.


## LECTURAS SUGERIDAS


**BORRERO LA**, 2001, *El poblamiento de la Patagonia. Toldos, milodones y volcanes*, Emecé, Buenos Aires.

**FERMEPIN RR y VILLEMUR JP**, 2004, *155 años de la pesca en el Mar Argentino (1821-1976)*, Instituto de Publicaciones Navales, Buenos Aires.

**LASCANO OJ**, 1989, *Cien años de pesca costera en la Argentina*, Informe FAO, Biblioteca INIDEP, Mar del Plata.

**PRADAS ME**, 2006, *Un acercamiento a la problemática pesquera marplatense*, El Mensajero, Buenos Aires.

**SILVA HA**, 1978, *La economía pesquera en el Virreinato del Río de la Plata*, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Buenos Aires.



Tortuga carey (arriba) y tortuga verde (abajo) en Kélonia, isla Reunión. Foto Thierry Caro

Ciencia Hoy volumen 22 número 127 junio - julio 2012

**Victoria González Carman**
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

**Hermes W Mianzan**
Investigador del Conicet en el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata

**Ignacio Bruno**
Aquamarina, PRICTMA

**Laura Prosdocimi**
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

**Diego Albareda**
Jardín Zoológico de Buenos Aires

**Claudio Campagna**
Wildlife Conservation Society

# Tortugas marinas en aguas argentinas

## Unos reptiles singulares

Las tortugas marinas, como sus pares terrestres, son vertebrados de sangre fría que necesitan aire para respirar y se reproducen poniendo huevos. Viven principalmente en los mares tropicales y subtropicales, pero pueden desplazarse temporariamente hacia aguas más templadas (ver recuadro '¿Tortugas en aguas no tropicales?'). Aunque parezcan muy protegidas por su caparazón, son muy vulnerables. Sus huevos pasan más de dos meses enterrados en las asoleadas arenas de alguna playa tropical. Nacen siendo más pequeñas que un teléfono celular y algunas terminan pesando más que un novillo en su punto de mayor engorde. Ya antes de nacer están expuestas a depredación por parte de animales y humanos, y después comienzan su más arduo camino: la ruta hacia el agua y la vida en el mar (figura 1). Al emerger de la arena, los juveniles son presa de aves, cangrejos y perros. Sus depredadores se renuevan a medida que cambian del ambiente terrestre al acuático, salvo uno que está presente en todos: el ser humano. Las pocas que sobreviven a tantos picos, manos, garras y dientes se entregan a las corrientes marinas. Así transcurren sus vidas hasta bien entrada la edad adulta, decenas de años después de haber asomado en la arena. Y aun entonces se les presentan escollos que sortear.

Tenemos escaso conocimiento de la errática vida marina de las tortugas (figura 2), al punto de que los expertos denominan a las etapas tempranas de su ciclo de vida 'los años perdidos', porque una vez en el mar las pierden de vista. Se sabe que algunas especies buscan refugio y alimento entre las grandes algas flotantes, como los sargazos, donde encuentran un medio favorable para crecer. En el océano abierto su dieta es omnívora: comen organismos de escasa o nula movilidad, como los que viven sobre los sargazos, pero también pequeños crustáceos y algunos caracoles pelágicos o de mar abierto.

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Con la ayuda de los sensores remotos y los sistemas de posicionamiento geográfico, los científicos están descubriendo varias facetas de la vida de las tortugas marinas.

Luego de hasta ocho años de vida oceánica, los juveniles migran de alta mar hacia ambientes costeros o nerítico, en los que continúan creciendo por otros diez y hasta tal vez veinte años. En la costa su dieta cambia. Las tortugas verdes (*Chelonia mydas*) se convierten en herbívoras y comen casi exclusivamente algas y pastos marinos, las carey (*Eretmochelys imbricata*) se alimentan de esponjas, mientras que las bobas o cabezonas (*Caretta caretta*) lo hacen de cangrejos y caracoles. Si se alimentan bien y crecen, su cuerpo más grande resulta presa más difícil para los depredadores que merodean la costa, como lobos marinos y tiburones.

Las tortugas marinas juveniles migran cientos y hasta miles de kilómetros entre zonas de alimentación invernales en mares cálidos y zonas estivales más frías. Incluso algunas especies alternan áreas de alimentación costeras con incursiones breves al mar abierto. Luego de varias décadas de vida y miles de kilómetros recorridos, llegan a la madurez sexual y tienen unos veinte años por delante para cumplir sus funciones reproductivas.

Según las especies, los adultos más grandes pueden medir hasta 2m de largo y pesar hasta 500kg, como es el caso de la tortuga laúd o de siete quillas (*Dermochelys coriacea*), que por ser tan corpulenta está a salvo de los depredadores naturales. Pero la migración desde las zonas de alimentación hacia las playas de desove requiere en determinados casos cruzar largos trechos de océano, en los que las tortugas encuentran hoy peligros que nunca habían enfrentado en su historia evolutiva: redes, anzuelos, tanzas y desperdicios plásticos, omnipresentes en los ambientes marinos actuales.

Su reproducción comienza con el apareamiento, que ocurre en el agua cerca de las playas de desove. Las hembras se reproducen cada dos o tres años y desovan en la misma playa en que nacieron. Cada una se aparea y desova varias veces por temporada (varios meses), finalizada la cual retorna a sus áreas de alimentación.

¿Qué lleva a una tortuga a nadar miles de kilómetros desde que nace hasta que es adulta? La explicación que primero viene a la mente es la búsqueda de ambientes donde encontrar suficiente alimento. La migración sería así una adaptación que permite aprovechar la abundancia de alimento en distintos lugares y estaciones del año. También permite escapar de aguas que se enfrían demasiado en invierno.

Pero la búsqueda de ambientes óptimos tiene costos. En cada estadio (cría, juvenil, adulto) y en cada hábitat (terrestre, oceánico, costero) existen peligros para la supervivencia: depredación activa con consumo de huevos y carne, captura accidental en pesquerías comerciales, contaminación, degradación del hábitat. La suma de las amenazas resulta en sensibles disminuciones del número de hembras que desovan. Todas las tortugas del mundo padecen este problema: cada vez se registran menos hembras en las playas de desove de todos los continentes.

Una buena parte de la diversidad de especies de tortugas se encuentra amenazada y algunas están acercándose a la extinción. Como animales longevos, de crecimiento lento y extenso tiempo de renovación generacional, las tortugas marinas son muy vulnerables. Su explotación dirigida o accidental puede prolongarse por años antes de que en



**Figura 1.** Tortuga verde a poco de eclosionar. Wikimedia Commons

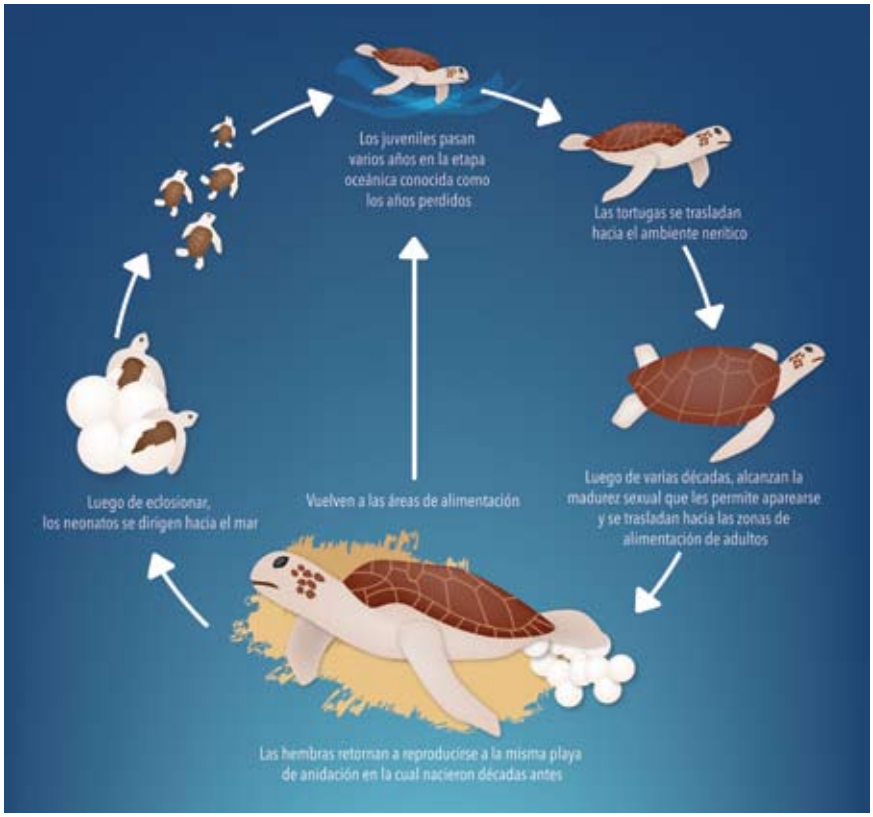



**Figura 2.** La vida de las tortugas marinas.

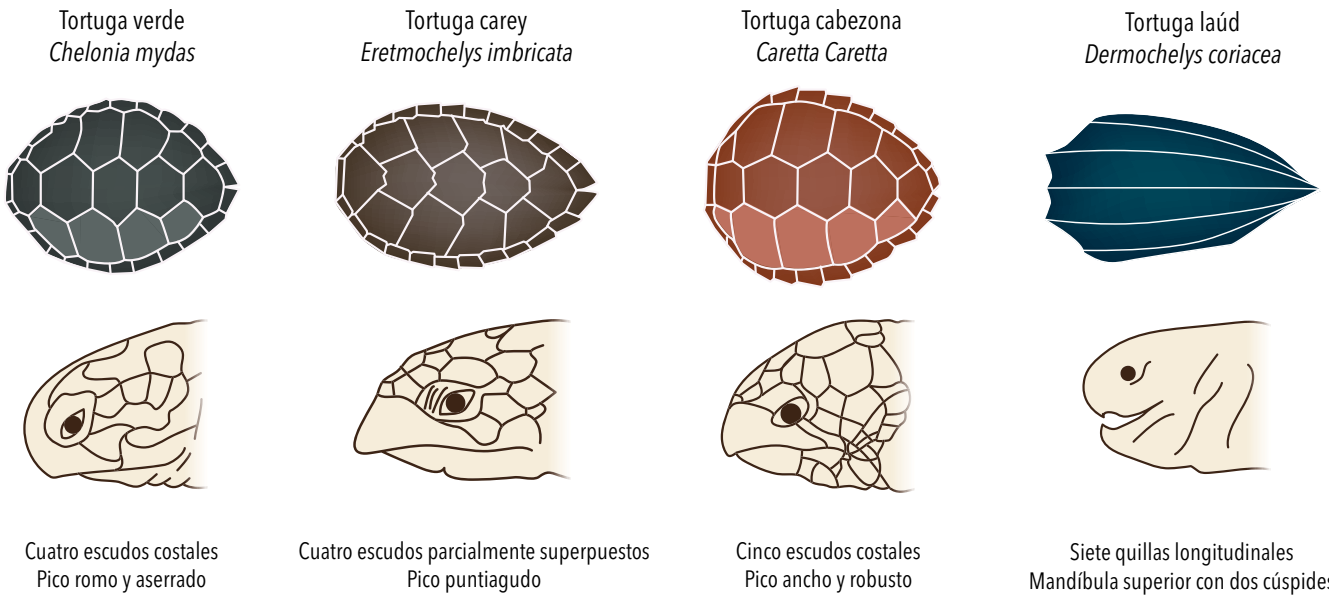



**Figura 3.** Características de las especies de tortugas marinas encontradas en aguas costeras de la Argentina.

las playas de desove se advierta una disminución sustancial de tortugas adultas. Y la conservación que pueda hacerse en los lugares de desove no alcanza para protegerlas de las amenazas que operan en áreas distantes, como las aguas costeras de la provincia de Buenos Aires.

## Las tortugas del Mar Argentino

Hay en el mundo siete especies de tortugas marinas, agrupadas por los científicos en seis géneros y dos familias. Cuatro de esas especies, las mencionadas tortugas verde, laúd, cabezona y carey, migran desde aguas cálidas a las latitudes templadas del Atlántico sudoccidental, donde encuentran alimento. La última pertenece a la familia *Dermochelyidae*; las otras tres, a la familia *Cheloniidae* (figuras 3 a 7).

¿Cómo se las distingue? La tortuga laúd posee un caparazón de color negro con manchas grisáceas surcada por siete elevaciones o quillas longitudinales. A diferencia de las *Cheloniidae*, carece de escudos o placas en el caparazón, lo mismo que de pico queratinizado. Su mandíbula superior presenta dos cúspides con las que captura presas de cuerpo blando como medusas. Solo come esa clase de presas, constituidas mayormente por agua. Es uno de los reptiles marinos más grandes, aunque no tanto como el cocodrilo marino (*Cocodrylus porosus*). Solo la cantidad de alimento disponible puede explicar la paradoja de hacerse gigante comiendo gelatina de agua.

Las tortugas de la familia *Cheloniidae* poseen escudos en el caparazón: la verde y la carey, cuatro pares de escudos costales, que la última especie presenta parcialmente superpuestos. La tortuga cabezona tiene cinco pares de escudos costales.

Las tres especies de *Cheloniidae* tienen picos queratinizados, diferentes en cada una. Como en los picos de las aves, su forma guarda relación con el alimento que consumen. La tortuga verde se alimenta exclusivamente de algas y pastos marinos, y tiene un pico romo y aserrado, adaptado a cortar materia vegetal. La tortuga carey secciona las esponjas mediante un pico puntiagudo, parecido al de un águila. La cabezona come cangrejos y caracoles que atrapa con un pico ancho y robusto, con mandíbulas fuertes que le permiten retener y aplastar las estructuras duras de sus presas.

Las tortugas que pasan algún tiempo en los mares cercanos a las costas argentinas llegan en diferentes etapas de su desarrollo. Las laúd arriban en estadio de casi adultos o adultos, con caparazones que miden entre 1m y 1,80m de largo y con más de 200kg de peso. Las verdes llegan como

### ¿TORTUGAS EN AGUAS NO TROPICALES?

Las tortugas marinas, como el resto de los reptiles, son *ectotérmicas*: su temperatura corporal depende de la del ambiente circundante. En aguas tropicales, la temperatura del cuerpo se encuentra por encima de los 28°C, en aguas templadas alrededor de los 15°C. La sobrevivencia en aguas templadas se basa en mecanismos de comportamiento y fisiológicos, como exponerse al sol en la superficie del mar o en tierra. La ubicación de los pulmones en la parte dorsal, debajo del caparazón, permite que el calor se transfiera al resto del cuerpo por la sangre. Necesariamente en invierno deben migrar hacia zonas más cálidas y permanecer en ellas.

La tortuga laúd es la mejor adaptada a soportar bajas temperaturas. Los vasos sanguíneos que irrigan su grasa debajo de la piel se contraen con el frío. Esto hace disminuir el volumen de sangre circulante y logra una mejor distribución del calor generado por músculos en movimiento. El tamaño corporal de los adultos también facilita la retención de calor pues, con relación a su volumen, su cuerpo tiene menor superficie por la que perderlo. Existen registros de una hembra que alcanzó la latitud de 45°, en aguas patagónicas más allá de la plataforma continental argentina.









**Figura 4.** Tortuga verde (*Chelonia mydas*).
**Figura 5.** Tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*).
**Figura 6.** Tortuga cabezona (*Caretta caretta*).
**Figura 7.** Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*).

juveniles de 30cm a 50cm de largo de caparazón, y pesos de entre 3kg y 10kg. En las cabezonas se encontró un rango más amplio de tamaños, entre 45cm y 90cm de largo, y entre 15kg y 40kg de peso, juveniles, subadultos y adultos. Los dos ejemplares de tortuga carey registrados hasta la fecha en aguas sudatlánticas fueron juveniles de unos 40cm de largo.

La mayoría de las tortugas verdes que llegan a estas costas nacieron en playas de la pequeña (91km$^2$) isla volcánica de Ascensión, a más de 6000km de distancia. La de Ascensión es en números la segunda población de tortugas verdes del Atlántico, con más de 10.000 hembras que desovan por año. La más abundante es la de Tortuguero, en la costa del Caribe de Costa Rica, con unas 30.000 hembras. Otras colonias que contribuyen a la población de tortugas verdes del Atlántico Sur están en islas brasileñas como Trinidad, atolón de las Rocas y Fernando de Noronha; en Surinam, y en la isla de Aves, Venezuela. Algunas tortugas laúd provienen de las costas de Gabón, donde existe una de las colonias de desove más grandes del Atlántico (figura 8).

## Captura accidental e ingesta de basura

Las aguas de la plataforma continental argentina son ricas en nutrientes, lo que permite una alta productividad fitoplanctónica. Esta sostiene una cadena alimentaria en la que participan numerosas especies, incluyendo crustáceos, moluscos y peces. Muchos pobladores del mar son objeto de pesca artesanal e industrial orientada en gran medida a la exportación.

Salvo excepción, las pesquerías de la plataforma no son selectivas, es decir, terminan capturando también especies no deseadas ni comercializadas, entre ellas delfines, lobos marinos, aves y tortugas. Es una captura accidental que a nadie beneficia y se arroja al mar, pero tiene poca posibilidad de supervivencia. Además, puede ocasionar problemas prácticos, como rotura de redes o lesiones a pescadores que intentan liberar animales atrapados (figura 9).

Las tortugas aprisionadas en las redes mueren en la mayoría de los casos por asfixia antes de que los pescadores las levanten, ya que necesitan respirar aire en la superficie y quedaron retenidas bajo el agua por más tiempo del que pueden sobrevivir. Las tortugas muertas arrojadas al mar suelen terminar en la costa, como no es raro constatar caminando por las playas bonaerenses en verano (figura 10).

Mediante campañas de información, los biólogos hemos conseguido que los pescadores traigan a puertos como San Clemente del Tuyú decenas de tortugas muertas o rescatadas de las redes. Esta colaboración permite estudiar la dieta de los animales analizando los contenidos de sus tractos digestivos. Encontramos que consumen medusas, moluscos y algas, pero también considerable cantidad de basura. Ingerir residuos, en particular bolsas plásticas, cau-

sa obstrucciones intestinales en las tortugas y les altera la nutrición. Además les perturba el buceo, pues un intestino obstruido actúa como un flotador que dificulta la inmersión. Ello degrada la condición física del individuo y puede impedir la migración hacia zonas más cálidas cuando empieza el otoño. Consecuentemente, no son raros los casos de tortugas que durante el invierno aparecen varadas en las playas en estado letárgico por la hipotermia y la desnutrición. Al ser llevadas a centros de rehabilitación, es frecuente descubrir que el animal sufría de una obstrucción intestinal que le dificultaba alimentarse.

Cuando la basura ocupa lugar en su estómago, una tortuga puede compensar la menor cantidad de alimento comiendo más. Pero el tamaño de su estómago es limitado y si una porción importante de él está ocupada por desechos, no existe espacio para más alimento. En última instancia, esa perturbación alimentaria afecta su crecimiento y su reproducción.

La costa de la provincia de Buenos Aires está densamente habitada y genera más de 1kg de basura por persona y por día, una parte de la cual termina en el mar. También se arroja basura desde embarcaciones comerciales, pesqueras y de recreación. Cada año, los turistas que veranean en la costa atlántica dejan toneladas de residuos en las playas. Es urgente tomar conciencia de que esto atenta contra la supervivencia de algunas especies animales, como las tortugas.

## Seguimiento satelital

Las tortugas marinas son animales difíciles de observar en el mar. Salen a la superficie brevemente para respirar y, en la costa de la provincia de Buenos Aires, las aguas turbias dificultan advertir su presencia. El seguimiento remoto por telemetría satelital ha permitido estudiarlas a distancia y está aportando información que podría servir para protegerlas.

El método consiste en pegar al caparazón del animal un transmisor cuya señal, captada y retransmitida por satélites, permite establecer su ubicación geográfica en el agua. Se requiere atrapar una tortuga, colocarle el transmisor y registrar los datos que envían los satélites. Los autores realizan esta clase de investigaciones con tortugas que quedaron atrapadas accidentalmente en redes de pesca y fueron traídas vivas a puerto. Cada vez que una tortuga así equipada sale a la superficie a respirar, los satélites recogen la señal de su transmisor y se establece la posición (latitud y longitud) en que se encuentra. La sucesión de posiciones permite conocer sus movimientos locales y globales (figura 11). Si el seguimiento se mantiene durante varios meses, se pueden detectar áreas del mar de uso intenso y cuán susceptibles son a amenazas relacionadas con la pesca y la basura.

El seguimiento satelital de las tortugas verdes, cabezonas y laúd permitió determinar, por ejemplo, que el Río de la Plata es un área de alimentación intensamente utilizada




**Figura 8.** Migraciones de las tortugas verdes (*Chelonia mydas*, itinerarios naranja) y laúd (*Dermochelys coriacea*, itinerario negro) que llegan a las aguas costeras de la Argentina. La mayoría de las tortugas verdes provienen de playas de desove en la isla Ascensión, aunque también se ha registrado la contribución de otras colonias, como las brasileñas de isla de Trinidad, atolón de las Rocas y Fernando de Noronha; la isla de Aves, Venezuela, y la costa de Surinam. Las hembras de tortuga laúd provienen de Gabón, en África.



**Figura 9.** Tortuga cabezona (*Caretta caretta*) capturada accidentalmente en una red de pesca en la bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires.



**Figura 10.** Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) en la playa de Santa Teresita, provincia de Buenos Aires.

por esas especies. También se pudo saber que las tortugas frecuentan las zonas de pesca de las flotas costeras de la provincia de Buenos Aires y del Uruguay. Las áreas donde tienen lugar las pesquerías y transcurre la vida de las tortugas jóvenes se encuentran, además, contaminadas por basura sólida que proviene de ciudades como Buenos Aires y Montevideo, y de los barcos pesqueros y de transporte.

El estuario del Río de la Plata es hábitat de las tortugas desde fines de la primavera hasta comienzos del otoño, cuando inician su migración hacia aguas más cálidas del sur del Brasil. Una vez que abandonan la costa argentina, pueden ocupar ambientes costeros sobre la plataforma brasileña o bien ambientes oceánicos con profundidades que superan los 1500m, en los que operan otras pesquerías, que capturan decenas de tortugas todos los años.

Si se conocieran las áreas más relevantes para las tortugas marinas, se las podría proteger mejor. En el golfo de México, por ejemplo, se usan dispositivos excluidores de tortugas en las redes de arrastre de los barcos camaroneros, que permiten a los animales atrapados escapar de la red sin costo para los pescadores. Esos dispositivos son de uso obligatorio, especialmente en aguas costeras donde se concentra la mayor cantidad de tortugas. Otro recurso es la creación de zonas protegidas, solución a la que se ha recurrido en beneficio de las tortugas cabezonas de California.

La cuestión de la basura no es sencilla. El reciclado de los plásticos y el uso de plásticos biodegradables no están ocurriendo. Los segundos son más costosos que los convencionales. Los plásticos permanecen mucho tiempo en los ecosistemas terrestres y marinos, y diseminan contaminantes que no resultan eliminados ni aun con el reciclado. En los Estados Unidos, a pesar del esfuerzo puesto en limpiar playas y arrecifes, la cantidad de basura costera sigue siendo muy elevada. Los esfuerzos se han empezado a concentrar en zonas de alimentación de aves, mamíferos y reptiles.

En un área de manejo especial, se podría modificar las actividades humanas como la pesca o el vertido de residuos, y de esa manera intentar disminuir las amenazas para especies o poblaciones amenazadas. En la Argentina, los trabajos para identificar las especies de tortugas marinas presentes y sus problemas de conservación son de reciente data. Los estudios de la biología de estas especies entregan hoy información valiosa para diseñar medidas de conservación. Lograr la participación y el apoyo de poblaciones locales, pescadores, organizaciones no gubernamentales y organismos de gobierno, entre otros, es una tarea prioritaria que merece los mayores esfuerzos. También es necesario coordinar acciones con los países vecinos hacia donde migran las tortugas.

## Conservación

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, casi todas las especies de tortugas marinas se encuentran *en peligro* o *en peligro crítico* de extinción en todo el mundo. Las causas siempre remiten a actividades humanas. La captura intensiva de tortugas adultas, por su carne y grasa, y la recolección de sus huevos comenzaron a mediados del siglo XIX, con viajeros que se aprovisionaban en las regiones que recorrían. Las tortugas les resultaban fáciles de capturar y podían ser mantenidas vivas en los barcos durante meses. La intensa explotación en las playas de desove condujo, por ejemplo, a dramáticas disminuciones de las poblaciones de tortugas verdes de la isla Ascensión y de las Bermudas. El consumo de huevos continúa hasta hoy en playas de desove del Caribe, Asia y África.

El poblamiento de zonas costeras afectó a tortugas adultas y a crías en las playas de desove. La construcción de hoteles, la iluminación artificial de las playas, los rellenos y los dragados en áreas costeras alteraron el hábitat y pusieron en riesgo la supervivencia de algunas poblaciones, en particular las de tortugas cabezonas en el Mediterráneo.

A las amenazas en las playas de desove, se suman las de las áreas de alimentación. La captura accidental en pesquerías artesanales y comerciales es un trastorno global. La captura de adultos de tortuga laúd en las pesquerías del Pacífico, sumada al consumo de sus huevos, ha causado una disminución del 95% en el número de hembras adultas en las playas de desove. Se estima que en la




**Figura 11.** Seguimiento satelital de tortugas verdes (*Chelonia mydas*), cabezonas (*Caretta caretta*) y laúd (*Dermochelys coriacea*) en aguas costeras de la Argentina, el Uruguay y el sur del Brasil. Las tres especies utilizan intensamente el estuario del Río de la Plata para alimentarse. La barra negra en el borde inferior da la escala y representa 600km.

actualidad viven tan solo 2300 hembras de tortuga laúd en todo el Pacífico.

Las tortugas marinas tienen un papel único en la evolución y el mantenimiento de la estructura y dinámica de los ecosistemas marinos. La tortuga verde es uno de los pocos grandes herbívoros marinos. Consume pastos y contribuye al ciclo de los nutrientes, y por ende a la producción biológica general del hábitat. Sin pastoreo constante, las hojas pueden crecer en exceso, entorpecer las corrientes y ensombrecer el lecho marino hasta que se descomponen y favorecen la formación de limo y la proliferación de invertebrados y hongos.

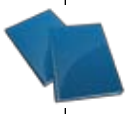
En forma similar, la tortuga cabezona, al romper en pequeños fragmentos los moluscos de los cuales se alimenta, aumenta el reciclado de nutrientes en el lecho marino. También, hace surcos sobre el sustrato cuando busca alimento, lo que afecta la compactación, aireación y distribución de esos nutrientes del sedimento, así como la distribución y diversidad de las especies que allí habitan.

La tortuga laúd contribuye al control de las poblaciones de medusas. Cuando estas aparecen en grandes cantidades, invaden áreas de uso humano y causan pérdidas económicas por la perturbación del turismo. La proliferación de medusas puede atascar las tomas de agua de refrigeración de plantas generadoras de electricidad.

Aparte del valor estético y cultural que asignamos a los animales con los que hemos convivido por siglos, las tortugas marinas cumplen funciones ecológicas como presas, consumidores, competidores y hospedadores. Esas funciones son cruciales para la transferencia de energía y de nutrientes en el ecosistema del que forman parte, e incluso entre distintos ecosistemas. Protegerlas implica cuidar un eslabón fundamental de los ecosistemas marinos y terrestres de todo el mundo. CH

*Muchas instituciones científicas privadas y gubernamentales de Buenos Aires, Río Negro y Chubut participan en el Programa Regional de Investigación y Conservación de Tortugas Marinas de la Argentina. El seguimiento satelital se realiza con el apoyo de Aquamarina-CECIM, Unión Argentina de Pescadores Artesanales, Fondo para la Conservación Ambiental del Banco de Galicia, Scott Neotropical Fund, Jardín Zoológico de Buenos Aires, Wildlife Conservation Society, South Atlantic Initiative, Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global, Conicet e INIDEP.*

## LECTURAS SUGERIDAS



**ECKERT KL y ABREU GROBOIS FA**, 1999, *Conservación de tortugas marinas en la región del gran Caribe. Un diálogo para el manejo regional efectivo*, Widecast Conservation Materials Distribution Center, St. Croix, Islas Vírgenes, disponible (febrero de 2012) en *http://www.widecast.org/Resources/Docs/Eckert_and_AbreuGrobois_2001_Regional_Mgmt_Dialogue_Proc_SP.pdf*.

**ECKERT KL** *et al*., 2000, *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de tortugas marinas*, UICN-CSE, disponible (febrero de 2012) en *http://mtsg.files.wordpress.com/2010/07/tecnicas_de_investigacion_y_manejo_para_la_conservacion_de_tortugas_marinas.pdf*.

**GILMAN E & BIANCHI G**, 2009, *Guidelines to reduce sea turtle mortality in fishing operations*, FAO, Roma, disponible (febrero de 2012) en *http://www.fao.org/docrep/012/i0725e/i0725e.pdf*.

**Programa Regional de Investigación y Conservación de Tortugas Marinas de la Argentina** *www.prictma.com.ar*.

**Red ASO-Tortugas Marinas del Atlántico Suroccidental** *http://www.tortugasaso.org/portal.html*.



Wikimedia Commons

Ciencia Hoy Volumen 12 número 69 junio - julio 2002

**Mirtha Lewis**
Centro Nacional Patagónico, Conicet, Puerto Madryn

**Claudio Campagna**
Wildlife Conservation Society

# Los elefantes marinos de península Valdés

A comienzos de octubre de cada año, se desarrolla en la costa de la Patagonia un evento que por su predictibilidad y constancia bien podría compararse con un eclipse. No se trata, sin embargo, de un suceso astronómico sino de uno biológico: los elefantes marinos de la península Valdés alcanzan el pico de la temporada reproductiva (ver el recuadro 'Aspectos biológicos relevantes del elefante marino del sur'). Durante unos pocos días se concentran en las playas más individuos reproductivos que durante el resto del año. Cientos de harenes se distribuyen como cuentas de collar en casi 200km de costa y el 85% de las hembras presentes está criando. La primera semana de octubre marca el momento culminante del 'año elefantino' (ver el recuadro 'Entre el mar y la costa'), pero la temporada de reproducción comienza varias semanas antes y se extiende por algunas semanas más. Si realizáramos un recuento de la población reproductiva a fines de agosto, encontraríamos muy pocas hembras adultas y ningún macho reproductivo. La escenografía cambia durante la primera semana de septiembre con la llegada de algunos machos y de más hembras. A mediados de septiembre, el número de animales sobre las playas aumenta visiblemente y se inicia una aceleración que hace cumbre alrededor del 3 al 6 de octubre. Hacia mediados de octubre comienza el éxodo. Los adultos abandonan la playas que se encuentran ahora ocupadas por las crías nacidas durante las semanas anteriores. Flacos, cansados y heridos, los pocos machos que quedan descansan en playas solitarias, antes de dejar la costa por un tiempo más largo aún del que les llevó reproducirse.

El elefante marino es una especie poligínica y la estructura unitaria de reproducción es el harén. El pico de la temporada reproductiva representa el momento de mayor número de harenes con la cantidad máxima de hembras por harén en la costa. Un harén consiste en un grupo de

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Durante la primavera austral, la península Valdés es el escenario de la masiva visita del elefante marino. Se trata de la temporada reproductiva. El recuento año tras año de este conjunto migrante es un trabajo arduo pero indispensable para conocer la dinámica de la población.

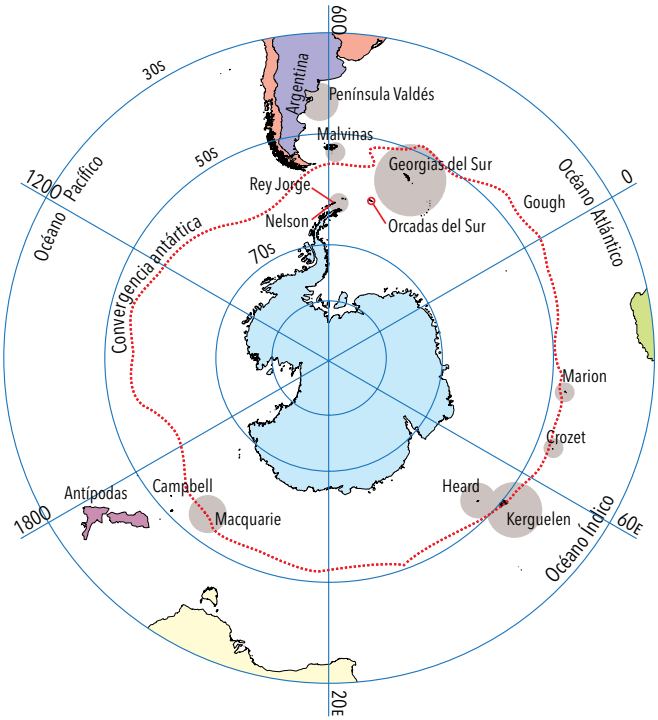



**Figura 1.** Distribución mundial de las agrupaciones de reproducción del elefante marino del sur (*Mirounga leonina*). El diámetro de los círculos es proporcional a la cantidad de nacimientos anuales (rango entre 100 y 100.000 crías).

hembras (hasta 130) bajo el monopolio reproductivo de un macho adulto. No es el macho quien las agrupa, son ellas que conforman el núcleo inicial de un harén cuando llegan a los lugares de reproducción. El macho solo aprovecha el 'recurso monopolizable' y trata de defenderlo frente a otros interesados. No hay lugar para todos los machos en condiciones de controlar un harén. La competencia implica la constante actitud de alerta, día y noche, marea alta y baja, calor o frío, y, eventualmente, la lucha.

## Particularidades de la 'elefantería' de Valdés

La península es un lugar singular aun en una costa especial como es la patagónica. Valdés presenta varios frentes costeros. Aproximadamente 330km de los 530km que conforman el perímetro total de la península constituyen los límites de tres golfos: al norte el San José y el San Matías (del cual Valdés contribuye solo con una parte de su contorno). Al sur, el Nuevo. Los 200km de costa restantes se encuentran expuestos al mar abierto, al Atlántico sudoccidental. Los golfos se caracterizan por aguas más tranquilas que las del frente oceánico, y son los elegidos por las ballenas francas australes como una de sus principales áreas reproductivas. Por razones que aún no entendemos bien, los elefantes solo se encuentran en las costas expuestas al mar abierto. Es raro encontrar elefantes en las playas del interior de los golfos. Unos pocos harenes se forman en las costas del golfo San José, en torno a la Punta Buenos Aires, pero cada año son menos los que se reproducen en esta franja costera peninsular.

Dado que península Valdés se encuentra a una latitud templada del Atlántico Sur, su elefantería se diferencia de las agrupaciones insulares subantárticas o antárticas, donde también reproducen y mudan los elefantes marinos (figura 1). Mientras que la mayoría de las elefanterías se encuentran en la cercanía de la convergencia Antártica, Valdés se ubica a 1500km al norte de dicha convergencia. Además, la península se proyecta sobre una extensa plataforma continental, la más amplia del hemisferio sur, poco profunda y de suave declive. Las demás agrupaciones, por el contrario, se encuentran al borde de los taludes continentales, en la cercanía de aguas profundas (ver el recuadro 'Aspectos biológicos relevantes del elefante marino del sur').

## Censos de elefantes

En la segunda mitad del siglo XX los estudios demográficos sobre elefantes marinos del sur mostraron que la mayoría de las poblaciones import antes de la especie se encontraba en franca declinación. Las estimaciones poblacionales para las islas Georgias sugerían que esta agrupación se encontraba estable, pero los recuentos realizados en otras islas que tradicionalmente habían albergado importantes grupos de elefantes, mostraban una caída poblacional considerable. La elefantería de las islas Kerguelen, por ejemplo, disminuyó en tamaño un 23% entre 1952 y 1977, la de las islas Macquarie cayó un 50% entre 1959 y 1985. Estas dos agrupaciones concentraron históricamente la mayor parte de los elefantes marinos del sur del mundo fuera de las islas Georgias. ¿Qué pasaba comparativamente en Valdés? ¿El número permanecía estable, como en las Georgias, o estaba cayendo, como en la mayoría de las demás agrupaciones?



Los datos históricos sobre la agrupación de península Valdés sugerían que esta población no tenía demasiados años de existencia. Los viejos pobladores de la península recordaban haber visto unos pocos elefantes en la Punta Norte hacia principios de siglo, pero no los recordaban en el sur de la península. Los primeros relevamientos cuantitativos comenzaron en la década de 1940 y parecían confirmar el conocimiento popular sobre el tema. Hacia mediados de 1960 se publicaron los primeros datos biológicos sobre la denominada 'elefantería de Punta Norte', un nombre compatible con la existencia de animales solo en una parte de la costa peninsular. El primer censo total de la agrupación de elefantes de Valdés se realizó a mediados de 1970. El trabajo consistió en un recorrido en avioneta de todo el contorno de la costa donde se encontraban elefantes. Se contó un total de 3933 crías. ¿Eran más o menos que en los años 40 o 50 o 60 o 70? Las diferencias metodológicas dificultaban las comparaciones. Se necesitaban nuevos datos tomados a largo plazo.

La nueva etapa en los estudios demográficos sobre la especie comienza a principios de 1980. Dos metodologías son las más comunes para efectuar un censo de elefantes marinos. La primera implica sobrevolar el contorno de la costa peninsular en unas pocas horas, para luego dedicar algunos días al trabajo de laboratorio a los fines de contar animal por animal en cientos de fotografías tomadas durante el vuelo. La alternativa involucra algunos días de caminatas por las playas peninsulares, seguidos por unas pocas horas frente a la computadora analizando datos. Un censo aéreo tiene un componente fuerte de aventura. Durante tres horas y media se recorren más de 200km a menos de 100m de altura. El avión sigue el contorno de la costa, penetra bahías acotadas por magníficos paredones verticales y elude las puntas de los acantilados. La exigencia de estos vuelos requiere pilotos avezados en los vientos de la Patagonia e investigadores capaces de dominar la omnipresente sensación de catástrofe inminente. El objetivo



es fotografiar cada uno de los harenes dispersos en las playas de península Valdés para determinar la cantidad de crías nacidas en una temporada (figura 5).

A pesar de volar bajo, los cachorros del elefante marino se ven pequeños desde un avión como para contarlos con exactitud incluso a partir de una buena fotografía. Puede además ocurrir que la perspectiva de la fotografía deje a las crías ocultas detrás de sus madres y no aparezcan fotografiadas. Es por eso que la estimación de cantidad de crías producidas se realiza a partir del número total de hembras adultas. Las madres son suficientemente grandes como para destacarse bien en la fotografía aérea. En consecuencia, el día del censo aéreo debe coincidir con el máximo número de hembras en la costa, evento que ocurre a principios de octubre. Como cada hembra pare una sola cría, el número de hembras refleja la producción de crías. Muy pocos partos tienen lugar luego del pico de la temporada y las hembras que ya se han ido al momento del censo dejan un cachorro destetado en la costa, el cual se observa fácilmente desde un avión.

## ENTRE EL MAR Y LA COSTA

Los elefantes marinos, como todos los pinnípedos, pasan parte de su vida en el mar, donde se alimentan, y parte en la costa, donde paren a sus crías y las amamantan. La afluencia de estos animales a la playa es un fenómeno predecible en el espacio y acotado en el tiempo.

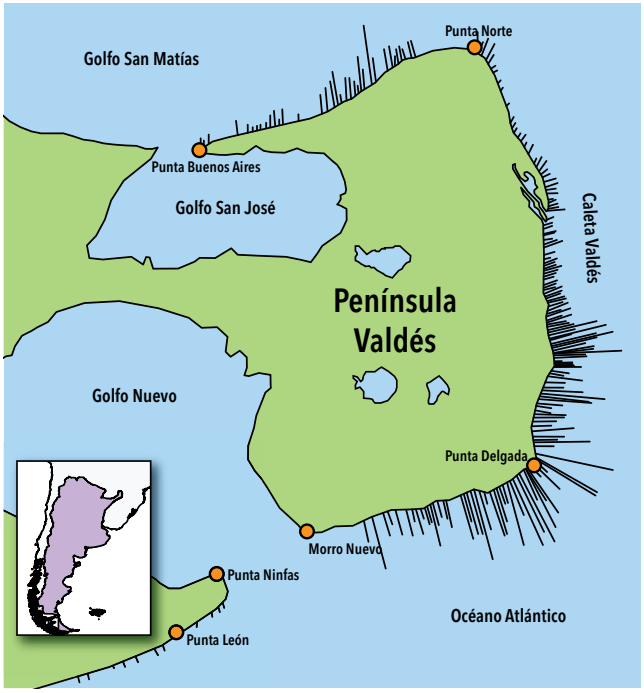
En la Patagonia, el elefante marino del sur se encuentra en abundancia solo en la península Valdés. La parición ocurre entre mediados de agosto y fines de octubre. La hembra parturienta llega del mar luego de ocho meses sin salir a la costa. El parto ocurre en el transcurso de la semana posterior a su llegada. Cada hembra pare una sola cría por temporada reproductiva y la amamanta durante aproximadamente 23 días. La cría, que pesa al nacer 40kg, se desteta solo tres semanas más tarde pesando 130kg. Dos o tres días antes del destete, la madre, que ayunó durante el período de amamantamiento, se aparea, queda preñada y parte nuevamente hacia el mar. La cría no la sigue, aún no se encuentra madura como para sobrevivir a un viaje de alimentación. Durante poco más de un mes, esta queda en la costa sin alimentarse hasta que llega el momento de su primer viaje al mar.

Transcurridas las siete u ocho semanas de la etapa marina posreproductiva, la hembra adulta regresa a la costa a mudar la piel (diciembre a febrero). Para ese momento, su cría se encuentra en el mar. Un mes más tarde, con la piel renovada, la hembra vuelve a partir, esta vez hasta que llega el momento de una nueva temporada de pariciones y apareamientos.



**Figura 2.** Hembra de elefante marino. Fotografía Dave Longhorn, flickr.com

El equipo de investigadores que participan del vuelo consiste en un fotógrafo, un asistente de fotografía y un 'apuntador'. Todos trabajan bajo presión. Arrodillado en el piso de la cabina, detrás del asiento del piloto, el fotógrafo apunta su cámara hacia la playa y dispara una foto tras otra. Un rollo se consume en segundos. Entonces se cambia de cámara mientras el asistente reemplaza el rollo expuesto por uno nuevo. Se trabaja sin pausa durante las tres o cuatro horas de vuelo. La ventanilla del avión del lado del piloto permanece abierta para que las imágenes sean más claras y un fragor agobiante invade la cabina y el viento frío curte las manos.



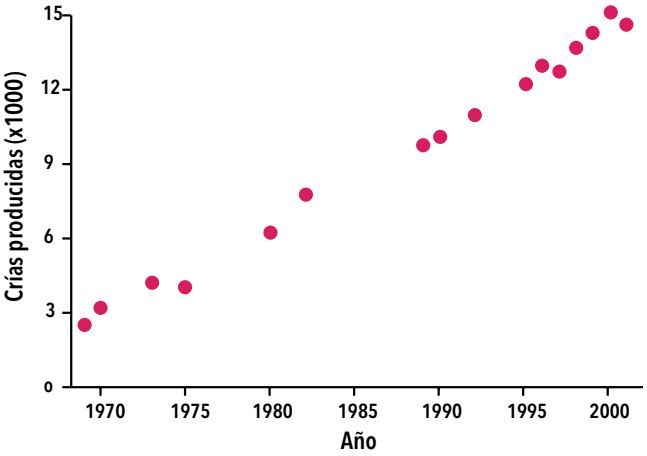




**Figura 3.** El número de crías nacidas en la colonia reproductiva de península Valdés se ha incrementado desde 1969.

Los censos aéreos están expuestos a algunos problemas. En primer lugar, dependen de las condiciones meteorológicas. En segundo lugar, un error del fotógrafo o de sus colaboradores, un problema en el revelado de los rollos o en las grabaciones que permiten relacionar sitios con números pueden arruinar todo el esfuerzo. Por último, la idea de pasar unas cuantas horas en una avioneta que sobrevuela la costa a baja altura quita el sueño. Es por eso que, a partir de 1995, se decidió reemplazar los censos aéreos por formidables caminatas de la costa peninsular que permiten los censos terrestres.

El trabajo de un censo terrestre implica la participación de muchas más personas que las cuatro que conviven las intensas horas de un censo aéreo. El primer requisito de un censo terrestre es recorrer los 200km de costa en 2-3 días. Un censo representa una visión instantánea del número de animales de toda la elefantería. Durante las horas que dura un vuelo, el número y la distribución de los animales se mantienen virtualmente constantes. Pero en un período de varios días, las características de la elefantería pueden cambiar. Es por esta razón que los censos terrestres tienen que llevarse a cabo en pocos días. Un censo terrestre se planifica sobre mapas detallados, como en las expediciones de exploración. La costa se divide en tramos y a cada persona se le asigna un recorrido. Se coordinan horas, lugares, marcas, elementos de trabajo, se compran provisiones, se preparan equipos de comunicación y se llega al momento del primer paso.

Las diferentes costas ofrecen grados variables de dificultad para el censista. Desde Punta Buenos Aires a Punta Norte, por ejemplo, parte del relevamiento se hace desde acantilados de hasta 80m de altura. Una y otra vez apare-

**Figura 4.** Ubicación de 494 harenes (rango 5 y 120 hembras) de elefante marino en la costa de península Valdés y Punta Ninfas posicionados con GPS en el pico de la temporada reproductiva de 2001. La longitud de las líneas sobre el perímetro de la península es proporcional al tamaño del harén.

## ASPECTOS BIOLÓGICOS RELEVANTES DEL ELEFANTE MARINO DEL SUR

El elefante marino del sur, *Mirounga leonina*, es una de las cinco especies de focas del hemisferio sur. Los fócidos son una familia del orden *Pinnipedia*, al que también pertenecen los lobos marinos y las morsas. Dos de las dieciocho especies de focas vivientes en el mundo son elefantes marinos. Una de ellas, el elefante marino del norte, *Mirounga angustirostris*, tiene una distribución limitada al Pacífico norte. La especie del sur, que es la que nos ocupa, habita en una serie de islas y penínsulas del océano Austral (figura 1).

Los elefantes marinos son los pinnípedos vivientes de mayor tamaño, y la característica distintiva de estas focas es su nariz o probóscide, cuyo máximo desarrollo ocurre en machos adultos de más de diez años de edad. Como son pocos los machos de elefante marino que llegan a vivir diez años (y casi ninguno supera los dieciocho años de vida) la gran mayoría de los elefantes que se pueden ver en una playa no tienen la descomunal nariz que caracteriza a estos últimos. Un macho adulto puede pesar tres toneladas y medir hasta cinco metros de longitud. Las hembras, por su parte, no desarrollan una nariz prominente, pesan en promedio 500 a 600kg y miden poco más de tres metros de largo (figura 2). Las crías y los juveniles hasta los dos años de edad no presentan características físicas que permitan diferenciar el sexo externamente.

Se estima que la población mundial del elefante marino del sur supera los 700.000 animales mayores de un año de edad. De los catorce lugares del mundo donde la especie se reproduce el más importante se encuentra en las Islas Georgias, ubicadas en el Atlántico Sur.

Aproximadamente la mitad de la población mundial de elefantes se reproduce en estas islas, cuya superficie es similar a la península Valdés. Más de 100.000 crías nacen cada año en las playas de las Georgias. Otras agrupaciones relevantes por su tamaño se encuentran en las latitudes subantárticas de los océanos Pacífico e Índico, en los archipiélagos de las islas Kerguelen y Macquarie. Sobre la base del número de crías que nacen cada año, península Valdés ocupa el cuarto lugar entre las agrupaciones de la especie (figura 1).

cen en el camino cañadones perpendiculares a la playa que desagotan las tierras del norte de la península hacia el golfo San Matías. Estas enormes zanjas secas de 100 o más metros de ancho se extienden uno o dos kilómetros tierra adentro. Para pasarlas, hay que bordearlas hasta encontrar el lugar en el que se hacen menos profundas. Entonces se las cruza y se regresa hacia la playa para retomar el censo. Se puede emplear una hora en adelantar 200 metros de costa para obtener un dato. Entre Punta Norte y caleta Valdés, por el contrario, las playas son de canto rodado. A cada paso, una parte del esfuerzo se disipa hundiéndose en la playa. Caminar las extensas playas de arena que se encuentran en algunas partes de la costa norte y este de la península es menos azaroso. El peligro de estas playas es que suelen conducir a puntas solo franqueables con mareas bajas.

## Crías producidas, número de harenes, tamaño de la población

Hacia fines de noviembre de 2001 se envió el siguiente informe al gobierno de la provincia del Chubut:

*Entre el 3-7 de octubre de 2001 se contaron en 210km de costa de península Valdés 25.923 elefantes marinos. De este total 12.525 animales fueron hembras adultas agrupadas en 494 harenes. Cada harén fue localizado con GPS (ver mapa adjunto). El número de crías nacidas fue de 14.115. El harén más numeroso tenía 120 hembras. Poco más de 1800 machos adultos se disputaron los casi 500 harenes, por lo cual menos del 54% llegó a la máxima categoría de reproductor. El 77% de los animales se distribuyó hacia el sur de la península a partir de los 42° 30'.*

Resumíamos así en un párrafo los aspectos más destacables del último censo terrestre de elefantes marinos. Esta información circuló por los medios locales y se envió a los medios nacionales, a las ONG y a los que participaron en la actividad. La temporada 2001 representaba la sexta temporada consecutiva de censo terrestre y la duodécima para la cual teníamos datos detallados de toda la población. Hoy sabemos que:

1. El número de nacimientos por año se encuentra en incremento a una tasa del 3,5% anual entre 1982 y 2001 (figura 3).

2. Si se incluyen las mejores estimaciones anteriores a 1982, la tasa anual de incremento llega al 5,2% entre 1969 y 2001.

3. Sobre la base de la producción de crías, se estima que la población total de Valdés es de 50.700 animales mayores al año de edad.

4. La mortalidad de crías entre el nacimiento y el destete se estima en un 4%, mientras que entre el destete y la partida al mar la mortalidad es menor.

5. El 98% de la población reproduce en costas de península Valdés. Solo el 2% de los animales se encontraba en playas cercanas entre Punta Ninfas y Punta León (tabla 1).

6. La proporción de sexos es de siete hembras por macho potencialmente reproductor.

7. El número de harenes no refleja el incremento poblacional. En 1982 se contaron 477 unidades reproductivas y 524 en el 2001 (tabla 2).

8. El tamaño de los harenes es relativamente pequeño comparado con otras agrupaciones, mediana: 16, rango: 2-120, media: 22 hembras por harén. Los harenes más numerosos con un solo macho, no superan las 120 hembras en el pico de la temporada reproductiva 2001.

En los 4000km² que conforman la península Valdés, coexiste una parte importante de la biodiversidad patagónica que ha convertido a este complejo ecosistema en epicentro turístico de relevancia internacional. En este contexto, el Estado debe controlar las acciones sobre los recursos naturales y garantizar su conservación integral, un requerimiento de manejo de considerable dificultad, del cual depende también el futuro de los elefantes marinos en la Patagonia.

Las intenciones de ordenamiento en el manejo aplicables a la península tienen diversos antecedentes. Desde 1967, el gobierno de la provincia del Chubut ha sancionado 36 leyes para regular las actividades de turismo, pesca, ganadería y minería relacionadas con la fauna, el patrimonio cultural y la protección de áreas particularmente valiosas. Sin embargo, la legislación disponible promovió acciones aisladas para algún sector o grupo de interés (por ejemplo, la ley 1238, Creación del Parque Marino Provincial Golfo San José, o las leyes 2381 y 2618 de reglamentación del avistaje de ballenas).

Reconociendo la importancia natural del área y la necesidad de llegar a un manejo integrado del ecosistema peninsular, el 4 de diciembre de 1999 el Comité del Patrimonio Mundial de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, inscribió a la península Valdés en la lista de bienes naturales considerados patrimonio de la humanidad. Este logro del Estado provincial continuó con la convocatoria de los sectores con intereses en el área, a los fines elaborar un plan de manejo en el marco de un planeamiento estratégico participativo. Representantes del sector público y privado, y de la sociedad civil generaron un programa de objetivos denominado Plan de Manejo del Sistema Península Valdés (PM-SPV). El PM-SPV define los límites del área protegida y las áreas de amortiguación, diseñadas para mitigar los impactos ambientales producidos por actividades humanas o por causas naturales, sobre determinados recursos o áreas de particular valor. Recomienda además la zonificación de la península Valdés como procedimiento para el ordenamiento del uso del espacio.

Estas acciones protegen al ecosistema terrestre y las aguas circundantes. Los elefantes marinos están hoy mejor protegidos que diez años atrás... mientras están en la playa. Pero la mayor parte del ciclo biológico de la especie ocurre en el océano, a distancias de la costa donde el Estado no tiene jurisdicción. Conocida esta debilidad, se ha propuesto la creación de áreas oceánicas protegidas como herramienta de conservación a nivel del ecosistema (ver Ciencia Hoy, 63: 54-60, 2001, y 64: 32-38, 2001). Los elefantes marinos reflejan la estrecha interdependencia entre costa y océano, e inspiran acciones de protección a las que nos estamos acercando, aunque con lentitud. Durante su reproducción en la península Valdés, los elefantes marinos, no solo comparten el hábitat con otras especies de mamíferos terrestres y acuáticos sino que también lo hacen con actividades económicas, donde la mayor rentabilidad se sustenta en el turismo. Es en este complejo ecosistema terrestre donde convergen especies y actividades, que el Estado debe controlar las acciones sobre el ambiente y los recursos naturales, a los fines de garantizar su protección.

9. El 99% de las hembras se agruparon en harenes. Solo el 1% reprodujeron solas o en parejas solitarias (una hembra y un macho).

10. La distribución de los animales en el contorno de la costa ha variado en los últimos veinte años. En 1982, se estimaba que el 58 % de la población se encontraba entre Punta Buenos Aires y la boca de la caleta Valdés. Hoy, solo el 23% de la agrupación se encuentra en la misma zona, mientras que el 77% se distribuye entre la caleta y una zona relativamente cercana a Punta Delgada (Pico Sayago, figura 4).

## Epílogo

Los casi 51.000 elefantes marinos que componen la agrupación de península Valdés comparten este área con más de 130.000 ovejas, 18.000 lobos marinos de un

| Sector de costa | Hembras adultas | Crías y destetados | Machos reproductores | Juveniles | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| NORTE | 1.765 | 1.665 | 291 | 17 | 3.738 |
| ESTE | 6.686 | 6.346 | 860 | 41 | 13.933 |
| SUR | 3.853 | 3.277 | 555 | 12 | 7.697 |
| PUNTA NINFAS | 221 | 188 | 142 | 4 | 555 |
| Total | 12.525 | 11.476 | 1.848 | 74 | 25.923 |

**Tabla 1.** Distribución de los animales por sector de costa de la agrupación de elefantes marinos de península Valdés y Punta Ninfas. Datos obtenidos en octubre de 2001. Dentro de península Valdés, Norte: desde Punta Buenos Aires a Punta Norte, Este: desde Punta Norte a Punta Delgada, Sur: desde Punta Delgada a Morro Nuevo y fuera de península Valdés: Punta Ninfas hasta 30km hacia el sur.

| Temporada | Unidades reproductivas | Mediana del tamaño de harén | Tamaño máximo del harén | Hembras no agrupadas en harenes | Hembras adultas totales |
|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | 511 | 14 | 131 | 238 | 10.706 |
| 1996 | 533 | 15 | 139 | 206 | 11.233 |
| 1997 | 493 | 16 | 118 | 170 | 10.844 |
| 1998 | 522 | 16 | 125 | 180 | 11.577 |
| 1999 | 548 | 15 | 116 | 213 | 11.923 |
| 2000 | 553 | 15 | 123 | 147 | 12.606 |
| 2001 | 524 | 16 | 120 | 174 | 12.525 |

**Tabla 2.** Comparación de las unidades de reproducción para los censos realizados la primera semana de octubre entre 1995 y 2001. El número de unidades reproductivas incluye harenes, grupos de harenes y parejas solitarias, solamente excluye hembras que reprodujeron solitariamente. La mediana del tamaño del harén no incluye grupos de harenes ni parejas solitarias.

pelo, 2500 guanacos, 600 ballenas, 400 seres humanos (residentes) y un número indeterminado de otros mamíferos, aves, reptiles e invertebrados. Los censos de elefantes permiten acceder a lugares donde la fauna autóctona es abundante, y ofrecen la oportunidad de observar el ecosistema integralmente y de hacerse una idea de los problemas de conservación que afectan o podrían llegar a afectar el lugar (ver el recuadro 'Patrimonio de la humanidad'). Un censo es más que una actividad de contar animales, es una inspección, un reconocimiento, una vigilancia, y los censos nos muestran que Valdés no se encuentra libre de problemas. Nuestra experiencia y comprensión de la biología de los elefantes marinos nos lleva a concluir que el futuro de una buena parte de la diversidad biológica marina de Valdés depende crucialmente de la conservación de esa extraordinaria superficie azul, de un mar que llega hasta el borde de la playa. Estos resultados pueden ilustrar el estado de una población, pero no pueden salvarla. Las razones del incremento anual en el número de crías podrían estar relacionadas con la disponibilidad de alimento durante la etapa marina posterior a la reproducción, cuando las hembras necesitan recuperar el peso perdido en la lactancia. Si en algunos años encontramos que el número de animales comienza a disminuir, el problema que cause dicha disminución ya se habrá instalado. Si este tiene que ver con el tratamiento que le damos a los recursos oceánicos, nos veremos frente a un grave inconveniente. Los salvatajes de urgencia no son útiles para los ecosistemas, no hay terapias intensivas que rescaten ecosistemas, por lo tanto, no hay tratamiento de apuros para una población en problemas. Nuestros censos muestran que la población de elefantes se encuentra hoy en un estado óptimo de salud. Esta es la mejor hora de plantear una urgencia de conservación. CH



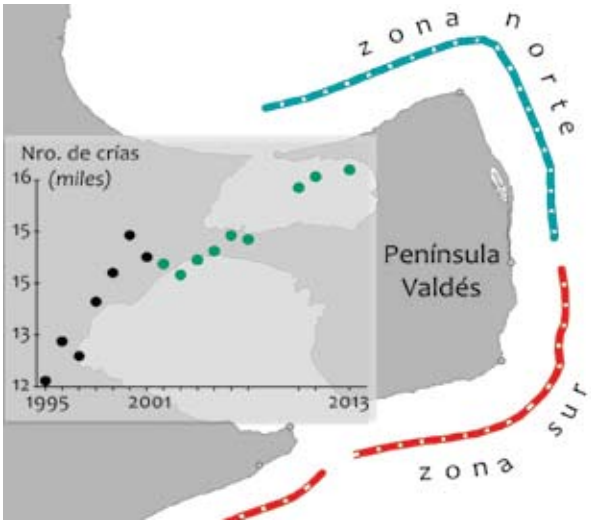
**Figura 5.** Vista áerea de un harén durante octubre. La mayoría de los animales que se observan son hembras adultas. Fotografía Guillermo Harris

# POBLACIONES DE ELEFANTES MARINOS DE PENÍNSULA VALDÉS 2002-2013



Mariano Ferrari y María Rosa Marín

Los estudios sobre la población de elefantes marinos en península Valdés se continúa realizando mediante censos terrestres en el pico de la temporada reproductiva. Ello permite observar el crecimiento poblacional e interpretarlo en función de las distintas variables que caracterizan a la colonia. Es así que, con pocas interrupciones desde 1995, se conocen el número de hembras, machos y crías destetadas, a partir de los cuales se han aplicado modelos retrospectivos y predictivos de la población. Hoy sabemos que la población se ha iniciado a principios de siglo XX en el sector norte de la península y que fue una colonia establecida, con más cien nacimientos anuales, a partir de 1935.




Distribución y número de elefantes marinos en península Valdés. El número de animales/km caracteriza una zona de baja densidad (Zona Norte) y una de alta densidad (Zona Sur). Número de crías por año para toda el área de estudio, conforme a los conteos de los censos terrestres desde 1995-2013, destacando en color los censos desde 2002 (recuadro del centro).

Se han identificado dos sectores diferenciables por el número de nacimientos y estructura social, caracterizados como de baja y alta densidad, correspondientes al sector norte y sur respectivamente (ver figura). Los animales son cada vez menos en el norte, y los harenes no tienen más de 16 hembras en promedio, mientras que en el sur promedian las 32 hembras y la población está aumentando. Se han aplicado modelos matemáticos y determinado que la estructura social tiene un rol fundamental en el éxito reproductivo de la siguiente temporada, lo que explicaría la tendencia dispar entre el norte y el sur.

La población total de elefantes de la península continúa en aumento, aunque más lentamente durante la última década (ver figura), a una tasa menor al 1% anual. Durante el último censo, en octubre de 2013, se contaron 28.379 animales (13.596 hembras) y se estimaron 16.198 nacimientos. El 82% de los animales se encuentra en el sector sur y cada vez se observan más animales al sur de Punta Ninfas, fuera de península Valdés. De acuerdo con el último censo había 750 hembras fuera de la península Valdés, distribuidas en 75 harenes, lo que sugiere una lenta expansión de la colonia hacia el sur del continente.

La continuidad y regularidad de los censos es una herramienta fundamental para comprender e interpretar el uso que hace la especie del ambiente costero.

## LECTURAS SUGERIDAS

**FERRARI MA, CAMPAGNA C, CONDIT R & LEWIS MN**, 2013, 'The founding of a southern elephant seal colony', *Marine Mammal Science*, 29 (3): 407–423.

**FERRARI MA, LEWIS MN, PASCUAL MA & CAMPAGNA C**, 2009, 'Interdependence of social structure and demography in the Southern elephant seal colony of península Valdés, Argentina', *Marine Mammal Science*, 25 (3): 681-692.

**FERRARI MA, LEWIS MN & CAMPAGNA C**, 2008, 'Two-sex population models applied to polygynous species', *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, t. XIV, Córdoba, Argentina, pp. 75-83.

## LECTURAS SUGERIDAS



**CAMPAGNA C**, **QUINTANA F & BISIOLI C**, 1994, 'Elefantes marinos de la Patagonia', Ciencia Hoy, 5 (26): 25-32.

**CAMPAGNA C y FERNÁNDEZ T**, 2001, 'Más que siete mares, un océano', Ciencia Hoy, 11 (63): 54-60.

**LEWIS M**, 1991, 'Los elefantes marinos de península Valdés, un motivo para conservación', Revista Patagónica, 10 (49): 24-28.

**LEWIS M** & **CAMPAGNA C**, 1992, 'Contando elefantes', En Lichter A (ed.), *Huellas en la arena, sombras en el mar*, Terra Nova, Barcelona, pp. 233-236.

**LEWIS M**, **CAMPAGNA C**, **QUINTANA F y FALABELLA V**, 1998, 'Estado actual y distribución de la población del elefante marino del sur en la península Valdés, Argentina', *Mastozoología Neotropical*, 5 (1): 29-40.

**YORIO P**, 2001, 'Estado actual y perspectivas de las áreas marinas protegidas en la Argentina', Ciencia Hoy, 11 (64): 32-38.

Ciencia Hoy Volumen 10 número 59 octubre - noviembre 2000

**Luis Cappozzo**
Investigador del Conicet en el
Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia

# Comportamiento reproductivo del lobo marino sudamericano

Los sistemas de apareamiento pueden considerarse expresión del comportamiento reproductivo de un animal, y cómo a través de estos un individuo puede optimizar su éxito reproductivo (tener el máximo numero de descendientes posibles).

La teoría acerca de cómo se estructuran los sistemas de apareamiento se ha enriquecido mucho en las últimas dos décadas de investigación en comportamiento animal. Una aproximación interesante para comprender estos sistemas en pinnípedos (lobos marinos, focas y morsas) consiste en examinar la relación existente entre la selección sexual (ver el recuadro 'Selección sexual') y los factores ecológicos involucrados en la determinación de dichos sistemas (topografía, clima, variables oceanográficas, disponibilidad de alimento, etcétera).

Los pinnípedos conforman un grupo de mamíferos que, debido a la existencia de una gran variación en las estrategias reproductivas desarrolladas y a la diversidad de hábitats y climas que utilizan para reproducirse (desde los polos al ecuador), nos brindan una óptima oportunidad para estudiar la influencia de las variaciones ecológicas sobre los sistemas reproductivos. Se considera que los lobos y leones marinos, las focas y las morsas evolucionaron a partir de ancestros terrestres carnívoros (ver el recuadro 'Evolución') y su naturaleza anfibia requirió de numerosas adaptaciones (sea al entorno marino o en zonas costeras, islas e islotes o hielo). En el transcurso de su evolución retuvieron determinadas características terrestres, siendo la más importante el hecho de que deben parir a sus crías en tierra. Las 34 especies actuales que constituyen al grupo poseen importantes adaptaciones fisiológicas, morfológicas y comportamentales a la vida marina, pues se alimentan en el mar de peces, invertebrados y en algunos casos hasta de otros mamíferos marinos, como ocurre con la foca leopardo antártica. Tienen la capacidad de permanecer durante prolongados períodos tanto en tierra como en el mar: los machos de algunas especies pueden pasar hasta dos meses en tierra durante las temporadas de reproducción, también existen algunas especies que pasan hasta varios meses alimentándose en el mar sin regresar a tierra.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los pinnípedos constituyen un grupo de mamíferos marinos. En la evolución de los lobos sudamericanos son varios los factores que modelaron su comportamiento reproductivo y las diferencias entre los sexos que podemos observar en la naturaleza. Una de las principales características es la capacidad de desarrollar un comportamiento reproductivo plástico y cambiante.

## Sistemas de apareamiento en los pinnípedos

Este particular grupo de mamíferos marinos, que se estima conquistó el mar hace más de veinte millones de años, son en general gregarios cuando están en tierra, y se concentran en agrupaciones formadas por cientos o miles de individuos. El gregarismo implica una serie de factores que contribuyen a delinear el tipo de sistema reproductivo que utilizan. Los lobos marinos, las focas y las morsas presentan diversos tipos de sistemas de apareamiento (ver el recuadro 'Sistemas de apareamiento'). Muchas especies son altamente poligámicas (cada macho adulto monopoliza numerosas hembras) y sexualmente dimórficas (los machos son de mayor tamaño que las hembras). Otras especies del grupo son monógamas (un macho adulto reproduce con solamente una hembra) y ambos sexos presentan características morfológicas similares, y son del mismo tamaño. La evolución de los sistemas de apareamiento y de las características sociales se vio afectada por factores ecológicos y por características filogenéticas (propia de la historia evolutiva de cada especie y a cómo fueron sus ancestros terrestres).

De las 34 especies de pinnípedos, 20 reproducen en tierra y las otras 13 lo hacen sobre hielo (una, la foca monje del Caribe, se extinguió hace cincuenta años). La poligamia esta asociada a la mayoría de las especies que reproducen en tierra (18 especies de 20 son extremadamente poligámicas y sexualmente dimórficas) y sus colonias reproductivas varían desde tamaños moderados (unas decenas de individuos) a grandes (miles de individuos). La cópula ocurre principalmente en tierra para la mayoría de estas especias, aunque algunas de ellas copulan en el agua.

La temporada de reproducción podría considerarse una ventana temporal que se estrecha a medida que nos acercamos a los polos; en latitudes bajas es de mayor duración, pudiendo existir unos pocos casos (especies que habitan cerca de los trópicos) en los que no existe estacionalidad y hay partos durante la mayor parte del año. En cambio, en aquellas especies que habitan en latitudes altas (polares) todos los eventos relacionados con la reproducción ocurren en un corto tiempo (un par de semanas).



**Figura 1.** Hembra y macho de lobo marino sudamericano adultos en los que puede observarse el dimorfismo sexual.



**Figura 2.** Grupo de crías de lobos marinos sudamericanos en la península Valdés.

Todas las especies de pinnípedos que reproducen sobre hielo son fócidos o focas verdaderas (excepto las morsas, que son odobénidos) copulan en el agua o bien sobre hielo y, por encontrarse en lugares inhóspitos, es poco lo que se conoce acerca de su comportamiento reproductivo. Entre todos los fócidos, quizá uno de los más conocidos sea el elefante marino, con su representante en el hemisferio sur, *Mirounga leonina* (ver Ciencia Hoy, 26: 25, 1994).

En aquellas especies que representan marcado dimorfismo sexual y un sistema de apareamiento poligínico con defensa de hembras, es esperable que exista un conflicto de intereses por la reproducción entre los sexos. Los machos no cumplen ningún rol en el cuidado de las crías y durante la temporada de reproducción dedican su tiempo exclusivamente a obtener el mayor número de cópulas posibles. Las hembras, en cambio, dedican su tiempo principalmente al cuidado de la cría, aunque en algunas especies existen evidencias de que pueden incrementar su éxito reproductivo ejerciendo algún tipo de elección del compañero de cópula.

Todos los otáridos (lobos y leones marinos) son polígamicos, y en los mamíferos poligínicos el gran tamaño cuando adultos es más beneficioso para los machos que para las hembras. Entre los leones marinos y los lobos marinos peleteros, el éxito de la competencia macho-macho depende en parte de la fuerza, resistencia y habilidad para la lucha que poseen los contendientes. La selección natural favorecerá el gran tamaño y a los individuos más competitivos, que monopolizarán la reproducción. El dimorfismo

sexual en el tamaño es muy marcado entre las distintas especies de otáridos, siendo los machos tres o más veces más grandes que las hembras. Entre los otáridos, y desde la perspectiva de los machos, la poligamia tiene dos formas:

- defensa de hembras (o harén, donde los machos retienen y compiten por las hembras), y
- defensa de recursos (los machos compiten entre sí por territorios).

Estudios acerca de los sistemas de apareamiento en los otáridos sugieren que la mayoría de ellos presentan estrategias semejantes. No obstante, se observan algunas variantes que aquí se desarrollan.

## Pinnípedos del Atlántico sudoccidental

En las costas continentales del océano Atlántico sudoccidental habitan solo tres especies de pinnípedos y sus colonias pueden encontrarse a lo largo del litoral marítimo de la Argentina, el Brasil y el Uruguay: el lobo marino del sur o lobo marino de un pelo, *Otaria flavescens* (figura 1), el lobo marino peletero sudamericano o lobo marino de dos pelos, *Arctocephalus australis*, y el elefante marino del sur, *Mirouga leonina* (ver Ciencia Hoy, 26: 25, 1994). Esta lista podría ampliarse si tenemos en cuenta a algunas de las especies antárticas o subantárticas que suelen aparecer en forma ocasional durante los meses de primavera o verano en latitudes más bajas, pudiendo incluso llegar al sur del Brasil (ejemplos de registros: focas leopardo, cangrejeras, elefantes marinos, lobos marinos antárticos y subantárticos).

## El lobo marino sudamericano, *Otaria flavescens*

Presenta un rango de distribución que abarca la casi totalidad de las costas atlántica y pacífica de Sudamérica. En el océano Atlántico el límite norte de su distribución se encuentra en Torres, al sur del Brasil. No obstante, desplazamientos erráticos de la especie han sido registrados hasta los 13°S. El límite sur en el Atlántico sudoccidental comprende a Tierra del Fuego e islas Malvinas. En el litoral del océano Pacífico se distribuye desde Tierra del Fuego y el sur de Chile hasta Zorritos en el norte del Perú. En las costas del Atlántico se estima que existen aproximadamente 110.000 individuos, concentrados principalmente en la Patagonia, mientras que no existe una estimación reciente sobre la abundancia poblacional de esta especie para el Pacífico, aunque es significativamente menos abundante que en el litoral atlántico.

### SELECCIÓN SEXUAL

*En los animales cuyos sexos están separados, los machos difieren necesariamente de las hembras por sus distintos órganos de reproducción, que constituyen los caracteres sexuales primarios. Pero, además, los sexos difieren por lo que Hunter ha llamado caracteres sexuales secundarios, los cuales no están directamente relacionados con el acto de la reproducción...*

Darwin C, 1871, *The descent of man and selection in relation to sex*, Murray, Londres

#### Selección sexual

La existencia de dimorfismo en las gametas (óvulos y espermatozoides) y el hecho de que en general los machos compiten entre sí por el acceso a las hembras sugieren que la presión de selección es fuerte sobre la habilidad de los machos por acceder a aparearse, y sobre las hembras por elegir a su compañero de cópula. La consecuencia del comportamiento diferencial entre sexos es que presentan una gran variación en su éxito reproductivo (medido como el número de hijos), debido a la competencia que existe entre ellos y logran ser lo más exitosos posibles en la reproducción a través del mayor numero de copulas posible. *Puesto que en tales casos los machos han adquirido su actual estructura, no por estar mejor acondicionados para sobrevivir en la lucha por la existencia, sino por haber ganado alguna ventaja sobre los otro machos, y transmitiéndola a su prole masculina exclusivamente, es indudable que la selección sexual debió tomar aquí una parte muy principal. La importancia de esta distinción fue la que nos indujo a designar esta forma de selección con el nombre de sexual...* (Darwin, 1871).

#### Selección intra e intersexual

Son dos los mecanismos a través de los cuales opera la selección sexual sobre los individuos, y pueden hacerlo de forma simultánea:

1) *Selección intrasexual o competencia intrasexual*: es aquella en la cual individuos de un sexo (en general machos) compiten por el acceso al sexo opuesto.
2) *Selección intersexual o selección epigámica*: es aquella en la cual se favorecen determinados atributos de los machos para atraer a las hembras. La elección femenina de la pareja sexual se basaría en estos atributos de los machos.

La intensidad de la selección sexual dependerá de:

a) la diferencia en el esfuerzo progenitor entre los sexos;
b) la proporción de machos y hembras disponibles para aparearse al mismo tiempo.

El sexo que menos invierte en la descendencia competirá entre sí por acceder al sexo que más invierte. Los machos compiten entre sí por el acceso a cópulas y pueden hacerlo a través de luchas o despliegues ritualizados.

#### Inversión en la progenie

El esfuerzo progenitor es la inversión que realizan los padres en todos los descendientes individuales a lo largo de su vida. No obstante, resulta obvio que algunos animales no son cooperativos entre sexos cuando de reproducirse se trata. Las hembras generalmente ponen la mayor parte de su esfuerzo reproductivo en esfuerzo progenitor, mientras que los machos lo hacen en esfuerzo de cópula o apareamiento.

El comportamiento de esta especie ha sido estudiado en detalle en la península Valdés, Argentina, desde principios de la década de los 80. La mayor parte de los estudios se realizó en la Reserva Provincial de Fauna de Punta Norte, en la península Valdés. La temporada de cría transcurre entre mediados de diciembre y mediados de febrero. Existen colonias que podemos denominar permanentes, por encontrarse animales durante todo el año, y colonias de reproducción, que solo se forman con la finalidad de reunir machos y hembras maduros para copular. Por tratarse de colonias de reproducción, la temporada se inicia con la llegada de los primeros machos adultos a principios de diciembre, seguidos por las primeras hembras adultas durante la segunda quincena de diciembre.

Los machos adultos pueden alcanzar los 2,5-3m de longitud y los 300-350kg de peso; mientras que las hembras miden en promedio 1,8m y alcanzan los 100-120kg de peso (figura 1). Los primeros nacimientos exitosos ocurren hacia fines de diciembre. Las crías al nacer son de color negro (pelaje embrionario), pesan alrededor de 12kg y miden aproximadamente 80cm de largo (figura 2). La diferencia que existe entre machos y hembras adultos ya se manifiesta en los recién nacidos: las crías machos son 10% más pesadas y el 4% más largas que los recién nacidos hembras. No obstante, el crecimiento de los dos sexos es semejante durante los primeros meses de vida, aunque mantienen las diferencias que se observan al nacer. Esto es una consecuencia directa de la historia filogenética de los lobos marinos y fue moldeado por el proceso de selección sexual (ver recuadro 'Selección sexual'). La presión de la selección sobre estos animales resultó en que los machos de mayor tamaño fuesen más exitosos desde el punto de vista reproductivo (dejaran un mayor número de descendientes) y la consecuencia de este proceso es que el dimorfismo sexual ya se manifieste al momento de nacer aunque represente un mayor costo energético para una hembra preñada gestar un macho que una hembra.



**Figura 3.** Macho adulto de *Otaria flavescens* defendiendo un territorio con recursos.

## Estrategias reproductivas

La topografía del área en la que se congregan es determinante en el tipo de estrategia de reproducción que desarrollan los lobos marinos. Si el sustrato es homogéneo y no presenta sitios con ventajas sobre otros, entonces los machos defenderán hembras próximas al *estro* (momento de la ovulación). En sitios en los que el sustrato sobre el cual se asienta la colonia resulta heterogéneo, con recursos por los cuales competir (por ejemplo, lugares con sombra o piletones de marea donde se puedan refrescar a las horas de máximo calor), entonces los machos defenderán territorios en los que se concentrarán las hembras para copular (figura 3).

En el primer caso, los machos adultos y las primeras hembras son los individuos que irán definiendo el área reproductiva central (área de alta densidad, ARC, figura 5) hasta cubrir, en plena temporada, aproximadamente 500m de costa en la cual los machos adultos residentes defienden hembras en vez de territorios. Este tipo de sistema reproductivo es denominado *poligínico con defensa de hembras*. Las hembras dan a luz una única cría a los dos días, en promedio, de arribar al área de cría; a los siete días de producido el parto, están sexualmente receptivas y se produce la cópula (figura 6); dos días después de copular realizan la primera excursión de alimentación al mar. A partir de este momento, la estrategia de las hembras consiste en viajes de alimentación al mar, de dos a tres días de duración, alternados con permanencias en la lobería para alimentar a sus crías, de dos días de duración. Esta estrategia de lactancia es exclusiva de los lobos marinos pues las focas concentran el período de lactancia en poco tiempo (4 a 60 días) y las madres permanecen ayunando al lado de sus crías. Por el contrario, el período de lactancia de los lobos marinos se extiende entre los ocho



**Figura 4.** Grupo reproductor de lobo marino sudamericano en la costa de Santa Cruz, donde se observa una topografía heterogénea por recursos por los cuales competir (sombra y agua para termorregular).

y los doce meses, pudiendo prolongarse en circunstancias especiales (por ejemplo, durante largos períodos de escasez de alimento como ocurre durante los eventos de El Niño en las colonias del Perú). Cada vez que las hembras adultas lactantes regresan de sus viajes de alimentación del mar deben ubicar a su cría entre cientos de otras crías que se agrupan a la espera de sus madres; la identificación es posible gracias a la vocalización y al olor de la madre y de la cría, que responde al llamado (figura 7).

La permanencia de los machos residentes en el ARC varía entre quince a sesenta días y durante estos prolongados ayunos los machos subsisten asimilando la grasa acumulada bajo su piel. Cuanto más tiempo permanezca un macho adulto en el ARC, más cópulas exitosas obtendrá (en promedio 4 a 5). Existe un número importante de machos que son sexualmente maduros y que no tienen acceso al ARC. Estos machos subadultos, en general de menos tamaño, desarrollan estrategias alternativas de reproducción. Un ejemplo son las redadas grupales de entre cuatro a cuarenta machos, durante las cuales se produce una fuerte redistribución de animales en la colonia: separación madre-cría, raptos de hembras por machos no residentes, se obtienen o se pierden nuevas posiciones en el ARC, o raptos de crías por parte de machos subadultos. Durante estas redadas grupales, los participantes se concentran en un área pequeña del ARC y compiten por posiciones o por hembras. Como consecuencia de estas redadas o ataques grupales, alrededor del 20% de las cuatrocientas crías que nacen cada año en Punta Norte se vio expuesto al rapto por parte de los machos subadultos y el 1,3% de estas crías muere por el maltrato que reciben. Durante este fenómeno, que fue observado en la península Valdés y, con mucha menor frecuencia, en las colonias uruguayas de esta especie, las hembras se ven sometidas a riesgo físico y se altera la colonia reproductiva. Los machos subadultos que realizan estas redadas grupales están sexualmente maduros, pero no alcanzaron su talla máxima y por lo tanto están en inferioridad de condiciones para competir. Durante estos ataques obtienen experiencia al estar en contacto con los machos adultos residentes e incluso pueden obtener alguna hembra y hasta lograr alguna cópula exitosa. No hace mucho, algunos biólogos interpretaban este comportamiento como 'antisocial'; no obstante, aunque algunos miembros de la colonia pueden resultar con daños físicos o pueden separarse madres y crías, debemos entender que los comportamientos que se observan en la naturaleza, aunque desde una perspectiva humana resul-

### Competencia y recursos limitantes

Los sexos pueden ser vistos como formadores de una alianza compleja en la cual cada uno intenta maximizar su propio éxito en propagación de genes.

- Los machos pueden fertilizar, potencialmente, un número de gametas femeninas ilimitadas, a una velocidad que depende tan solo de la tasa de producción de esperma.
  La conclusión que se desprende de este punto es que la reproducción sexual *anisogámica* (fusión de gametas de diferentes tamaños) llevó a las hembras a ser un recurso escaso por el cual los machos compiten entre sí. En los mamíferos, la hembra pasa meses gestando a su cría. Durante ese mismo tiempo, los machos podrían potencialmente fertilizar cientos de otras hembras.
  Las hembras invierten más que los machos en cada descendiente a través de alimento o cuidado de la prole.
- Los dos sexos utilizan diferentes estrategias para incrementar su éxito reproductivo: los machos encontrando y fertilizando numerosas hembras diferentes; las hembras, utilizando la energía obtenida a partir del alimento en la producción de gametas o descendientes.

Del segundo punto se concluye que existe relación entre la inversión de recursos, sean estos gametas u otras formas de cuidado de la descendencia y la competencia sexual.

### Selección sexual y sistemas de apareamiento

Los sistemas de apareamiento son la expresión de cómo un animal puede maximizar su éxito reproductivo. Se define la *poligamia* como cualquier sistema de apareamiento en el cual algunos de los miembros de un sexo tienen acceso reproductivo a más de un miembro del sexo opuesto durante una temporada reproductiva determinada. La poligamia se conoce como *poliginia* cuando son los machos los que adquieren múltiples hembras y como *poliandria* cuando se invierte el rol de los sexos. Los tipos de poliginia existentes pueden clasificarse en tres categorías:

1) *Defensa de recursos*: donde los machos controlan a las hembras de forma indirecta, a través del monopolio de recursos críticos.
2) *Defensa de hembras*: donde los machos controlan a las hembras directamente, en general en aquellos sistemas donde las hembras son gregarias. Esta categoría puede definirse como harén.
3) *Dominancia del macho*: donde las cópulas o los recursos limitantes no son económicamente monopolizables. Los machos se congregan durante la temporada reproductiva y las hembras son las que seleccionan cópulas en dichas congregaciones.

En las últimas tres décadas se han realizado importantes avances en el ámbito de la teoría de los sistemas de apareamiento. Estos esfuerzos estuvieron centrados en la interrelación existente entre la selección sexual y los factores ambientales que determinan la dispersión espacial y temporal de los machos y las hembras (por ejemplo, distribución de recursos, presión de predación). Las restricciones ecológicas sobre los sistemas de apareamiento imponen límites sobre el grado en el cual puede actuar la selección sexual.

ten poco 'agradables', de alguna forma resultan adaptativos para los individuos que los realizan que así pueden obtener algún tipo de ventaja frente al resto: en este caso, experiencia en las luchas o sus primeras cópulas exitosas. Existen otras estrategias reproductivas alternativas, menos exitosas para quienes las desarrollan, entre las que se pueden mencionar la intercepción de hembras que llegan o salen del mar y la formación de parejas o harenes solitarios que se ubican en las cercanías de las colonias reproductivas.

La situación cambia cuando estudiamos las estrategias reproductivas desarrolladas por los machos de la misma especie en otras colonias con condiciones topográficas y microclimáticas diferentes. Los requerimientos de termorregulación en el lobo marino del sur, asociados con el tipo de topografía sobre el cual se asienta la colonia, harán variar el tipo de estrategia reproductiva, el éxito reproductivo y el sistema de apareamiento. En Puerto Pirámides, a 80km de Punta Norte, también en la península Valdés, los machos de lobo marino del sur no desarrollan ataques conjuntos o redadas y, a diferencia de lo que ocurre en Punta Norte, aquí los machos adultos defienden territorios (recursos 'húmedos') que presentan piletones de marea y/o sombra sobre la plataforma de arenisca en la cual se asienta la colonia. Se observó que aquellos machos que defendían piletones de marea copularon significativamente más veces durante una temporada reproductiva, que aquellos en territorios sin recursos defendibles. La casi totalidad de las cópulas exitosas observadas en Puerto Pirámides ocurrieron en territorios con piletones de marea (¡agua refrescante en las horas de temperaturas extremas!). En Punta Norte, la situación fue marcadamente distinta, como consecuencia de lo homogéneo de su topografía, ya que se trata de extensas playas de pedregullo y canto rodado. En estas condiciones, un macho adulto, para ser exitoso, debe estar en el ARC y mantenerse en su puesto por el mayor tiempo posible.

En especies con sistema reproductivo poligínico, como el que estamos analizando, los machos adultos pueden forzar a las hembras a copular. Sin embargo, existen evidencias tanto en situaciones donde se presentan te-



**Figura 5.** ARC en la Reserva de Fauna de Punta Norte, península Valdés.

rritorios 'húmedos' (Puerto Pirámides) como en aquellos casos donde la topografía es homogénea (Punta Norte), en que las hembras adultas pueden desarrollar comportamientos que tiendan a maximizar su seguridad y éxito reproductivo en situaciones físicas y sociales adversas. La mayoría de las hembras de Punta Norte forman parte de harenes de grandes machos adultos localizados en el ARC. Además, muchas de las hembras adultas copulan con un macho diferente al cual se asocian al momento de arribar a la colonia reproductiva, y algunas de estas hembras copulan con más de un macho durante el estro (cuando la hembra es sexualmente receptiva pues está ovulando). En esta situación, ambos sexos desarrollan estrategias que tienden a maximizar el éxito reproductivo: a) las hembras tienen la oportunidad de ejercer cierta elección del compañero de cópula, aun en condiciones adversas, al copular con machos diferentes, y b) los machos adultos residentes adaptan sus estrategias según la topografía, a través de la defensa selectiva de hembras próximas al estro en Punta Norte y a través de la obtención de territorios con piletones de marea (recurso) en Puerto Pirámides.

## Corolario

Hemos tratado de interpretar cómo la selección sexual actuó a lo largo de la historia de los lobos marinos estudiando el comportamiento reproductivo actual, y cómo modeló diferencias entre los sexos, que se manifiestan no solo en las diferencias de tamaño y características morfológicas (dimorfismo sexual) sino también en las diferentes estrategias que desarrollan los dos sexos para ser exitosos en la reproducción. La selección natural es sinónimo de reproducción diferencial (es decir que algunos individuos dejan más cantidad de hijos que otros), y una forma de estudiar esto es analizando las estrategias de apareamiento. En ellas podemos ver variaciones en función de las características de los animales. Los lobos marinos del Atlántico sudoccidental presentan diferentes estrategias para reproducirse y además cada variante tiende a que cada individuo obtenga el máximo beneficio posible: los machos intentarán obtener el máximo número de cópulas (aunque no siempre una cópula signifique un hijo), y las hembras tratarán de ser fertilizadas por aquellos machos mejor dotados.



**Figura 6.** Cópula de lobos marinos sudamericanos.

## EVOLUCIÓN

La filogenia de los mamíferos es bien conocida gracias al abundante registro fósil existente. El apogeo de los mamíferos que se produjo al final del período Plioceno (antes de la era glacial, hace aproximadamente 2 millones de años). Es durante el Terciario cuando los mamíferos consiguen (al igual que las aves) colonizar prácticamente todos los hábitats de nuestro planeta. Por tal motivo, el éxito que tuvieron los mamíferos permite que los encontremos en los desiertos, en las selvas, en el agua (continental y oceánica), bajo la tierra e incluso en el aire; incluyendo un rango que abarca desde los polos hasta el ecuador. Este éxito rotundo o esta adaptabilidad serían debidos a tres características principales (aunque no las únicas):

1) adquisición de endotermia (mantienen constante la temperatura corporal);
2) diferenciación y desarrollo del cerebro, y
3) desarrollo embrionario en el cuerpo de la madre (viviparidad).

Actualmente se considera que los pinnípedos tuvieron su origen a partir de formas terrestres carnívoras. Sin embargo, aún persiste la controversia respecto de su origen mono o difilético (una o dos líneas evolutivas). El registro fósil señala que los lobos marinos y las morsas derivan de un grupo de formas terrestres carnívoras relacionadas con la familia de los úrsidos (a la que pertenecen los osos actuales), mientras que las focas verdaderas probablemente deriven de un primitivo grupo de mustélidos (al cual pertenecen los tejones y armiños, entre otros). La postura que favorece el difiletismo es la más aceptada. Probablemente esto se deba a la falta de registro fósil de la filogenia de las focas, aunque recientemente se ha considerado la postura del origen monofilético de los pinnípedos a partir de estudios de genética. En cualquiera de ambos casos podemos imaginar como antecesor a un mamífero carnívoro terrestre de hábitos costeros del tamaño de una nutria actual, que hace más de 20 millones de años habitaba la zona costera del Pacífico occidental y que se alimentaba en el mar.



**Figura 7.** Madre y cría de *Otaria flevescens* identificándose mutuamente por medio de la vocalización y el olor.

Resumiendo, a partir de lo que se comentó en este artículo se refuerza la idea de plasticidad que presentan los otáridos con relación a su comportamiento reproductivo y a las estrategias de apareamiento. Esta flexibilidad se debe a la variedad de situaciones con las que se encuentran en el medio, como la variedad de la topografía sobre la cual se establecen las colonias de cría y reproducción, la variación de la temperatura (sea esta diaria o estacional), la presencia de recursos defendibles (que estimularían la conducta territorial en *Otaria flavescens*) y variables sociales (que derivan de las diferentes clases de edad que componen la colonia y de su experiencia). En última instancia, esta flexibilidad se debe a fuerzas selectivas a las que los animales deberán responder y así maximizar el éxito reproductivo a través de la plasticidad de su comportamiento. Cualquier cambio producido en este sentido será modelado por la selección sexual. CH

*Las fotografías que ilustran esta nota fueron tomadas por el autor.*

## LECTURAS SUGERIDAS


**CAPPOZZO HL** (e/p), 'South American Sea Lion', en *Encyclopedia of Marine Mammals*, Academic Press, Nueva York.

**CARRANZA J** (ed.), 1994, *Etología. Introducción a la ciencia del comportamiento*, Universidad de Extremadura, Cáceres.

**KREBS JR & DAVIES NB**, 1997, *Behavioural Ecology. An Evolutionary Approach*, Fourth Edition, Blackwell Science Ltd.

**RENOUF D** (ed.), 1991, *The Behaviour of Pinnipeds*, Chapman and Hall, University Press, Cambridge.

**RIEDMAN M**, 1990, *The Pinnipeds: Seals, Sea Lions and Walruses*, University of California Pres, Berkerley.

Ciencia Hoy Volumen 2 número 7 abril - mayo 1990

**Guillermo Harris**
Estación Península Valdés para Estudios de Conservación de la Fauna

**Carlos O García**
World Wildlife Fund US

# Ballenas francas australes: el lento camino de la recuperación

*La bahía Nueva, cercana a Chubut, en otro tiempo era guarida de innumerables ballenas que alegraban con sus juegos de agua esa región solitaria; pero, un día, flotas de balleneros descubrieron el refugio y testigos oculares me han contado que la mar tranquila del golfo estremecióse a impulso de los movimientos de esos animales, tan enormes como inofensivos, heridos por el arpón, y las aguas cubriéronse de sangre y aceite. El instinto feroz de la bestia, que de cuando en cuando recuerda al hombre su origen, cambió en pocos días ese paraje en una escena de carnicería espantosa. La embriaguez de la sangre y del lucro pobló de enormes esqueletos de colosos la costa donde blanquean aún, y desde entonces domina el silencio, allí donde antes era todo alegría.*

Francisco P. Moreno,
*Viaje a la Patagonia austral*, 1876

La ballena franca posee la triste distinción de ser, quizá, la especie con distribución cosmopolita que más cerca ha llegado de la extinción a causa de las matanzas llevadas a cabo por el hombre.

Acostumbran agruparse año tras año en las mismas áreas de cría –y, probablemente, en las mismas áreas de alimentación–, por lo que es fácil suponer que, una vez detectadas dichas áreas, los balleneros iniciaban una matanza sistemática, hasta aniquilarlas totalmente. Se las prefería a causa de su lentitud, que facilitaba la captura, y porque flotaban una vez muertas. Eran, además, extremadamente codiciadas por su gran rendimiento de aceite y por sus largas barbas, que se utilizaban, entre otras cosas, para armar prendas femeninas y como resortes de relojes. Todas estas razones dieron origen al nombre *right whale*, es decir, 'ballena acertada' o 'correcta'.

Los historiadores concuerdan en que fueron los vascos quienes fundaron la industria ballenera. En efecto, en 1059 un documento hace referencia a la venta de carne de este cetáceo en Bayona. En un principio se realizaban capturas utilizando embarcaciones livianas en aguas costeras del golfo de Vizcaya y los animales eran faenados sobre sus playas. Cuando se intensificó la caza, disminuyó el número de ballenas y se comenzaron a utilizar grandes buques veleros para capturarlas en alta mar. La faena se realizó, a partir de entonces, a bordo.

Varias decenas de miles de animales fueron cazados entre 1050 y 1900 en el noroeste del Atlántico (con máximo entre 1251 y 1650). Esto llevó a la virtual aniquilación de la población: se ha registrado un solo avistaje en esas aguas en el siglo XX.

Durante el siglo XV los balleneros llegaron a las costas orientales de América del Norte en busca de nuevas áreas

de caza. Se calcula que en esa región se obtuvieron durante el período 1530-1610 entre 25.000 y 40.000 ballenas, en su mayoría francas. En la actualidad esa población alberga no más de 1100 individuos.

Con respecto al área de caza en el Atlántico Sur, se carece de cifras anteriores a 1785. Sin embargo, se sabe que la actividad comenzó a mediados de la década de 1770, aunque los datos más representativos son escasos hasta 1805.

En total, se calcula que han sido cazadas más de 38.000 ballenas francas en la región, de las cuales 26.500 fueron capturadas entre 1820 y 1840, es decir, en solo veinte años. A partir de entonces, la caza disminuyó marcadamente hasta casi desaparecer durante la primera parte del siglo XX.

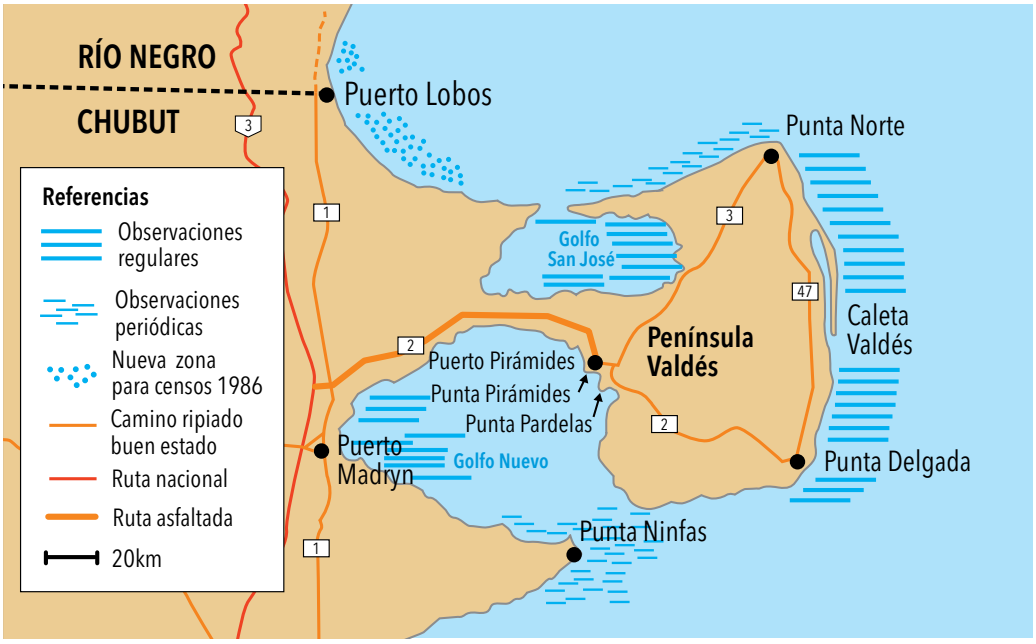
En realidad, estas cifras de captura constituyen cálculos mínimos; los números reales se desconocen, ya que seguramente por temor a difundir la ubicación de las áreas de caza entre sus competidores fueron pocos los balleneros que mantuvieron registros completos de sus capturas. Algunos de los cálculos han sido realizados en forma indirecta, ya que, si bien no documentaban los animales cazados, los balleneros norteamericanos registraron en sus bitácoras la fecha y las coordenadas correspondientes a los días en que se realizaban capturas. El número de ballenas se ha inferido a través de la cantidad de barriles de aceite que fueron desembarcados al regresar al puerto.

La mayor parte de los datos citados provienen de registros de capturas realizadas por buques norteamericanos y franceses, incluso en la costa africana y, más recientemente, en la Antártida. Tales registros no incluyen cifras de cazas efectuadas por balleneros ingleses; sin embargo, estos deben de haber contribuido significativamente, ya que operaban en el Atlántico Sur en 1775 con diez buques, en 1788 con trece y en 1793 con siete en las costas del Brasil y la Patagonia, cuatro en las islas Georgias y nueve en África. Cabe agregar que entre 1950 y 1973 los brasileños operaron en la región, cazando cerca de 350 ejemplares.

La caza de la ballena franca en el Atlántico Sur fue llevada a cabo con intensidad creciente y en forma indiscriminada, destruyéndose así, en pocos años, el grueso de la población. Según T Du Pasquier, en solo veinte años –entre 1820 y 1840– fueron cazadas más de 76.236 ballenas francas en el hemisferio sur. Curvas similares ilustran las matanzas que sufrieron las poblaciones del Pacífico Norte, el Pacífico Sur y el Índico.

Si bien se desconoce el tamaño inicial de la población mundial, los datos de captura permiten obtener una cifra aproximada. Para ello, al número de animales capturados se le suma la de aquellos que fueron heridos o muertos durante la captura pero que luego se perdieron, lo cual puede incrementar el total hasta en un 50%. Por otro lado, se agrega el número estimado de capturas realizadas por aquellos países no incluidos entre los mencionados anteriormente. Esta cifra debe ser corregida para incluir la recuperación de la población durante el período de captura. Tomados en cuenta estos factores, es probable que la población inicial de los océanos Índico, Pacífico Sur y Atlántico Sur superara los 100.000 animales. En la actualidad, el número de ballenas francas que habitan estos océanos no debe superar los 3000 o 4000 ejemplares, números que resultan de los avistajes realizados desde buques en altamar y también desde la costas de Sudamérica, Sudáfrica y Australia.

Sin duda, la causa de esta enorme diferencia entre la población inicial y la actual se debe principalmente a la caza indiscriminada. No existen fundamentos para adjudicar dicha diferencia a acciones como alteraciones del hábitat provocadas por el hombre o causas naturales. En efecto, el fenómeno tuvo lugar antes de que la Revolución




Cartografía Celia Brandan

Zonas de observación de ballenas francas en las costas de la península Valdés y regiones adyacentes.



Paisaje característico de acantilados en la costa de la península Valdés, ámbito elegido por las ballenas francas australes como hábitat estacional. En la playa se observan cachorros de lobos marinos. Puerto Pirámides, Chubut, Argentina. Foto Brian Allen /flickr.com

Industrial acelerara los procesos de polución y se manifestó en todas las poblaciones una vez que comenzó a desarrollarse la industria ballenera.

Desde ya, es innegable que en la actualidad los océanos presentan sustanciales cambios con respecto a sus condiciones originales. Una situación harto peligrosa es aquella producida por la contaminación del mar a través de la acción antrópica; así, por ejemplo, las redes y los materiales plásticos pueden enmallar físicamente a las ballenas, a la vez que los derrames de petróleo representan, como para todas las formas de vida en el mar, una verdadera amenaza. La acumulación de insecticidas, metales pesados y tóxicos de diversa naturaleza tiene efectos no menos letales. Por otro lado, la pesca comercial en gran escala afecta las complejas cadenas tróficas del mar. Es probable que, debido a sus hábitos alimentarios, la ballena franca no resulte perjudicada por la pesca de especies mayores; sin embargo, la industrialización en años recientes de especies planctónicas genera inquietud en cuanto a una posible escasez de las fuentes de alimentación de estos cetáceos.

Para conocer tanto el tamaño de las poblaciones como su tendencia o no al crecimiento se están utilizando distintas técnicas en diversas partes del mundo. En la penín-



Un individuo.

Inseguridad de un individuo o cría. Se anota uno solo.

Una madre con cría.

Individuo que se sumerge en varias oportunidades, posiblemente comiendo, realiza inmersiones de 3 a 10 minutos y al salir respira 2 o 3 veces seguidas.

Un individuo que mantiene su cola fuera varios minutos.

Individuo que respira muy lejos con mala visibilidad.

Individuo 'que viaja' a una velocidad mayor que lo normal en evidente dirección prevista y aparentemente trasladándose. El ángulo marca su dirección.

2, 3 o más individuos componiendo un grupo.

2, 3 o más individuos en grupo de aparente cópula.

Orcas

Delfines

Sistema de anotación por signo en planillas de censos de ballenas francas. En la planilla se hacen otros tipos de anotaciones: grupos de aves, lobos marinos, cardúmenes, botes, reflejos de sol, mala visibilidad, etcétera. También se dibujan las callosidades de las cabezas, ballenas completas con manchas, heridas, o cualquier anormalidad que pueda servir para la identificación.

sula Valdés se realizan estudios para controlar la evolución de la población y la mayoría de los individuos han sido identificados. Cada año se realizan censos aéreos; además, desde 1982, los autores efectúan censos costeros de ballenas francas para determinar las variaciones numéricas en las distintas áreas a través del tiempo (ver el mapa).

En el golfo San José, estos censos se realizan desde un observatorio ubicado sobre uno de los acantilados de la costa oriental. A 46 metros sobre el nivel del mar, este observatorio ofrece una vista excepcional. En la zona este de la península Valdés los censos se realizan desde Punta Cantor, un acantilado ubicado al sur de la boca de caleta Valdés. Existen además varias estaciones de censo entre las puntas Delgada y Norte. En el golfo Nuevo, los censos se realizan desde varios puntos ubicados en Puerto Madryn y Punta Pirámide, siendo la principal estación un acantilado ubicado en esta última.

Los censos se realizan utilizando un telescopio de alta definición con ocular gran angular 22x, que permite evaluar con facilidad la densidad de la población. Cuando la densidad es elevada, la metodología consiste en el procedimiento siguiente: a partir de la costa, el telescopio se fija durante un período que puede prolongarse hasta 20 minutos, para contar la totalidad de las ballenas que se observan en el campo óptico. Una vez logrado esto, se registra la ubicación relativa de cada ballena en un diagrama del área; se determina si son madres con crías, si forman parte de grupos o no y qué actividad realiza cada una. Se agregan, además, las novedades consideradas relevantes en el momento del censo. Luego se enfoca el campo óptico contiguo y se repite el procedimiento, avanzando siempre en un mismo sentido, sin volver hacia atrás, hasta llegar a la costa opuesta.



La aleta caudal de una ballena adulta mide más de 5m de ancho. Frecuentemente el animal la mantiene fuera del agua por períodos de diez minutos o incluso más. Foto Ismael Gomez, Viajeros.com.

Este método, que denominamos 'por campos sucesivos', permite censar aquellas ballenas que realizan inmersiones durante el período de observación. Un segundo método consiste en un 'barrido' lento y repetido entre dos puntos determinados, que resulta adecuado para realizar el censo en aquellos lugares de densidad baja –o nula– y solamente se utiliza hasta tanto no exista la posibilidad de contar dos veces la misma ballena. De ser así, se lo abandona en favor del primero.

La utilización de los métodos anteriores permite obtener una cifra bastante exacta del número total de ballenas en el área inspeccionada, ya que por lo general ellas permanecen en un mismo lugar o se mueven con lentitud, lo cual permite localizarlas aun a gran distancia. El período de observación se prolonga lo suficiente como para incluir a aquellas ballenas que se encuentran sumergidas; si bien algunas permanecen en la superficie durante largos períodos, otras realizan buceos continuos de mayor o menor duración. Los más prolongados que se han registrado duran hasta 20 minutos; luego de una inmersión prolongada, las ballenas permanecen en la superficie durante el tiempo necesario para oxigenar sus cuerpos.

Existen muchos factores que inciden en la calidad de la observación: la intensidad del viento, las mareas, la deformación de las imágenes que produce la temperatura del aire, el reflejo del sol en el agua y la nubosidad. Con el fin de minimizar errores, se consideran solamente aquellos censos realizados cuando las condiciones ambientales son entre buenas y óptimas.

Por otra parte, hay ballenas que por lo general son más fáciles de observar que otras: las hembras adultas acompañadas por crías prefieren mantenerse cerca de la costa, donde permanecen largos períodos en la superficie. Por el contrario, hay individuos que buscan aguas más profundas y, por tanto, suelen ser difíciles de localizar.

Cabe mencionar que las cifras que se obtuvieron utilizando estos métodos no difieren significativamente de las de aquellos censos realizados desde aviones en los mismos períodos.

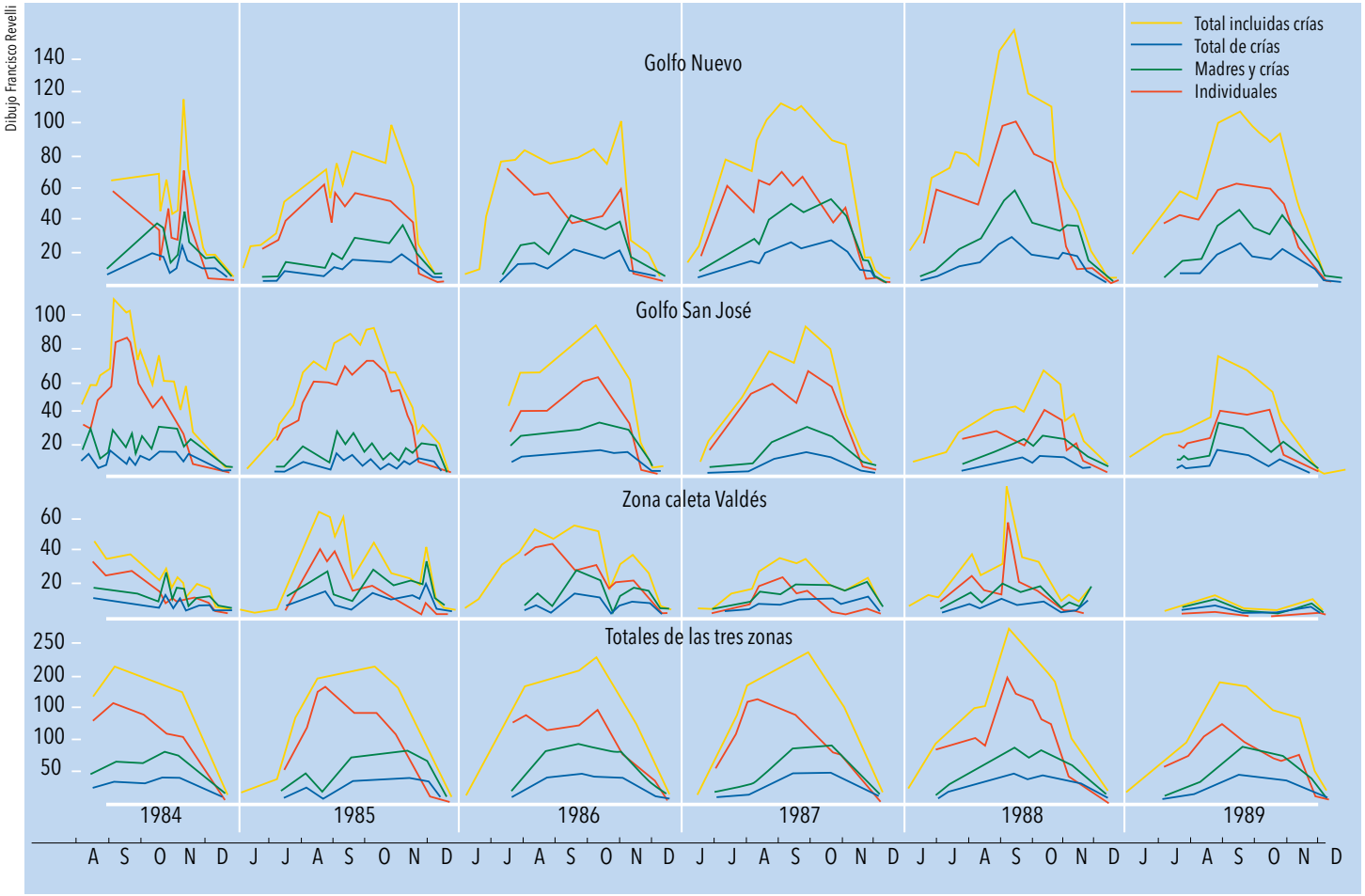
Las primeras ballenas llegan a la península Valdés entre fines de abril y principio de mayo, y el número aumenta paulatinamente hasta alcanzar un pico máximo en septiembre y octubre. En ese momento la población comienza a disminuir, hasta que los últimos individuos se alejan en diciembre o a principios de enero. Fuera de ese período, los avistajes de ballenas en la zona son esporádicos, tratándose siempre de individuos solitarios o grupos reducidos.

Hasta el momento, la explicación más aceptada sobre la causa de la elección de la península Valdés como sitio de concentración durante los meses de invierno y primavera es que las ballenas necesitan de aguas tranquilas para criar sus ballenatos. Los golfos Nuevo y San José poseen aguas reparadas e incluso la costa este de la península Valdés se halla en parte protegida por bajos en el mar. Por otro lado, R Payne ha demostrado que las hembras acompañadas por

sus crías buscan aguas de aproximadamente 5m de profundidad. Las áreas frecuentadas por este grupo son reducidas, limitándose a las costas orientales del golfo San José, las costas cercanas a la caleta Valdés y las que se encuentran entre Punta Pardelas y Baliza 25 de Mayo, en el golfo Nuevo.

Si bien hasta el momento nadie ha presenciado un nacimiento, se calcula que deben producirse en estas aguas o en algún lugar muy próximo. Hacia fines del invierno se observan ballenatos pequeños, con un tamaño de alrededor de 5m, que presentan un aspecto muy arrugado y una cicatriz umbilical evidente. Durante los primeros meses de vida, estos ballenatos crecen a un ritmo notable de 3,5cm por día y se vuelven más independientes. Las madres con sus crías son las últimas en abandonar el área a fines de noviembre y diciembre. Además, las aguas de la península Valdés son frecuentadas por individuos adultos que a menudo forman grupos sumamente activos, y en ocasiones se los observa copular. También se los ha visto alimentándose; para poder hacerlo avanzan por la superficie con la boca abierta, filtrando con sus barbas los pequeños invertebrados planctónicos que habitualmente les sirven de alimento. No obstante, se cree que esta no es un área de alimentación importante. De hecho, muchas ballenas pasan allí varios meses sin comer. Lo hacen durante el verano, para lo cual se dirigen hacia lugares todavía desconocidos en el Atlántico Sur.

Existen variaciones anuales en el número de ballenas francas que frecuentan las distintas áreas de la península Valdés (ver el gráfico). En el golfo San José, desde 1982 hasta 1987, las cifras se mantuvieron constantes entre ciertos límites. En la costa este de la península Valdés se observó que los valores descendieron desde 1984 hasta 1988,




Relación, para el período 1984-1989, entre el número de crías y el universo poblacional del cual forman parte, según observaciones de los autores. La línea naranja indica los totales anuales de cada una de las tres zonas de observación (golfos Nuevo y San José y zona caleta Valdés). Se advierte un notable aumento de individuos en el total grupal de 1988, que contrasta con una acentuada merma en 1989. Esto se debe, probablemente, a alguna causa anormal momentánea por la cual al grupo de 1988 se unieron ballenas individuales, no futuras madres (línea roja), que adelantaron un año su llegada a la zona, produciéndose así la notoria baja de 1989. Esta teoría se basa en el hecho de que el número aproximado de individuos que aumentó en 1988 es similar al faltante en el año siguiente. Ello se percibe, sobre todo, en la cantidad de crías (línea celeste), cuyo número se mantienen casi constante desde 1984, lo cual confirma la estabilidad de la base de los grupos anuales conformada por madres y crías (línea verde). Tales suposiciones deberán ser refutadas o confirmadas por futuros censos y nuevos estudios. Por otra parte, nótense las diferentes evoluciones realizadas por los individuos aislados. Se visualiza un movimiento que responde principalmente a circunstancias eventuales sufridas por la base del grupo (madres y crías), como los estados de pre y posparto, probables cópulas, agrupamiento por alimentación y dispersión por alejamiento de la zona.

El estado crítico de las poblaciones de ballenas francas fue reconocido por distintos países balleneros desde 1909, y varios de ellos establecieron leyes de protección; sin embargo, solo en 1936 fue reglamentada en forma internacional su protección total. En 1977, en una acción ejemplar, la provincia de Chubut declaró parque provincial las aguas del golfo San José mediante la ley 1238, a fin de proteger una de las áreas de cría de la ballena franca; algunos años más tarde, en 1985, el Congreso de la Nación Argentina la declaró monumento natural.

Si bien esta especie ha sido una de las más castigadas, no fue la única fue sufrió la destrucción de sus poblaciones en manos del hombre. Otras han debido soportar suerte similar: la ballena gris del Pacífico Norte, la ballena de Groenlandia y la mayor de todas, la ballena azul. A fin de revertir esta situación, los países signatarios de la Comisión Ballenera Internacional acordaron en 1985 una moratoria de cinco años que impedía la caza de cualquier especie de ballena. La Argentina ha dado muestras de enorme preocupación en lo que respecta a su conservación. Así, Eduardo Iglesias, nuestro representante ante dicha comisión, la ha presidido con gran habilidad durante años y ha sido artífice de decisiones sumamente importantes para la protección mundial de las especies.

La mayoría de los países tradicionalmente balleneros ha dejado de cazar y es posible que dentro de poco cesen para siempre las matanzas. La historia de la ballena franca ha mostrado al hombre, una vez más, su arrogancia. El triste ejemplo, la lección aprendida, señala sin duda el comienzo de una era de pacífica convivencia con estos, los seres vivientes más grandes con los cuales compartimos el planeta.





Las callosidades, exclusivas de las ballenas francas, son áreas de piel engrosada y elevada. La distribución de estas formaciones, distinta para cada animal, se mantiene inalterada de por vida y es una suerte de 'huella digital' de cada individuo. Se las utiliza, por lo tanto, para identificarlo. Foto Michael Catanzariti y JB Geronimi, Wikimedia Commons.

mientras que registraron un aumento significativo en golfo Nuevo durante el mismo período. Estas fluctuaciones no encuentran explicación aún y son un tanto paradójicas. Golfo Nuevo es, sin duda, el área más afectada por alteraciones provocadas por el hombre. El tráfico naviero desde y hacia Puerto Madryn se ha incrementado notablemente en los últimos tiempos, y anualmente se desarrollan actividades turísticas de avistaje de ballenas desde embarcaciones en la zona de Puerto Pirámides, pleno centro del área utilizada por la especie; sin embargo, es allí donde las cifras han mostrado un sostenido aumento. Estos datos deben manejarse con cautela, ya que son necesarias observaciones más prolongadas en el tiempo para establecer las causas y la evolución de esta tendencia.

El número total de ballenas francas adultas y crías en la península de Valdés se incrementó durante el período 1984-1988 (ver el gráfico). Los datos son parciales, ya que R Payne ha demostrado que solo una parte de la población visita la zona cada año, mientras que el resto lo hace cada tres años y un pequeño porcentaje cada dos, cuatro o más. Basados en observaciones sucesivas de animales conocidos, Whitehead, Payne y otros estudiosos establecieron un aumento para esta población de 6,8% anual, entre 1971 y 1976.

Uno de los factores que afectan el crecimiento poblacional es la mortandad de individuos antes de la edad reproductiva. En el caso de esta especie es difícil obtener datos precisos sobre las defunciones; los cuerpos sin vida de las ballenas francas flotan y es probable que casi todos resulten arrastrados por vientos y corrientes mar afuera. Tal sería la razón por la cual no aparecen en las costas. Sin embargo, en el golfo San José la situación es distinta; en ese cuerpo de agua casi cerrado, las ballenas tienden a ocupar la zona oriental



Una ballena varada en la playa presenta heridas causadas por el ataque de orcas. Aparte del hombre, las orcas son probablemente los únicos predadores de ballenas francas.

del golfo y los vientos que predominan provienen del oeste. Puede esperarse, entonces, que casi todas las ballenas que allí mueren aparezcan en sus playas. Entre 1982 y 1987 se registró un total de 20 ballenas varadas muertas en las playas de ese golfo, de las cuales 19 (95%) eran crías.

Los mismos ballenatos tienden a ocupar un área determinada a lo largo de toda una temporada, con lo cual puede realizarse la comparación entre animales muertos y el total de nacidos. Este cálculo, para el golfo San José, indica una mortalidad perinatal promedio del 18% con importantes variaciones de año a año, que en algunos casos ha llegado al 41,6% (ver cuadro).

Las causas de muerte en ese período no se han establecido aún. La mayoría de los animales cuyo varamiento había sido reciente no presentaba signos externos que evidenciaran las causas del deceso, y tan solo uno de ellos presentaba heridas graves producidas por orcas. Las longitudes totales oscilaban entre 4,60 y 6,28m, lo cual indica que se trataba de animales de menos de cuatro meses de vida, algunos de ellos, probablemente, crías abortadas.

Para animales de mayor edad, la mortandad se puede inferir de la observación o no de animales conocidos en años subsiguientes. Mediante este método, R Payne calcula una supervivencia hasta el primer año de vida de 0,732 (o una mortalidad del 26,8%) para 1971 a 1973, lo cual indica una marcada disminución de la mortalidad a partir del cuarto mes de vida. Después del primer año, no existen hasta el momento datos precisos de defunciones en esta población.

Otros factores que inciden en el crecimiento poblacional son la edad de la madurez sexual y el número de crías por adulto durante su vida reproductiva. En la península Valdés se ha observado que las hembras adquieren su madurez sexual a los seis o siete años, aunque aún se desconoce la edad en que los machos entran en la edad reproductiva. De ahí en más, las hembras tienen en promedio un ballenato cada tres años. La duración del período reproductivo en las ballenas francas se desconoce; probablemente tienen crías durante gran parte de su vida, estimada por algunos investigadores en cincuenta a setenta años. Hembras identificas por Payne en 1971 y 1973, que tuvieron crías en ese entonces, aún siguen pariendo casi diecisiete años más tarde, por lo cual estos animales tienen al menos veintiún años.

La aparente recuperación de esta especie, puesta en evidencia por los censos costeros, se debe indudablemente a los acuerdos internacionales que contribuyen a su protección (ver 'Proteccionismo'). Sin embargo, a pesar de que estos acuerdos han estado en vigencia durante más de cincuenta años, la población mundial es baja. Esta situación tiene distintas explicaciones; en primer lugar, la prohibición de cazar no ha sido observada en su totalidad. Aparte de la industria ballenera brasileña, que capturaba ballenas francas hasta 1973, hay registros de capturas 'accidentales' en distintas partes del hemisferio sur en los últimos treinta años. Por otra parte, es probable que el lugar que ocupaban antiguamente las ballenas haya sido invadido, al menos en forma parcial, por otras especies que compiten por la misma alimentación. Por último, las poblaciones pueden haber sido reducidas a niveles críticos a partir de los cuales la recuperación resulta sumamente difícil y, a veces, imposible. Es el caso de la que frecuentaba la bahía de Vizcaya.

Solo en años recientes se han advertido señales de crecimiento en algunas poblaciones. A pesar de que los indicios de recuperación son alentadores en lo que respecta a las ballenas francas que frecuentan la península Valdés, es imposible asegurar aún que estén fuera de peligro. Existen tanto allí como en golfo Nuevo proyectos de desarrollo industrial y de aprovechamiento mareomotriz de gran envergadura que, sin duda, transformarán el hábitat de cría de estas ballenas. Deberán ser tomados, entonces, todos los recaudos para que las palabras del gran visionario, el perito Francisco P. Moreno, escritas como una solemne advertencia hace más de un siglo, tengan un epílogo feliz, y así la 'embriaguez de la sangre y el lucro' no transforme esta región en los dominios del silencio. CH

| Año | Número de crías | Crías muertas | % de mortandad | Supervivencia |
|---|---|---|---|---|
| 1982 | 14 | 3 | 21,40 | 0,786 |
| 1983 | 14 | 1 | 4,14 | 0,929 |
| 1984 | 15 | 0 | 0 | 1 |
| 1985 | 20 | 6 | 30,00 | 0,700 |
| 1986 | 17 | 3 | 17,60 | 0,824 |
| 1987 | 12 | 5 | 41,66 | 0,583 |
| 1988 | 11 | 1 | 9 | 0,910 |
| **Promedio** | **14,71** | **2,7** | **18,11** | **0,819** |

Mortandad perinatal de crías de ballenas francas en el golfo San José entre julio y diciembre del período 1982-1988.

## LA POBLACIÓN DE BALLENAS FRANCAS CONTINÚA EN CRECIMIENTO, PERO HAY SEÑALES QUE PREOCUPAN

Han pasado veinte años y mucho ha ocurrido en la península Valdés desde ese entonces. A principios de la década de 1990 los que embarcaban para ver a las ballenas en la península Valdés apenas sumaban veinte mil. Hoy las ballenas atraen mas de cien mil visitantes cada año y la cifra continúa creciendo. En 1999 y en respuesta a la solicitud de la provincia del Chubut, la UNESCO declaró a la península Valdés como patrimonio de la humanidad, en buena parte por la presencia allí de las ballenas. Estas se han transformado en uno de los grandes atractivos turísticos del lugar y fuente de empleo e ingresos económicos para la comunidad local. Hoy mas que nunca existe una conciencia colectiva sobre la necesidad de asegurar la protección de esta población de ballenas y son varias las entidades que se dedican a su estudio y conservación. Pero hay también nuevas amenazas para la especie.

Los hallazgos de ballenatos recién nacidos muertos en las costas de la península se han multiplicado llegando en años recientes a superar los cien animales por temporada. En la década de 1980 estimábamos que la población mundial de ballenas francas australes rondaba los 4000. En 2010 se estimó la población mundial de la especie en casi 12000 animales de los cuales cerca de 3400 se reproducían en península Valdés. Si se calcula que la mitad de estas últimas, es decir 1700, son hembras y que estas tienen una cría cada tres años, y si por otro lado aceptamos que algunas de estas no son reproductoras, entonces el total de ballenatos nacidos quizás ronde unos 450 animales cada año. Una mortandad de 100 crías representa entonces casi la cuarta parte de los animales nacidos.

Los investigadores están trabajando con la provincia de Chubut para averiguar las causas de esta mortandad. Entre varios factores, se cree que el ataque de gaviotas a las ballenas podría ser un factor importante. La gaviota cocinera (*Larus domincanus*) es una especie autóctona y abundante en las costas de la Argentina. Tiene una dieta muy variada, y cumple un rol valioso en el ecosistema, pero en los últimos años se ha observado que ha comenzado a alimentarse de la piel y del tejido subcutáneo de las ballenas. Para ello aterrizan sobre el lomo de las ballenas que se encuentran en superficie y las picotean rápidamente antes de que estas reaccionen y se sumerjan. Los ataques son tan frecuentes y tan difundidos que la mayoría de las ballenas presentan heridas. Los animales adultos han aprendido a mantener sus espaldas sumergidas fuera del alcance de las gaviotas, pero a los ballenatos les lleva un tiempo incorporar estas estrategias. Atacadas con mayor frecuencia, las heridas en los ballenatos llegan a ser muy grandes y numerosas, a veces cubriendo la totalidad de sus espaldas. Si bien estas heridas pueden no ser causantes directas de la muerte de estos ballenatos, quizá contribuyan. Sumado a ello existe la constante interrupción de la lactancia y el estrés provocado por los ataques. La gaviota cocinera, que reproduce en colonias cercanas en isla de los Pájaros, caleta Valdés y Punta Pirámide, ha duplicado su abundancia, posiblemente por los basurales a cielo abierto de ciudades como Rawson, Comodoro Rivadavia, Puerto Madryn y Trelew.

Si bien las ballenas francas del sur se están recuperando de las matanzas de antaño, su población aún es reducida y ante las amenazas que hoy enfrentan continuarán necesitando de nuestra atención y cuidado.



## LECTURAS SUGERIDAS


**BROWNELL RL Jr**, **BEST PB & PRESCOTT JH**, 1986, 'Right Whales: Past and Present Satus', *IWC Reports*, Sp. Iss. 10, Cambridge.

**DU PASQUIER**, T, 1986, 'Historical Catches of Right Whales by Area', *IWC Reports*, Sp. Iss. 10, Cambridge.

**HARRIS G y GARCÍA CO**, 1986, *La ballena franca de la península Valdés*, Impresora Golfo Nuevo, Puerto Madryn.

**PAYNE R**, **BRAZIER O**, **DORSEY E**, **PERKINS J**, **ROWNTREE V & TITUS A**, 1983, 'External Features in Southern Right Whales', en R Payne (ed.), *Communication and Behaviour of Whales*, AAAS Selected Symposia Series 76, Westpoint Press, Boulder.

Ciencia Hoy Volumen 13 número 78 diciembre 2003 - enero 2004

**John C Ogden**
Florida Institute of Oceanography

**William J Wiebe**
University of Georgia

**Guillermo Podestá**
University of Miami

**Ransom A Myers**
Dalhousie University, Canadá

**Adriana Zingone**
Stazione Zoologica A Dohrn, Nápoles

# Las ciencias del mar en la Argentina

*¡Qué desperdicio de tierra!*
(Atribuido a un viejo gaucho al ver por primera vez el mar)

## Síntesis

La situación de las ciencias del mar en la Argentina se puede caracterizar como una de 'excelencia en aislamiento'. El tema dominante de las discusiones mantenidas por el comité que preparó este informe fue la virtual inexistencia de coordinación entre programas de investigación, equipo para realizar tareas de campo y personal científico y de apoyo en las instituciones. La coordinación que existe ocurre gracias a enormes esfuerzos individuales y a relaciones personales.

Si bien en muchos lugares hay investigadores destacados y entusiastas, casi todos sufren de aislamiento físico, mínima financiación y la necesidad de prestar servicios por contrato para llevar adelante su trabajo. Además, como suelen carecer de interacción científica con colegas, les resulta muy difícil diseñar programas con una perspectiva amplia del ecosistema. Muchos laboratorios padecen de problemas estructurales, en especial la carencia de equipamiento moderno y destrezas actualizadas. Muy pocos reúnen una masa crítica de investigadores, y aun aquellos que congregan a muchos científicos

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

De la misma manera que en números anteriores de Ciencia Hoy se presentaron informes sobre el estado de determinadas disciplinas académicas en el país –en particular, en los números 57 (junio-julio de 2000) para biología molecular, 67 (febrero-marzo de 2002) para matemática y 70 (agosto-septiembre de 2002) para ciencias agropecuarias–, en este se da a conocer un documento sobre las ciencias del mar escrito por un comité internacional presidido por John C Ogden.

no parecen practicar la coordinación entre proyectos ni usan mecanismos que faciliten una interacción constructiva. No se advierten programas que utilicen técnicas moleculares más allá de un nivel superficial. No hay bibliotecas adecuadas, por lo que es poco realista que las autoridades institucionales pretendan que resulten publicaciones de alto vuelo y de circulación internacional. Las mejores instituciones se encuentran diseminadas entre Ushuaia y Buenos Aires, pero hay escasas reuniones nacionales en las que establecer contactos, intercambiar ideas y diseñar colaboraciones. Con una excepción, no hay buques oceanográficos disponibles para investigar y las embarcaciones menores son pocas, lo que impide realizar estudios sobre la plataforma e incluso cercanos a la costa. Algunos de los mejores grupos han concentrado su actividad en el área costera, lo que limita seriamente el alcance de sus investigaciones.

El comité formuló algunas recomendaciones, detalladas al final del informe, que permitirían comenzar a atacar estas carencias. Una necesidad fundamental sería un plan oceanográfico nacional que reconozca la magnitud de la plataforma argentina, la importancia de las ciencias del mar y la escala de los problemas que encaran sus disciplinas. Un elemento crítico de tal plan sería la necesidad de apoyar amplios estudios integradores, para comprender cómo peces y mamíferos marinos utilizan la productividad del Mar Argentino, desde la costa hasta más allá del borde de la plataforma. El plan también debería encarar la financiación unificada y el uso compartido de embarcaciones y equipo de alto costo. Por último, debería asegurar recursos para apoyar a estudiantes y, más importante aún, promover la creación de oportunidades laborales para graduados, lo que contribuiría a solucionar el problema de la fuga de cerebros que al presente acosa a estas disciplinas.

Las recomendaciones contenidas en este informe acerca de reflexionar y reorganizar la infraestructura científica en el más alto nivel gubernamental no podrán encontrar aplicación sin que haya coordinación y comunicación entre la comunidad de científicos del mar en la Argentina. Las ciencias marinas necesitan unificar su discurso para explicar la importancia del ambiente oceánico y sus recursos para la nación, y para presentar recomendaciones en orden de prioridad para el futuro.

## I. Introducción

A pedido de la Fundación Antorchas, un comité internacional de cinco personas estuvo durante siete días en la Argentina a fines de febrero y principios de marzo de 2003. Su propósito fue proporcionar a la comunidad local de investigadores en ciencias del mar una opinión independiente e informada, de acuerdo con estándares internacionalmente aceptados, acerca de las fortalezas y debilidades de esas disciplinas, e identificar oportunidades que permitiesen mejorarlas. En abril de 2002, John



Elefantes marinos en la península Valdés. Foto Teresita Fernández



Caracol nudibranquio. Canal Beagle. Foto Héctor Elías Monsalve

Ogden había realizado un corto viaje de reconocimiento de las instituciones de investigación marina del país. El comité no analizó ni juzgó el trabajo individual de científicos o laboratorios y el informe no incluye citas de la literatura ni nombres de investigadores o de grupos.

¿A quiénes está dirigido el informe? En primer lugar, y sobre todo, a quienes investigan en las ciencias del mar, para ofrecerles una visión independiente de los puntos fuertes y débiles de esas ciencias en el país. También se espera que resulte útil a directores de laboratorios y centros que albergan a las disciplinas marinas, y por último, que sea de ayuda a quienes toman decisiones de política científica en los más altos niveles gubernamentales y a los responsables del manejo de los recursos del mar. Dado el creciente costo de la tecnología que usa la investigación marina, y la necesidad de mayor conocimiento científico para manejar y conservar esos recursos, se necesitan ideas nuevas para guiar dicha investigación hacia el nuevo siglo. Los autores esperan que este informe resulte una pequeña contribución para avanzar hacia tales metas.



Captura de vieras. Foto INIDEP

## Organización del informe

El informe está organizado de la siguiente manera. La sección II describe brevemente el contexto geográfico de la ecorregión del Mar Argentino. Tiene un objetivo doble. Primero, proporciona un telón de fondo a personas ajenas al campo de las ciencias del mar (por ejemplo, administradores con otras formaciones); y, segundo, hace hincapié, para beneficio de los científicos del área, en la riqueza y diversidad de rasgos físicos, geológicos y biológicos de la región, los que plantean un amplio espectro de interrogantes y constituyen potenciales temas de investigación. La sección III describe los alcances de la investigación en varias áreas temáticas de las ciencias del mar en la Argentina. Por la variedad de esas ciencias en el país, el limitado número de integrantes del comité y la brevedad de las visitas de campo, se trata necesariamente de una descripción incompleta. Sin embargo, el propósito no fue confeccionar una lista exhaustiva de las investigaciones en curso, sino identificar fortalezas y debilidades y ayudar a reconocer oportunidades potenciales. La sección IV se ocupa de temas relacionados con la infraestructura de investigación y los equipos compartidos en la escala nacional. La sección V se dedica a lo que

seguramente constituye lo mejor de las ciencias del mar en la Argentina: sus recursos humanos; en ella se discuten las necesidades de entrenamiento y de educación. La última sección detalla las recomendaciones del comité.

## II. La ecorregión del Mar Argentino

El Mar Argentino, bien definido por fisiografía, circulación física, procesos ecológicos y patrones de distribución de la biodiversidad, posee la coherencia propia de una ecorregión. De acuerdo con el análisis geográfico ecológico, es una entre alrededor de 100 ecorregiones de los océanos de la Tierra. La Argentina posee una extensa costa (alrededor de 3500km) y una de las mayores plataformas continentales del mundo, que se extiende por más de 20° de latitud y alcanza, en algunas zonas, más allá de las 200 millas de uso económico exclusivo.

La ecorregión argentina limita mar adentro con las corrientes del Brasil y de las Malvinas. Estas dos corrientes opuestas se encuentran en la llamada convergencia Brasil-Malvinas, un área de gran productividad primaria y abundante en organismos de altos niveles tróficos. La confluencia es un área importante de pesquerías pelágicas, así como de alimentación de mamíferos marinos y aves. El límite entre las aguas externas de la plataforma y el borde oeste de la corriente de las Malvinas define el frente de quiebre de la plataforma, asociado a una angosta franja rica en biomasa fitoplanctónica. Ello se destaca claramente por el color del océano en las imágenes satelitales, y estacionalmente se reconoce también en imágenes satelitales nocturnas, que muestran las intensas luces de cientos de embarcaciones que pescan calamar. La gran longitud (aproximadamente 1500km) de la banda de alta concentración de clorofila y su persistencia durante la primavera y el verano, mucho después del fin del florecimiento primaveral en el resto de la plataforma, constituyen un rasgo único.



Pingüinos, golfo Nuevo. Foto Teresita Fernández

Lo que se sabe de la circulación sobre la plataforma es principalmente el resultado de la aplicación de modelos numéricos, ya que las mediciones directas de flujo son escasas. Dicha circulación tiene generalmente dirección NNE; su velocidad varía geográfica y estacionalmente. Donde las aguas de la plataforma se encuentran con las del Río de la Plata se produce un fuerte frente de salinidad y turbidez. Las aguas de baja salinidad circulan tanto hacia el sur como hacia el norte a lo largo de las costas uruguaya y argentina. Hay frentes de marea cerca de la península Valdés, que separan aguas costeras mezcladas por fuertes mareas y vientos de una columna de agua estratificada del lado de mar. La fuerte mezcla seguida de convergencia aporta nutrientes a la zona frontal y mantiene una importante producción biológica. Una lengua de aguas de baja salinidad, influenciada por agua de deshielo, baña las costas del sur argentino, llega hasta el golfo San Jorge y repercute sobre la productividad biológica.

La región costera argentina puede dividirse en cuatro zonas. En el norte, el Río de la Plata drena la mayor cuenca de Sudamérica después de la del Amazonas. El uso de la tierra en esa cuenca está cambiando rápidamente, con expansión del área agropecuaria. Ese cambio tiene una gran repercusión en el ingreso de sedimentos y contaminantes en el estuario y las aguas costeras. Los caudales del Río de la Plata no solo evidencian un marcado ciclo estacional sino, también, variabilidad interanual, asociada con la ocurrencia del fenómeno climático de El Niño y con tendencias de baja frecuencia (decenal).

La costa de la provincia de Buenos Aires tiene varias ciudades turísticas. Mar del Plata, una aglomeración urbana en crecimiento, es un activo puerto pesquero. Cerca de Bahía Blanca hay importantes industrias petroquímicas, que pueden ser fuentes de contaminación, y en el Rincón, el estuario cercano a esa ciudad, hay un sistema complejo de canales de marea, bajos cenagosos, humedales salobres y pequeñas islas.

La escasamente poblada costa patagónica es la mayor de las cuatro zonas costeras, ya que abarca desde el río Colorado (a unos 39° de latitud sur) hasta el canal Beagle (a unos 55°S). Por el clima semiárido, hay poco aporte de aguas fluviales. La costa patagónica incluye dos grandes golfos abiertos (San Matías y San Jorge) y dos golfos pequeños semicerrados (San José y Nuevo). Algunos de esos cuerpos de agua son importantes áreas de desove y cría de peces y de reproducción de mamíferos marinos. La costa patagónica es famosa por la enorme concentración estacional de aves marinas, pinnípedos y

cetáceos. La vida silvestre en la región de Puerto Madryn, y la situación, historia y vida silvestre de Tierra del Fuego (la cuarta región costera) soportan una importante industria ecoturística. Claramente, la gran extensión y productividad de la plataforma argentina es clave para el mantenimiento de esa biodiversidad, pero hay crecientes conflictos entre la industria pesquera y los conservacionistas. Bien manejada, la plataforma patagónica es capaz de una producción pesquera sostenida comparable con la producción argentina de carne o trigo, y tal vez mayor que ella. Por ejemplo, en 2002 la Argentina exportó 714 millones de dólares en productos pesqueros (procesados y sin procesar), mientras que las exportaciones de carne y derivados solo alcanzaron los 547 millones. Por desgracia, la sobrepesca originó una caída de los stocks de merluza, cuya biomasa desovante es un quinto de lo que era hace quince años. Tal vez más alarmante aún es el colapso de la pesca de la merluza negra juvenil patagónica, al parecer como consecuencia de la acción de una flota internacional de pesqueros de arrastre. La pesca excesiva de esas especies resulta en una enorme pérdida económica en el largo plazo y debería ser encarada por la nación.



Puesta de nudibranquio, golfo Nuevo. Foto Eugenia Zavattieri

## III. El alcance de las ciencias del mar en la argentina

### Oceanografía física

Las instituciones argentinas comenzaron el estudio físico del Atlántico Sur a mediados de la década de 1950, sobre todo en apoyo de programas de investigación pesquera. La actual comunidad argentina de oceanógrafos físicos incluye unos veinte miembros activos, mayoritariamente pertenecientes al SIHN. Otros están en el INIDEP, IADO, CENPAT, la UNS y el IAA.

Los estudios descriptivos del estuario del Plata y su descarga sobre la plataforma han sido tema de colaboración entre el SIHN y el INIDEP. En los últimos años, esa zona, administrada conjuntamente por el Uruguay y la Argentina, ha sido objeto de cooperación entre centros de ambos países, como parte del FREPLATA, uno de los pocos ejemplos de grandes proyectos multidisciplinarios que el comité conoció durante su visita. El estudio, apoyado por la Global Environmental Facility, abarca observación y modelización.

Investigadores del IADO estudiaron el estuario de Bahía Blanca y comenzaron, recientemente, a hacerlo en forma integrada en otros estuarios (Quequén Grande, Quequén Salado, Claromecó y Negro). El CENPAT describió la hidrografía y circulación de los golfos patagónicos. En los últimos años hubo renovado interés por entender la oceanografía de la plataforma. Un ejemplo es un estudio de las diferentes masas de agua que posee. Las investigaciones de la alta productividad biológica en el borde de la plataforma han atraído alguna atención, pero la necesidad de realizar investigaciones sistemáticas enfocadas específicamente en este tema se ve afectada por la falta de embarcaciones adecuadas.

El mayor esfuerzo de modelización numérica del océano y la circulación en la plataforma se lleva a cabo en dos instituciones: el CIMA y la UNS. Existen algunos modelos numéricos de alta resolución y de última generación del Mar Argentino. El CIMA adaptó y puso en uso un modelo tridimensional del Río de la Plata, en colaboración con la Universidad de Hamburgo: se lo está usando en el proyecto FREPLATA y para explorar las consecuencias del cambio climático en el estuario. La UNS, el SIHN y la Oregon State University colaboran en el modelado de la circulación en la plataforma. Para asegurar

la viabilidad del modelado numérico oceánico en la Argentina, es necesaria la interacción entre los investigadores del tema; además, sería conveniente incorporar a este esfuerzo a expertos en asimilación de datos y técnicas computacionales. La devaluación de la moneda argentina a principios de 2002 podría impedir el mantenimiento y la modernización de la capacidad computacional; sin embargo, la asociación con colaboradores regionales e internacionales podría proveer acceso a capacidades adicionales de cálculo, como supercomputadoras, de las que carece la Argentina. Habría que promover nuevas colaboraciones de este tipo y fortalecer las existentes.

Los esfuerzos para comprender los procesos oceánicos más allá del borde de la plataforma (por ejemplo, la dinámica de las corrientes del Brasil y de las Malvinas) se han realizado casi siempre en colaboración con instituciones extranjeras. Merece resaltarse la cooperación sur-sur del programa de cinco años sobre cambio climático en el Atlántico Sur, financiado por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global. Este proyecto fomenta interacciones entre científicos de la Argentina, el Uruguay y el sur del Brasil (con participación de los Estados Unidos), y ha financiado visitas de intercambio y entrenamiento específico de científicos jóvenes de los países participantes. Por ejemplo, en 2000 y 2001 se dieron cursos cortos sobre interacciones biofísicas en frentes oceánicos en Puerto Madryn y en Río Grande del Sur.

Otras áreas relacionadas con la oceanografía física son el monitoreo y predicción de mareas, el patrón de olas y las corrientes costeras. Estas actividades, que tienen importantes aplicaciones prácticas, están principalmente a cargo del SIHN. Debido a la naturaleza operativa de muchas de sus tareas, como la publicación de tablas de mareas, los profesionales del SIHN tienen poco tiempo para la investigación. No obstante, participan en algunas colaboraciones interesantes.

Es tradicional la fuerte inclinación de los oceanógrafos físicos argentinos por la investigación del océano abierto. Por desgracia, el alto costo de operar buques oceanográficos y de construir equipos de observación limita el alcance de la participación argentina en los programas de observación del mar abierto. Esto no significa que la Argentina deba retirarse por completo de los programas internacionales de observación oceánica global. Una aproximación pragmática podría comprender varias estrategias paralelas. Una sería fortalecer aquellas colaboraciones en curso internacionales y, sobre todo, regionales que permitan participar en campañas de muestreo. Otro camino sería identificar ventajas estratégicas; por ejemplo, la Argentina podría aprovechar la abundancia de personal técnico altamente entrenado y de costos internacionales relativamente bajos para ocuparse del preprocesamiento y control de calidad de datos globales. Otra área en la que la Argentina podría tener un cometido importante es el desarrollo de instrumentación de bajo costo. Se vieron algunos esfuerzos de este tipo en el IADO y el IS de San Antonio Oeste, donde, en colaboración con el sector privado, se estaba trabajando en un sistema para controlar buques pesqueros y, al mismo tiempo, recolectar información ambiental.

Dado su limitado tamaño, el número de publicaciones de la comunidad activa de oceanógrafos físicos parece razonable. Como parte de la preparación para la visita del comité, se confeccionó una reseña de lo publicado entre 1995 y 2000. Las publicaciones de oceanografía física se concentran en temas en los que el país tiene puntos fuertes: estudios regionales descriptivos, análisis de información retrospectiva y modelado. Curiosamente, pocos trabajos estaban basados en datos provistos por sensores remotos. Esto es sorprendente, ya que la relativa escasez de datos recientes obtenidos in situ en el Mar Argentino, la cobertura global de los instrumentos satelitales y la creciente disponibilidad de nuevos sensores capaces de obtener datos oceánicos y atmosféricos hacen que esas técnicas sean muy atractivas. Aparentemente, pocos oceanógrafos físicos tienen experiencia en tal tecnología. El fomento de colaboraciones con expertos en el tema (como se vio en el CENPAT) puede ser una manera de encarar este asunto y de incrementar el uso de datos satelitales en las publicaciones argentinas.







Ransom Myers con José María Orensans.

Ransom Myers y Adriana Zingone con Jorge Calvo.

Guillermo Podestá con Gerardo Perillo.

## Geología marina y costera y geofísica

La extensa costa y la amplia plataforma continental argentinas ofrecen múltiples oportunidades de investigación en geología costera y marina y en geofísica. Hay unos 25-30 investigadores activos en la disciplina, número comparable con el de oceanógrafos físicos. Se distribuyen en varios centros del Conicet (IADO, CENPAT, CADIC), en universidades (UBA, UNMDP, UNPSJB, UNPA y UNLP) y en otras entidades de investigación (SIHN y MACN).




'Barcos descansando II'. Foto Graciela Retegui, Círculo Fotográfico Club San Fernando.

Algunas zonas de la plataforma cercanas a la costa son productoras de petróleo y hay clara evidencia de reservas petroleras en otras. Sería posible explotar minerales en la plataforma, aunque la magnitud de ese recurso potencial no ha sido estimada debido a que se requeriría un extenso muestreo con equipo moderno. Los estudios de sitios alejados de la costa se han visto limitados por las dificultades de acceder a barcos y a equipos de reconocimiento. Aunque el *Puerto Deseado*, un buque de investigación del Conicet, estaba originalmente pertrechado para la investigación geofísica, aparentemente parte de su equipo no está en condiciones de operar. Según la Convención de las Naciones Unidas sobre la Ley del Mar, el límite exterior de la plataforma continental argentina debe quedar formalmente delimitado antes de 2009. Esto, en sí, no requiere investigación, pero implica la necesidad de efectuar reconocimientos geofísicos y batimétricos detallados, que brindarían la oportunidad de agregar tareas de investigación.

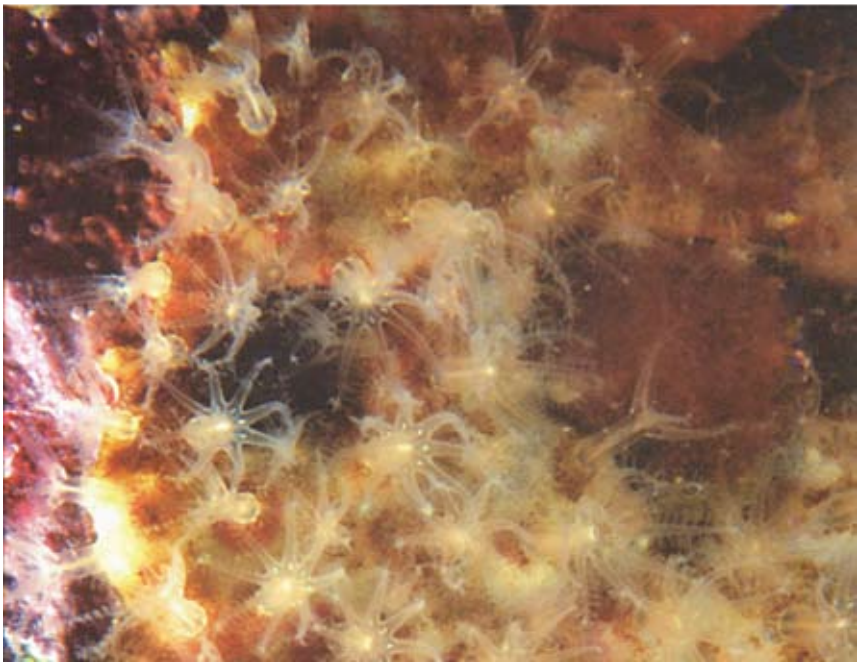
El mayor número de geólogos costeros se encuentra en el IADO. Allí se investigan cuestiones de geomorfología, circulación y dinámica de transporte de sedimentos en varios estuarios de la costa, sobre todo el de Bahía Blanca, por su proximidad geográfica. El IADO alcanza una masa crítica de investigadores en temas estuarinos y costeros, y posee instrumental relativamente bien mantenido. La importante concentración de industrias petroquímicas cerca de Bahía Blanca estimuló la realización de estudios de geoquímica de metales pesados y otros contaminantes. Investigadores del LOC se ocupan de la evolución cuaternaria del nivel del mar en la provincia de Buenos Aires, y en el CENPAT hacen lo mismo para Chubut. El CGC estudia las playas turísticas de la costa bonaerense y la laguna de Mar Chiquita, cerca de Mar del Plata. Geólogos de la UBA han trabajado sobre la evolución histórica de la línea de playas de Buenos Aires, y los del SIHN han intentado investigar ambientes alejados de la costa, por ejemplo, los procesos de sedimentación en el quiebre y la pendiente de la plataforma. Pero esos esfuerzos se ven severamente limitados por el costo y la posibilidad de acceso a barcos y equipo. Hace poco se inició un programa de geología marina en el CADIC, en Tierra del Fuego.

La mayoría de los geólogos marinos y geofísicos de la Argentina no interactúan mucho con investigadores de otras disciplinas ni con otros posibles usuarios de conocimiento científico. Hay sin duda espacio de interacción entre geólogos y oceanógrafos físicos en el estudio de la dinámica de la circulación y del transporte de sedimentos, pero no se ha explotado significativamente, tal vez porque los oceanógrafos físicos no se han concentrado mucho en el estudio de ambientes de poca profundidad. Otras interacciones obvias serían con biólogos. Un signo positivo es un curso sobre geología y ecología litoral, dado en la UBA en colaboración por biólogos y geólogos. Finalmente, el manejo de zonas costeras ofrece a los geólogos atractivas oportunidades de llevar a cabo investigaciones socialmente relevantes y de proporcionar datos con bases científicas a administradores costeros y generadores de políticas públicas.

## Oceanografía biológica

Las investigaciones en oceanografía biológica requieren un enfoque interdisciplinario para cubrir adecuadamente las escalas de los procesos que regulan la distribución de la vida marina en el espacio y el tiempo. En este momento, los temas centrales de la disciplina se relacio-





Canal Beagle (arriba). Anémonas (derecha). Fotos Héctor Elías Monsalve

nan con los ciclos biogeoquímicos y con el cometido funcional de la biodiversidad en esos ciclos. Se reconoce que los componentes biológicos de los sistemas en gran medida determinan los procesos y, con ello, el resultado de los servicios centrales del ecosistema, como la absorción de CO2 y la producción de alimentos. Un asunto recurrente en el análisis de estos procesos es su posible variación a lo largo del tiempo en respuesta a cambios climáticos y perturbaciones antropogénicas.

Con una gran plataforma continental sometida a influencias externas (ríos, circulación en gran escala) y a una dinámica interna (frentes, vórtices), el Mar Argentino es un recurso económico crítico para el país y un área de estudio muy interesante y ecológicamente coherente. Los futuros proyectos de manejo y conservación de los recursos marinos dependerán de estudios funcionales de la biodiversidad marina en escalas coherentes con los procesos oceanográficos químicos y físicos que impulsan los biológicos.

La mayor parte del conocimiento necesario para comprender los procesos biológicos en los océanos está disponible en el país. Sin embargo, pocos grupos integran el estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos, o, en términos generales, realizan investigación interdisciplinaria. Más adelante se hacen algunas sugerencias que pueden ayudar a fomentar la colaboración interdisciplinaria y a analizar los problemas oceánicos con una perspectiva más amplia.

La crisis económica de la Argentina en 2001, con su consecuente limitación de recursos, posiblemente sea el origen de una estrategia defensiva por parte de los investigadores, que los conduce a seleccionar temas manejables de manera individual y con recursos limitados. Además, grupos importantes han orientado su trabajo hacia problemas aplicados o centrado sus investigaciones en especies con importancia comercial. Por ejemplo, los expertos en fitoplancton, incluyendo taxónomos, ecólogos y oceanógrafos, han dirigido sus investigaciones hacia las especies potencialmente tóxicas, y pocos se ocupan de las no perjudiciales.

La escasez de taxónomos es hoy una preocupación en la mayoría de los países, en los que los nuevos cargos en organizaciones académicas y gubernamentales suelen ser ocupados por disciplinas menos tradicionales. Esto es especialmente evidente en la Argentina, donde en el pasado científicos notables hicieron contribuciones fundamentales al conocimiento de dinoflagelados y ciliados y crearon la base de la moderna taxonomía de estos importantes grupos de especies. Por lo menos una parte de la decadencia de la taxonomía del fitoplancton en la Argentina puede deberse a la gran limitación en el uso de técnicas modernas requeridas en este campo, especialmente la microscopia electrónica y la biología molecular.

## Química, biogeoquímica y ecología microbiana

La química y la biogeoquímica son disciplinas fundamentales para el estudio de los procesos ecológicos marinos. Aunque hay apenas unos dieciocho químicos y biogeoquímicos marinos en la Argentina, la comunidad parece conocer bien y tener buena opinión del trabajo de cada uno. Los grupos de biogeoquímica de la UNLP y del IADO poseen equipo moderno en excelente estado, incluyendo todas las técnicas de cromatografía gaseosa disponibles, espectrofotometría, cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y excelentes laboratorios. Sin embargo, tienen poco tiempo y energía para dedicar a la investigación, porque los laboratorios deben sostenerse económicamente prestando servicios tales como

análisis de contaminación por pesticidas y desechos cloacales. A pesar de esto, los grupos son activos y publican en revistas internacionales. Con una financiación razonable podrían proveer datos de primera calidad y colaborar con programas de investigación pesquera y de los ecosistemas. Este es un grupo pequeño, pero importante, de científicos que merece ser alentado.

La falta de acceso a buques de investigación impide el trabajo en el mar abierto a la mayoría de los investigadores, salvo los del INIDEP, por lo que los estudios de tipo químico solo se hacen en la zona intermareal. Todos los científicos entrevistados emplean estudiantes de grado como ayudantes. Este es uno de los éxitos de las ciencias del mar en la Argentina. Los estudiantes que conoció el comité eran inteligentes, lúcidos y dedicados, y las ayudantías facilitaban mucho sus estudios. El problema es que después no encuentran empleo ni en los laboratorios ni en el sector público. En algunos grupos había estudiantes de posgrado, pero la financiación para ellos es muy difícil de conseguir. La mayor parte de los investigadores asiste a reuniones internacionales mantiene contactos externos y participa en colaboraciones. Ello les permite acceder a técnicas y conocimientos que no existen en el país. Como pasa con casi todos los demás grupos, los químicos y biogeoquímicos trabajan prácticamente aislados y no colaboran realmente con biólogos u oceanógrafos físicos. Una notable excepción ocurre en el INIDEP, donde un grupo interdisciplinario que estudia el estuario del Plata incluye a biogeoquímicos. En las ciencias marinas de hoy, la biogeoquímica es un componente importante de cualquier estudio de ecología marina. Se trata de un área que necesita especial apoyo en el país.

En varios lugares se realiza investigación en ecología microbiana. Aunque hay entusiasmo, no es un área muy desarrollada. Es especialmente notable la falta casi total de experiencia molecular de los ecólogos microbianos, algo particularmente desafortunado, porque hoy la mayoría de los descubrimientos importantes se hacen usando técnicas moleculares.



John Ogden con Eduardo Spivak.

Los parasitólogos entrevistados tenían programas de investigación enérgicos y activos, con propósitos científicos claros. Disponían de biblio-




Pescadores trabajando. Foto Graciela Retegui, Círculo Fotográfico Club San Fernando

grafía actualizada y publicaban en revistas de calidad, pero, nuevamente, estaban casi completamente aislados. Sería bueno que se incorporaran más a los programas marinos. Tienen experiencia y conocen técnicas que serían de utilidad para los ecólogos microbianos y, a su vez, se beneficiarían con la ampliación de su área de investigación.

El comité visitó un laboratorio de productos naturales, que realizaba un trabajo impresionante, con muchos proyectos y colaboraciones internacionales. Sin embargo, no parecía estar relacionado de ninguna forma significativa con otras investigaciones marinas. Desafortunadamente, ello sucede con frecuencia en esta área.

## Biología marina, ecología y conservación

Los biólogos marinos y los ecólogos forman el grupo más grande de científicos del mar en la Argentina y están bien distribuidos en instituciones de investigación a lo largo de la costa. Concentran su labor en cuatro grandes áreas temáticas: (1) grandes estuarios; (2) costa patagónica; (3) ambientes subantárticos y antárticos, y (4) pesquerías.

Los estudios sobre el comportamiento y la ecología de aves y mamíferos marinos se realizan a lo largo de la costa pero se concentran en la Patagonia, donde hay colonias de importancia mundial. Estos estudios están focalizados en demografía de largo plazo, comportamiento, rastreo satelital, estudios tróficos e interacción con pesquerías, especialmente la mortandad resultante de redes y palangres. Los estudios de aves y mamíferos marinos han atraído interés internacional y financiación de organizaciones conservacionistas. Esos biólogos parecen tener buenas conexiones internacionales.

La costa argentina se caracteriza por diversidad de especies de invertebrados y alto endemismo en algunos grupos. La investigación de la biología, fisiología y ecología de invertebrados bentónicos es variada y algunos grupos están poniendo foco en grupos prominentes, como moluscos, para abrir nuevos campos de investigación biológica.

Mucho queda por descubrir en el Mar Argentino, una región importante para explorar y estudiar. Los grupos de investigación dependen en gran medida de muestras recolectadas ad hoc por barcos pesqueros y buzos. Sin embargo, casi toda muestra tiene potencial de revelar algo nuevo. La necesidad de realizar estudios taxonómicos es paralela a la exploración e identificación, pero la Argentina sigue la tendencia mundial de declinación de esa disciplina, a pesar de que crece su importancia para comprender la diversidad biológica y los procesos de evolución.

Como pasa con otras disciplinas, la biología marina se caracteriza en gran medida por el aislamiento relativo de un conjunto de pequeños grupos, con débiles vínculos con otras disciplinas. Las excepciones notables incluyen estudios que integran organismos de fondo blando y la dinámica de sedimentos, realizados en la UBA, y los mencionados estudios interdisciplinarios de los grandes estuarios.



Huevos de nudibranquio. Canal Beagle. Foto Héctor Elías Monsalve

La dificultad general de acceso a sitios de estudio en la costa y el mar produjo una ausencia de programas de monitoreo de largo plazo y de series temporales de datos. Estas son a menudo lo más relevante para definir la dinámica de las poblaciones, para rastrear cambios en los procesos físicos, químicos y biológicos, y para estimar las alteraciones generadas por el hombre a lo largo del tiempo. Son, además, importante fuente de futuros temas de investigación.

Hay creciente interés en el CENPAT y el IS por la creación de áreas marinas protegidas en la costa patagónica, en es-

pecial las zonas de prohibición de pesca. Esas áreas ofrecen a la biología marina y a la ecología la oportunidad de rastrear trayectorias de cambio y usar los regímenes de manejo como experimentos ecológicos de gran escala. El manejo y la conservación marina de base comunitaria realizados en la Argentina constituyen un modelo para el mundo.

Un tema recurrente de este informe es la necesidad de una mejor coordinación e integración de la investigación de los ambientes marinos. Se está avanzando en esta dirección con la participación de numerosos biólogos y ecólogos argentinos en las discusiones iniciales del proyecto de censo global de la vida marina, financiado internacionalmente por una fundación privada. El objetivo del censo es estimar la biodiversidad marina de la región y recomendar métodos de control continuo que permitan rastrear los cambios a lo largo del tiempo. Aunque ambicioso, el programa daría a los científicos argentinos la oportunidad de considerar el Mar Argentino en una perspectiva amplia, y de ver a sus respectivas disciplinas en relación con otras. Esto, inevitablemente, mejoraría la comunicación entre grupos de investigación y, en última instancia, la cooperación e integración. El componente costero del sistema de observación global del océano reconoce la importancia central de la biología y puede ofrecer un punto de apoyo para estudios interdisciplinarios.

Un gran desafío de la biología y la ecología marinas es equiparar la escala de las investigaciones biológicas con la de los procesos físicos que definen la distribución de los organismos y los patrones de abundancia. Por ejemplo, los traslados de larga distancia con fines de alimentación de las colonias de aves y mamíferos marinos de la costa patagónica cubren la totalidad de la plataforma y las aguas oceánicas más allá de ella. Esta conectividad e interdependencia de ambiente y especies ha llevado a un grupo de investigadores patagónicos a bregar por un estudio integrado que tome el Mar Argentino como unidad ecológica y de manejo. En una reciente reunión internacional sobre conservación marina a la que asistieron varios prominentes científicos argentinos, un grupo de trabajo enfocó la ecorregión como una unidad de planeamiento. Esbozó un plan oceánico para ella, con actividades a realizar, su razón de ser y su presupuesto por diez años. Aunque esto no fue más que un ejercicio, la planificación será cada vez más importante a medida que los gobiernos de las naciones marítimas traten de balancear crecimiento poblacional y sustentabilidad de uso de los recursos.



Pepinos de mar. Canal Beagle. Foto Héctor Elías Monsalve

## Investigación de peces y pesquerías

Los peces marinos se estudian en instituciones científicas dispersas en muchos lugares del país, las que se ocupan de taxonomía, reproducción, comportamiento, ecología trófica y flujos de energía. En las regiones templadas del norte de la costa, dichos estudios se relacionan más con la biodiversidad e incluyen la estructura de las comunidades y los patrones de distribución y abundancia.

La plataforma argentina sostiene numerosas pesquerías importantes. El estado de las poblaciones de peces de valor comercial se evalúa por métodos tradicionales, dependientes e independientes de las pesquerías, con científicos embarcados en buques de investigación pesquera y observadores en embarcaciones comerciales. En muchas instituciones argentinas se realiza ciencia de pesquerías de primera calidad. Sin embargo, parece haber desconfianza mutua entre científicos del gobierno y de las universidades. Esta situación es poco afortunada, pero por cierto bastante común en todo el mundo.

Para establecer un puente entre ambas culturas, se necesita un cambio de política. Los científicos del INIDEP tienen la misión de producir buenas estimaciones del tamaño de las poblaciones y recomendar niveles de captura aceptables y restricciones a la pesca. Tales obligaciones pueden limitar la capacidad de dichos investigadores de publicar al mismo ritmo que sus colegas universitarios o limitar su capacidad de desarrollar nuevas técnicas. Estas consideraciones tendrían que tenerse en cuenta a la hora de evaluar a investigadores

de organismos gubernamentales, lo cual, sin embargo, no significa que no deban publicar. Al mismo tiempo, las embarcaciones del INIDEP podrían tomar muestras para proyectos de investigación conjunta con científicos universitarios. Idealmente, sería bueno que los datos obtenidos estuvieran a disposición de todos los investigadores del país. Por otra parte, habría que otorgar en forma competitiva subsidios para que científicos universitarios produjeran investigación en pesquerías y manejo de áreas pesqueras, en apoyo de la misión del INIDEP. Estos cambios, aunque pequeños, podrían mejorar la administración pesquera y crear confianza entre científicos universitarios y de organismos gubernamentales.

Una alta prioridad para las pesquerías argentinas es instaurar sistemas de manejo que provean rendimientos sustentables. Esta difícil tarea requiere integrar las ciencias biológicas, económicas y sociales, pero puede proporcionar altos dividendos económicos. Por fortuna, en la Argentina hay científicos de primer nivel capaces de realizar estos análisis. El comité sugiere que se tome como modelo el manejo de pesquerías de Alaska, que produjo beneficios económicos sostenidos. Ello se logró mediante evaluaciones científicas libres de presiones políticas, cuidando de no pescar en exceso ninguna especie, en particular el valioso halibut o hipogloso del Pacífico. En la Argentina su equivalente es la merluza negra patagónica. Mediante un sistema de manejo que proteja a las especies sensibles, otras pueden florecer. Además, en Alaska se progresó mucho en la protección de ejemplares juveniles y del hábitat, por ejemplo, en corales de aguas profundas. Un plan científico para proteger la merluza negra, sobre todo de su pesca secundaria cuando se captura la merluza común, y su hábitat, serviría de ejemplo para el futuro manejo de otras pesquerías marinas en la Argentina.

Hay pesquerías locales importantes de mejillones y otros invertebrados. Allí donde se las maneja con cuidado, con participación comunitaria y de científicos, parecen sustentables, como es el caso del programa del CENPAT en Puerto Madryn. Este enfoque debería extenderse a otros recursos costeros.

El comité visitó solamente un centro de maricultura, en el IS, que intentó cultivar tanto el mejillón autóctono como una especie exótica. La operación se vio afectada por infecciones masivas y debió ser suspendida. Hay en estos momentos mucha controversia en el mundo sobre la sustentabilidad económica y ecológica de industrias maricultoras de alto rendimiento. Este creciente corpus de conclusiones científicas y de política económica y ambiental debería servir como antecedente si la Argentina decidiera realizar una inversión futura en maricultura.





Adriana Zingone.

# IV. Infraestructura y uso compartido de equipos

## Embarcaciones

Una gran limitación de las ciencias del mar en la Argentina es el acceso a navíos de cualquier tamaño. Hay cinco buques de investigación capaces de operar en mar abierto. Tres son del INIDEP, uno del Conicet (aunque lo opera la marina) y el quinto es el rompehielos *Almirante Irízar*, que se usa frecuentemente para realizar trabajos de campo aprovechando sus campañas antárticas de verano. No hay un sistema formal que coordine las necesidades y provea recursos para financiar tiempo de buque. La participación en viajes de investigación habitualmente se obtiene por contactos personales. Algunos laboratorios tienen barcos más pequeños para trabajar cerca de la costa, pero son la excepción, y sus operaciones sostenidas, así como su mantenimiento, son siempre problemáticos.

## Laboratorios y centros marinos costeros

Un comentario oído con frecuencia durante las visitas del comité fue sobre la falta de laboratorios marinos costeros accesibles a todos los investigadores. Los laboratorios marinos se parecen a los buques en que tanto construirlos como operarlos es caro, pero son esenciales para muchos tipos de investigación. Esquemas similares a los sugeridos para los barcos podrían usarse para algunos laboratorios costeros. Los del Conicet en Ushuaia, Puerto Madryn y Bahía Blanca estarían en condiciones de cubrir esa falta si tuvieran espacio y recursos suficientes para los visitantes. El espacio de laboratorio podría alquilarse y financiarse con subsidios a la investigación. La capacidad ociosa del laboratorio de maricultura del IS ofrece excelentes oportunidades para quienes necesiten agua corriente de mar e instalaciones de cultivo para realizar trabajo experimental con algas u otros organismos. Quizá existan más lugares que puedan cubrir necesidades similares.

## Satélites y sensores remotos

Como se mencionó, los científicos marinos argentinos parecen hacer uso relativamente limitado de datos satelitales. Ello puede ser el resultado de viejas dificultades en obtenerlos y procesarlos. Sin embargo, el costo de recibir y manejar esa información ha bajado considerablemente. Hay varias estaciones en la Argentina (incluyendo una en el CENPAT) que pueden recibir de sensores información útil para los estudios oceanográficos. Para los instrumentos que no puedan hacerlo directamente, esta puede ser provista por centros regionales o internacionales, generalmente a costo accesible. Ello facilitaría el mayor uso de datos satelitales en estudios oceanográficos en el país. Sería ventajoso que las instituciones de investigación marina fortalecieran sus vínculos con la CONAE, entidad que recibe y procesa información satelital y desarrolla tecnología de sensores. Los oceanógrafos necesitan la ayuda de expertos en sensores remotos para entender las capacidades y especialmente las limitaciones de estos instrumentos. En tal sentido, es promisorio que un investigador formado del Conicet especializado en sensores remotos esté trabajando con dedicación parcial en el CENPAT. Su contacto frecuente con los científicos marinos de dicho centro podría resultar en una mayor colaboración, entrenamiento de jóvenes científicos en oceanografía satelital y publicaciones conjuntas. Al parecer eso también está sucediendo en el INIDEP.



Huevos de caracol. Canal Beagle. Foto Héctor Elías Monsalve

## Bibliotecas y tecnología de la información

Con pocas excepciones, en la práctica no existen bibliotecas dedicadas a las ciencias marinas y esto sin duda afecta enormemente la cantidad y calidad de las publicaciones de alto nivel. Una de las grandes prioridades nacionales sería obtener acceso de alta velocidad a internet, incluso a las redes académicas avanzadas, a menudo llamadas internet 2. La internet ha modificado enormemente las relaciones entre los científicos argentinos que la poseen y es sumamente importante para la futura coordinación e integración de la investigación. Este acceso debe ser apoyado y ampliado, e incluir suscripciones a publicaciones electrónicas y bases de datos, así como otros recursos. Las videoconferencias podrían ayudar a resolver algunos problemas acuciantes de las ciencias del mar en la Argentina, como el aislamiento físico, la falta de especialistas y dificultad de discutir ideas de investigación. También permitiría compartir seminarios y conferencias y organizar cursos que acercarían la experiencia de los mejores profesores a la comunidad argentina de las ciencias del mar.

# V. Recursos humanos y educación

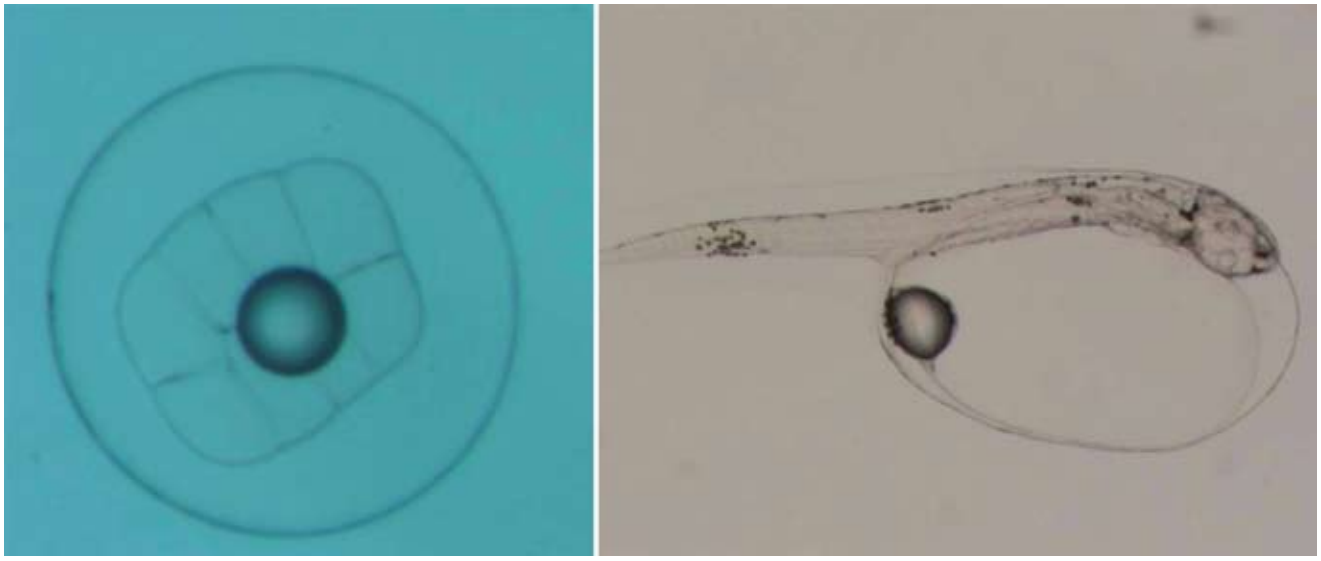
En cada una de las instituciones visitadas, el comité encontró científicos entusiastas y bien formados. Este es el recurso más importante del país para la empresa de construir una ciencia marina de nivel mundial. La bibliografía de producción argentina preparada para ilustrar al comité evidencia una admirable trayectoria de publicación en revistas con sistema de arbitraje y circulación internacional. Aunque el comité estuvo formado por solo cinco personas, cuya experiencia y comprensión de las ciencias del mar no podía ser universal, pudo apreciar que en el medio local existen científicos, grupos de investigación y laboratorios que están claramente al mismo nivel que los de cualquier parte del mundo. Sin embargo, hay grandes desafíos por delante. A pesar de su buen nivel, preocupa el hecho de que la edad media de los investigadores esté aumentando, y que el reciente ingreso de científicos jóvenes al sistema haya sido más bien escaso. En realidad, la incorporación de investigadores principiantes mediante becas de inicia-

ción o admisión en la carrera del Conicet fue virtualmente nula en los últimos años. El comité oyó comentar que es difícil que graduados de las universidades menos conocidas, como algunas de la Patagonia, logren ingresar en el Conicet, pero no pudo explorar la cuestión en mayor profundidad. El regreso de varios científicos formados y hasta hace poco radicados en el extranjero es sumamente alentador. Vuelven con excelentes contactos internacionales y aportan nuevas ideas sobre educación e investigación. Un serio problema para el futuro de las ciencias del mar en la Argentina es la intención de muchos estudiantes de grado de realizar estudios superiores en el extranjero y luego encontrar allí posiciones permanentes. El mercado laboral para científicos marinos es sumamente pequeño en el país y se limita a los medios académicos y de investigación. Por el momento no hay trabajo en el sector empresarial. Compañías como las pesqueras y petroleras, que podrían emplear a estos científicos, no los incorporan en forma permanente. Las oportunidades de realizar tareas de consultoría son demasiado esporádicas y las que aparecen, por ejemplo asociadas con construcciones, ambientes y circulación costeros, van por lo común a ingenieros o integrantes de profesiones similares. Tal vez haya que modificar los programas de estudio de las carreras marinas, para poner más énfasis en los problemas costeros y dar a los alumnos un espectro más amplio de herramientas y habilidades profesionales que los torne más competitivos en diferentes ámbitos de trabajo. No hay en la Argentina abundancia de programas de formación en las diversas disciplinas relacionadas con el océano. La UBA, la UNMDP y la UNPSJB tienen licenciaturas y se podría reactivar una que hubo en la UNS. Sin embargo, es difícil argumentar a favor de la implantación de programas educativos de grado y de posgrado en ciencias del mar cuando se presentan tan pocas perspectivas en el mercado laboral. Por ejemplo, el comité oyó afirmar que no hay trabajo para oceanógrafos físicos. Sería de gran utilidad realizar una evaluación amplia y pública de los actuales programas de formación en cada área de las ciencias del mar, y una proyección de la evolución de esas áreas, las necesidades de formación y los números de graduados requeridos en un período de entre cinco y veinte años. Sería importante tomar en cuenta la conveniencia de renovar los programas actuales de formación de grado. En especial, la diversidad de áreas temáticas en las ciencias del mar hace imposible que una sola institución cubra todo el espectro. Un diseño flexible permitiría que cada una de ellas se concentrara en campos o disciplinas específicas, y ello se podría complementar con mecanismos que permitieran a los estudiantes completar sus requisitos curriculares tomando cursos ofrecidos por distintas instituciones. Esta sugerencia, tal vez un poco ingenua, puede ser difícil de llevar a la práctica, dado que muchos estudiantes deben trabajar para mantenerse y no dedican todo su tiempo al estudio. Sin embargo, un objetivo fundamental debería ser evitar duplicaciones innecesarias de cargos docentes e incluso de departamentos universitarios.

## VI. Síntesis de recomendaciones

*1. Trabajar en pos de un ambiente de cooperación, que fomente la coordinación de los programas de investigación y el uso de los recursos institucionales, y que integre varias disciplinas, incluso las ciencias sociales.*

Las ciencias del mar en la Argentina se pueden caracterizar como disciplinas que cultivan la excelencia en aislamiento. La cuestión prioritaria que surgió durante las conversaciones del comité con la comunidad científica fue la virtual ausencia de coordinación de programas de investigación entre las instituciones, así como del uso de equipos y de personal científico y de apoyo disponi-



Huevo y larva de besugo. Foto Eddie O Aristizabal

bles. Cuando hay coordinación, esta es el resultado de enormes esfuerzos individuales y relaciones personales. El comité escuchó varias explicaciones sobre las posibles causas de dicho individualismo de los investigadores. Estas fueron desde 'la naturaleza de los científicos argentinos' hasta el bajo nivel de la financiación de la ciencia, que puede haber provocado actitudes defensivas y dado lugar a la selección de temas de investigación abordables por individuos o pequeños grupos con limitado apoyo financiero. Dado que la tendencia mundial en las ciencias del mar es hacia proyectos interdisciplinarios integrados, el comité cree conveniente que se tomen medidas para fomentar ese tipo de proyectos en la Argentina. Le resultó muy claro, sin embargo, que un cambio en la actual modalidad de trabajo requeriría incentivos tangibles y concretos. Obviamente, una posibilidad sería que las entidades financiadoras de la ciencia promuevan la colaboración interinstitucional y las investigaciones interdisciplinarias; por ejemplo, que ofrezcan subsidios para proyectos de genuina colaboración entre dos o tres instituciones o investigadores de distintas disciplinas. El comité cree que otorgar un número reducido de subsidios importantes, sujetos a estas condiciones, estimularía la colaboración entre laboratorios y grupos, y proveería ejemplos visibles de los estudios interdisciplinarios que caracterizarán el futuro de las ciencias del mar. En un plazo más largo, el Conicet podría establecer mecanismos para analizar propuestas integradoras y financiar la infraestructura necesaria como parte de los subsidios. Creemos que existe la oportunidad de llevar a la práctica varios grandes proyectos interdisciplinarios e interinstitucionales, orientados hacia estudios de procesos, enfocados desde el ángulo del ecosistema y relacionados con diferentes ambientes marinos. La financiación podría extenderse, por ejemplo, por hasta cinco años, con revisiones anuales. Sugerimos cuatro ejemplos: (1) el golfo Nuevo, declarado patrimonio de la humanidad, y el golfo San José, que parecen responder a procesos distintos y concentran una importante biodiversidad; (2) Ushuaia, donde hay una flora y fauna únicas, que tal vez cabría estudiar con relación a la Antártida; (3) Mar del Plata, donde los estudios podrían incluir temas de administración costera, y (4) la plataforma argentina, donde el INIDEP realiza un estudio interdisciplinario y podría facilitar el acceso de investigadores a buques de instituciones asociadas. Una característica central de tales estudios de ecosistemas sería la consideración minuciosa de los vínculos y barreras entre los ambientes.



Anémona en banco de cholgas. Golfo Nuevo. Foto Eugenia Zavattieri

2. *Impulsar la preparación de un plan oceanográfico argentino. El plan oceánico que se sugiere proveería una guía estratégica no solo para la investigación sino, también, para el manejo y la conservación.*

Además, ayudaría a financiar estudios integrados y coordinados del Mar Argentino. El comité tuvo acceso al Programa de Investigaciones sobre el Mar Argentino (diciembre de 1997), coordinado por una comisión de estudios sobre este mar. Dicho programa, sin embargo, solo enuncia una lista de temas de interés, pero no marca con claridad las prioridades y necesidades, ni los fundamentos




Buque de investigación *Capitán Cánepa*. Foto INIDEP.

con que se determinarían esas prioridades. En opinión del comité, hay suficiente conocimiento científico del Mar Argentino como para iniciar la confección de un plan. La clave será obtener apoyo político y financiero. La mayoría de los investigadores consultados creen que esto debería venir 'de arriba', y se sienten incapaces de ejercer influencia sobre el proceso de planificación. Debería alentarse fuertemente el que los científicos cambien esta percepción y desempeñen un papel más activo. De otra forma, la comunidad académica no se sentirá comprometida con un plan que venga desde arriba.

3. *Buscar la forma de que los científicos argentinos accedan a embarcaciones de investigación. Los investigadores argentinos sufren las consecuencias de la falta de acceso a embarcaciones.*

Ello está paralizando el progreso de las ciencias del mar. En el corto plazo, se podrían adjudicar a investigadores interesados un cierto número de días-barco anuales, financiados centralmente, mediante un proceso competitivo de propuestas sometidas al juicio de los pares. Se podría implantar de inmediato un cambio pequeño pero significativo: buscar una mejor coordinación del acceso a buques extranjeros que se encuentren operando en aguas argentinas o adyacentes. Aparentemente ello se está haciendo de manera informal y caso por caso. En el largo plazo, convendría probablemente centralizar la compra, construcción y operación de embarcaciones, de forma que un buen proyecto de investigación que requiriera uso de barco lo reciba de manera automática. Las pequeñas embarcaciones son también un problema: se podría dar acceso a ellas por el sistema de uso compartido en laboratorios costeros (ver recomendación 8).

4. *Tomar medidas inmediatas para contrarrestar la fuga de cerebros.*

Habría que retener a los jóvenes graduados dándoles adecuado apoyo, y alentar el regreso de los que estudian en el extranjero.

Ello se podría hacer ofreciéndoles un contrato por no menos de cinco años y fondos para poner en marcha sus investigaciones. El Brasil, por ejemplo, tiene un excelente programa para asegurar el regreso de los graduados.

5. *Analizar en qué áreas de las ciencias marinas hay carencia de investigadores, establecer el número requerido de estos y poner en práctica medidas para subsanar esas carencias.*

Como parte del plan oceánico sería oportuno evaluar la cantidad de científicos que se necesitarían en las distintas disciplinas marinas, y que se podrían incorporar o mantener en los próximos diez a veinte años. Luego habría que crear incentivos para atraer a los mejores estudiantes hacia esas disciplinas. Por ejemplo, el programa Research Experience for Undergraduates, de la National Science Foundation de los Estados Unidos, facilita el acceso de los buenos estudiantes universitarios a las ciencias marinas mediante pequeñas becas de corta duración para concurrir a instituciones y participar en proyectos de investigación en curso. Una iniciativa de este tipo necesita ir acompañada de oportunidades de empleo, que hoy faltan.

*6. Aumentar y coordinar mejor la financiación de las ciencias del mar.*

Un investigador sugirió que se creara un área del Conicet orientada a los recursos naturales y el ambiente. La información básica con que contó el comité mostró solo cuatro o cinco proyectos relacionados con el mar entre los apoyados por la ANPCYT en 2000-2001. Esta situación no cambiará por arte de magia y requerirá mucho activismo por parte de los científicos marinos argentinos.

*7. La comunidad de científicos del mar necesita encontrar cómo trabajar unida en esfuerzos de extensión y activismo que cambien la situación existente.*

Sería oportuno estimular el surgimiento de líderes talentosos y carismáticos, no solo en el nivel de los grupos de investigación sino, también, en el orden nacional. La comunidad debería poder explicar en forma clara y convincente la importancia de las ciencias del mar a funcionarios y dirigentes políticos. Parece existir una percepción bastante generalizada entre los científicos marinos argentinos de que la investigación es una actividad intrínsecamente valiosa. Sin embargo, en un medio con recursos limitados, necesitan estar dispuestos y tener la capacidad de justificar ante la sociedad las razones que existen para asignar algunos de esos recursos a la investigación marina y no a otros fines. Sin caer en la antinomia estéril de ciencia básica contra aplicada, los argumentos que justifiquen la inversión social en investigación en ciencias del mar tienen que ser presentados a los responsables políticos en términos que les resulten comprensibles y relevantes para el ejercicio de sus responsabilidades. Por ejemplo, el comité se sorprendió por la ausencia de datos accesibles y de comprensión del valor económico de los recursos marinos para la Argentina, los que incluyen pesquerías, minerales y turismo. Los políticos suelen responder favorablemente a argumentos acerca del desarrollo económico, y esto puede ayudar al progreso de las ciencias del mar. En el mediano y largo plazo, las estrategias para asegurar financiación adecuada para las ciencias del mar pueden requerir el fortalecimiento de lazos entre la comunidad científica y organizaciones no gubernamentales. Los académicos también darían beneficios de largo plazo si produjeran material de difusión para la escuela secundaria, y aun la primaria, y si también proporcionaran periódicamente apoyo a los docentes de esos niveles, por ejemplo, mediante cursos de actualización. En el ámbito local, la divulgación generalmente resulta más exitosa cuando es parte de investigaciones en curso y no un hecho aislado. Por esta razón, la acción en los colegios, la extensión y la divulgación tendrían que considerarse parte de los proyectos de investigación y pesar en las instituciones y agencias de financiación a la hora de evaluar a los investigadores. Las estrategias de mediano y largo plazo podrían ser coordinadas por la largamente esperada Asociación Argentina de Ciencias del Mar, cuyo liderazgo y peso colectivo podría influenciar las políticas gubernamentales, los fondos para investigación y la educación en ciencia de una forma que no está al alcance de investigadores individuales o instituciones.

*8. Explorar formas de compartir el uso de servicios y equipo de investigación caros.*



Lobería en península Valdés. Foto Teresita Fernández

Los actuales laboratorios costeros y otros medios de investigación podrían ser compartidos en el corto plazo mediante adecuados esquemas de financiación. Por ejemplo, se podrían instalar centros de excelencia en laboratorios donde ya existen experiencia y equipos. En un plazo más largo, se podría instalar infraestructura de apoyo a la investigación en regiones costeras remotas y al presente desatendidas. Disponer de una instalación modesta, con buen acceso al campo, un laboratorio de preparación y pequeñas embarcaciones constituiría un gran paso adelante.

*9. La tecnología de la información es crítica para el futuro.*

Está claro que un acceso rápido a internet es esencial para la comunicación y la colaboración entre científicos instalados en instituciones alejadas. La comunicación por internet es parte fundamental de cambios en la forma de relacionarse de los científicos argentinos entre sí y con sus colegas internacionales. Tal acceso a internet necesita ser apoyado, y extendido a publicaciones electrónicas, bases de datos y a otros recursos. Las videoconferencias que permiten realizar las redes académicas avanzadas (internet 2) son una herramienta poderosa para fomentar la comunicación entre investigadores de instituciones geográficamente apartadas.

*10. Los subsidios medianos y pequeños dirigidos a proyectos de riesgo son universalmente reconocidos como importantes.*

Casi todos los entrevistados consideraron fundamental disponer de pequeñas ayudas para financiar contactos internacionales, becas para estudiantes y necesidades modestas de equipo, especialmente en tiempos económicamente duros. Aunque los investigadores más destacados generalmente encuentren apoyo, la robustez de la disciplina y su desarrollo futuro requieren una amplia base de profesionales que, aun cuando no siempre estén trabajando en temas de punta, hacen una contribución importante interactuando con los responsables del manejo de recursos naturales y con conservacionistas, enseñando y realizando actividades de extensión. La fuerza del futuro está en la diversidad. CH

| | |
|---|---|
| ANPCYT | Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica |
| CADIC | Centro Austral de Investigaciones Científicas, Conicet, Ushuaia |
| CENPAT | Centro Nacional Patagónico, Conicet, Puerto Madryn |
| CGC | Centro de Geología de Costas, UNMDP |
| CIMA | Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, UBA/Conicet |
| CONAE | Comisión Nacional de Actividades Espaciales |
| Conicet | Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas |
| FREPLATA | Proyecto de Protección Ambiental del Frente Marítimo del Río de la Plata, PNUD/GEF |
| IAA | Instituto Antártico Argentino |
| IADO | Instituto Argentino de Oceanografía, Conicet, Bahía Blanca |
| INIDEP | Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata |
| IS | Instituto de Biología Marina y Pesquería Almirante Storni, San Antonio Oeste |
| LOC | Laboratorio de Oceanografía Costera, UNLP |
| MACN | Museo Argentino de Ciencias Naturales |
| SIHN | Servicio de Hidrografía Naval UBA Universidad de Buenos Aires |
| UNLP | Universidad Nacional de La Plata |
| UNMDP | Universidad Nacional de Mar del Plata |
| UNPA | Universidad Nacional de la Patagonia Austral |
| UNPSJB | Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco |
| UNS | Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca |

**Agradecimientos**

El comité agradece a los numerosos colegas argentinos que lo ayudaron con entusiasmo y expresaron sus ideas con franqueza. También a los directores de institutos que lo recibieron y le proporcionaron un panorama amplio de las ciencias del mar en la Argentina. Para escribir este informe le fue de gran utilidad un conjunto de documentos de base sobre diferentes temas, preparado por los siguientes científicos locales: José Luis Esteves, química marina; Oscar Iribarne, análisis bibliográfico; Federico Isla, geología costera; Alberto Piola, oceanografía física; Marcelo Scelzo, educación en ciencias del mar, y Claudia Simionato, interacción entre el océano y la atmósfera. Si este informe resulta útil, será en buena medida gracias a la preocupación, colaboración y energía de la comunidad de científicos marinos de la Argentina.

Ciencia Hoy Volumen 2 número 10 noviembre - diciembre 1990

**Santiago R Olivier**
Facultad de Humanidades y
Ciencias de la Educación,
Universidad Nacional de La Plata

# Universidad y ciencias del mar

## A treinta años del Instituto Interuniversitario de Biología Marina de Mar del Plata

*En la generación nuestra —de los cincuenta a los sesenta años—, uno podía contar decenas de amigos que estaban dotados para hacer una obra importante. Tenían competencia técnica y una gran pasión. Casi todos hicieron lo suyo en distintos campos para ver luego que sus esfuerzos eran liquidados por los mediocres o mandamás de turno. Esto le pasó a toda nuestra generación. La enfermedad común a todos nosotros es la desesperanza. ¿Cómo nos ha ocurrido esto? No tengo respuesta.*

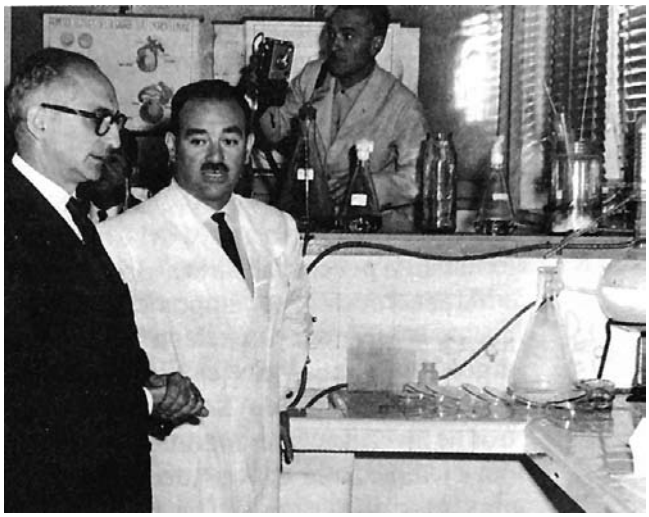
Jorge Alberto Sabato

Por entonces era una experiencia inédita. Tres universidades y una provincia unían esfuerzos para crear un instituto de investigaciones científicas. En esos tiempos soplaban aires de actualización y transformación de las viejas estructuras. Tiempos de bonanza para la educación, la ciencia y la cultura. La Reforma Universitaria parecía afianzarse. Se habían creado el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI); en la Universidad de Buenos Aires (UBA), la Editorial de la Universidad de Buenos Aires (Eudeba) y el Instituto de Radioastronomía. La Facultad de Ciencias Exactas y

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

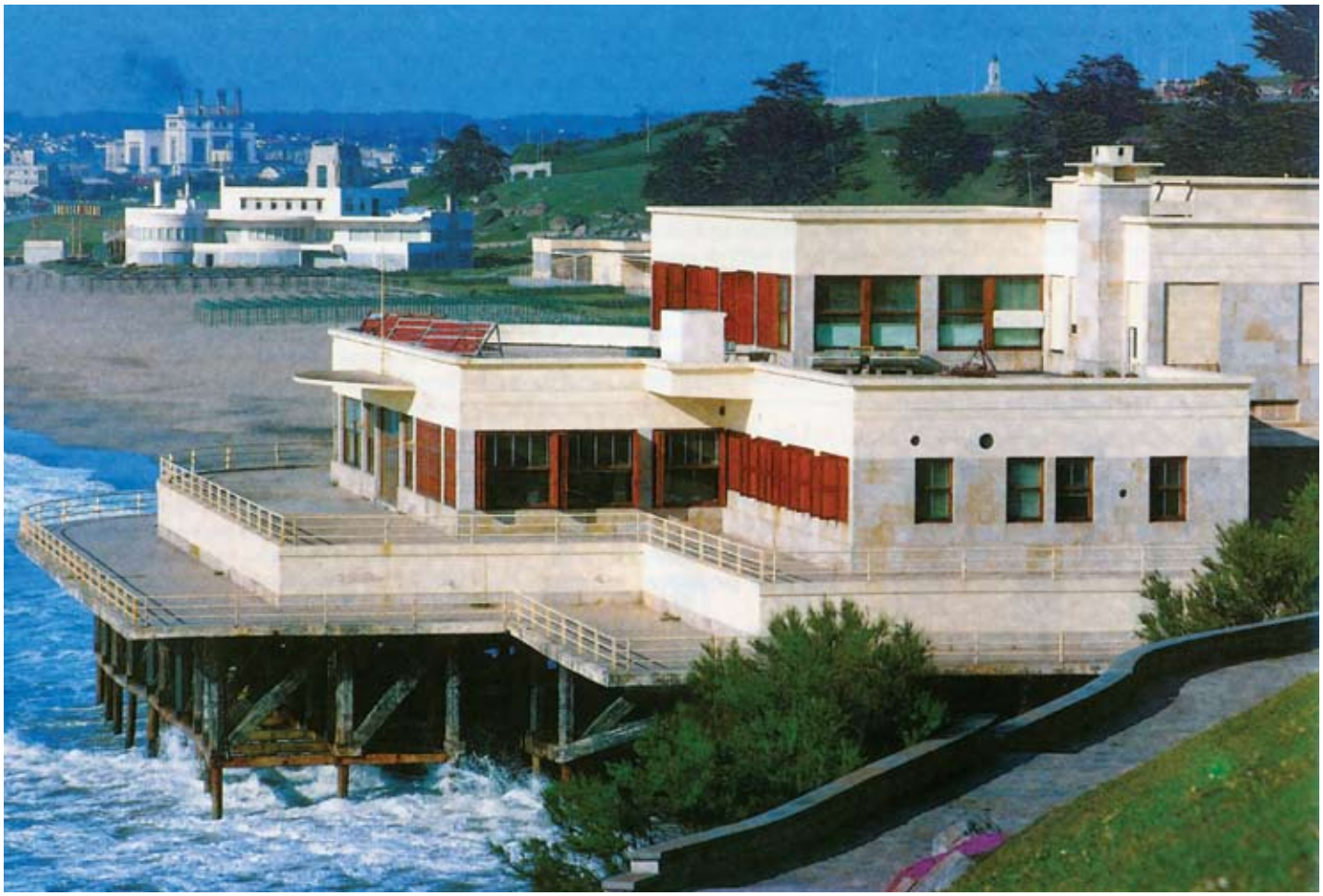
El 17 de noviembre de 1960, las universidades nacionales de Buenos Aires, de La Plata y del Sur, junto con el gobierno de la provincia de Buenos Aires y el respaldo del Conicet, daban inicio a una experiencia inédita en el país: crear un instituto de investigaciones científicas oceánicas. A través de la reseña de las circunstancias que rodearon su creación y de sus características y actividades, uno de los fundadores y primer director (hasta 1966) del Instituto Interuniversitario de Biología Marina de Mar del Plata plantea la actualidad de los principios académicos y científicos que guiaron aquella iniciativa.

Naturales de la UBA se encaminaba hacia una profunda transformación de la enseñanza y de la investigación científica. La Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata bregaba por romper el monopolio de las ciencias naturales descriptivas para incursionar en una enseñanza e investigación más acordes con los adelantos que proponía la revolución científica de la posguerra. Risieri Frondizi en el rectorado de la UBA, Rolando García y Manuel Sadosky en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Danilo Vucetich en la presidencia de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Sebastián A Guarrera y Mario Terugi en el Museo, impulsaban la renovación. Fue entonces cuando un pequeño grupo de profesores universitarios de Buenos Aires y La Plata tuvo la iniciativa de rescatar una vieja ilusión de los naturalistas: disponer de un centro de estudios oceánicos en las propias costas del mar. El proyecto contó con el respaldo del rector de la Universidad Nacional del Sur (UNS), JF Martella, y las más altas autoridades del gobierno de la provincia de Buenos Aires (Oscar Alende, gobernador; Aldo Ferrer, ministro de Economía; Ataúlfo Pérez Aznar, ministro de Educación).



Visita del presidente de la Nación, Arturo Frondizi, al IIBM (1962). Foto archivo del IIBM

La tarea de organización y consolidación del Instituto Interuniversitario de Biología Marina de Mar del Plata (IIBM) no fue simple; los recursos humanos eran escasos y faltaba experiencia. El proyecto del Banco Interamericano de Desarrollo de 'equipamiento de las universidades nacionales' resultó fundamental para la puesta en marcha de los primeros laboratorios en un



Edificio de la vieja confitería Normandie transformado en el IIBM. Playa Grande, Mar del Plata. Foto Santiago R Olivier

recuperado edificio de Playa Grande. El reclutamiento de estudiantes universitarios se llevó a cabo a través de cursos estivales de formación y perfeccionamiento. En los primeros años, una veintena de profesionales realizaron cursos especiales y estudios de posgrado en los mejores centros oceanográficos de Europa y los Estados Unidos.

Cuando fundaron el Instituto, V Angelescu, F Gneri, A Nani, E Boschi, M Pizarro, ML Fuster de Plaza, L Rossi y el autor encontraron aliento en aquella mística que había movido a destacados intelectuales europeos y norteamericanos a la creación en nuestro país de escuelas tan prestigiosas como las de Física, Química, Matemática, Biología y Geología. Se reivindicaba especialmente la labor pionera de un notable científico francés, Fernando Lahille, quien en 1897 había fundado una pequeña estación de biología marina en Punta Canteras, Mar del Plata, dependiente del Museo de La Plata. En poco tiempo se originó una verdadera pasión en torno al trabajo de cada día; la vocación, la autodisciplina y la organización se convirtieron en un ejemplo de lo que debía ser una labor universitaria auténtica y creativa. La participación de los estudiantes fue decisiva en la integración de los grupos de trabajo y ellos mismos incorporaron nuevas líneas de investigación.

Pronto se obtuvieron los primeros frutos. Se iniciaron proyectos de investigación orientados hacia las necesidades de la industria pesquera local, se intensificó la formación de recursos humanos, llegó el reconocimiento internacional. La Unesco recomendó al IIBM como centro de formación para América Latina y la Food Agricultural Organization (FAO) apoyó resueltamente la iniciativa de poner en marcha el Proyecto de Desarrollo Pesquero que tendría como contrapartida nacional más importante al Instituto de Mar del Plata. Becarios del Brasil, Uruguay, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Panamá iniciaron o completaron su formación en el IIBM. El proyecto de la FAO se inició hacia fines de 1965 y concluiría siete años después con notable éxito.

La creación del IIBM fue una empresa riesgosa si se tienen en cuenta, sobre todo, los fracasos que en materia de estudios marinos se habían sucedido por más de sesenta años, a través de distintos proyectos legislativos y administrativos que nunca llegaron a concretarse. Tampoco faltaron entonces los eternos detractores de los proyectos emprendidos con criterio progresista, se sintió el aislamiento geográfico con respecto a los centros universitarios y el medio social marplatense osciló entre la indiferencia y la hostilidad. Sin embargo, la integración del IIBM con la Comisión de Investigación Científica de la provincia de Buenos aires y el amplio apoyo del Conicet terminaron por consolidarlo al poco tiempo.

Al incorporarse al campo de las investigaciones oceanográficas, las universidades argentinas seguían el ejemplo de las más prestigiosas del mundo. Los principales centros de investigaciones marinas pertenecen, por ejemplo, a la Universidad de California (Institutos Scripps de Oceanografía), la Universidad de Boston (Instituto Wood Hole), la Universidad de Miami (Instituto de Ciencias del Mar), la Universidad de Washington (Departamento de Oceanografía y Escuela de Pesquerías), la Universidad de Hamburgo (Instituto de Pesquería), la Universidad de Liverpool (Instituto de Oceanografía), la Universidad de Marsella (Estación de Biología Marina y Centro Oceanográfico) y, en América Latina, a la Universidad Nacional Autónoma de México (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, con dos estaciones costeras, una en Mazatlán y la otra en Campeche), la Universidad de San Pablo (Instituto de Oceanografía) y la Universidad de Chile (Estación de Biología Marina de Montemar).

La primera discusión trascendente que se planteó en el momento de la fundación del Instituto de Mar del Plata fue acerca de la orientación que debía tener la investigación científica en una institución como esta. Algunos colegas pensaban que la formación de investigadores en el manejo de los recursos oceánicos pasaba por su especialización, fuera como biólogos marinos, biólogos pesqueros o geólogos marinos. Pero otros sosteníamos (y lo seguimos haciendo) que una formación integral dependía, ante todo, del conocimiento científico de los fenó-





Arriba: JI Cousteau y el autor durante la estadía de la *Calypso* en el puerto de Mar del Plata en enero de 1962. Foto archivo del IIBM
Abajo: cursos estivales para alumnos en el IIBM (1964). Foto Santiago R Olivier

menos naturales más que por el acercamiento a problemas puntuales desligados de una cosmovisión adecuada. No se comprendía entonces (y pareciera que aún ahora tampoco se comprende suficientemente) que la interpretación de la naturaleza en su verdadera complejidad es muy diferente del manejo de tecnologías, por más sofisticadas que estas sean.

En los últimos decenios y muy particularmente en el último cuarto del siglo XX, los prodigiosos avances de la petroquímica, la electrónica, la energía atómica, la ingeniería genética y de todas las tecnologías que de ellas derivan han generado un impresionante cambio en las relaciones económicas, políticas y sociales del mundo. El monopolio de esas tecnologías se encuentra en manos de los países centrales y esto no es casual. Son las naciones que mayores inversiones han realizado en educación y en la promoción de las investigaciones científicas básicas. Ello, ya no cabe duda, les vale en el momento actual como instrumento de dominación.

Y, sin embargo, aún se predica con bastante frecuencia que en los países del Tercer Mundo debe darse prioridad a las 'investigaciones aplicadas' como motor del desarrollo, relegando las investigaciones básicas. Pero a nuestro entender no existe tal dicotomía. Las llamadas 'investigaciones aplicadas' no son más que la *utilización* del conocimiento científico. Si este no se genera, se pasa a depender de los descubrimientos que se realizan en otras latitudes. Los países que disponen de las más altas tecnologías son precisamente aquellos que han desarrollado acertadamente las bases teóricas y experimentales de las ciencias fundamentales.

Tales fueron, en síntesis, las razones por las cuales las líneas principales de actividad del IIBM se orientaban hacia las investigaciones básicas: laboratorios de Comunidades Bentónicas, Carcinología, Fitoplancton, Zooplancton e Ictioplancton, y Biología Pesquera. Aquellas posibilitarían el mejor conocimiento de los recursos vivos oceánicos, cuya explotación sostenible, vale decir que no supere la capacidad de renovación de los mismos, solo es posible si se conoce su dinámica poblacional. Cuando no se tiene en cuenta esta premisa, se produce la sobreexplotación que conduce a la decadencia, tal como está ocurriendo con grandes y pequeñas pesquerías de todo el mundo y particularmente en la 'zona de exclusión' en torno a las islas Malvinas.

Los fundadores del IIBM tratamos por todos los medios de estrechar los vínculos de cooperación con otras instituciones estatales y privadas, que serían, en última instancia, las que se beneficiarían con la transferencias del conocimiento científico producido. Pero cuando la Universidad, a través de su Instituto, comenzó a generar información y a elaborar propuestas de explotación racional de los recursos marinos, comenzaron a sentirse las presiones de los sectores cuyos intereses no siempre coincidían con la utilización que la investigación sugería de tales recursos.

El cultivo científico de las ciencias solo es posible en un clima de respeto mutuo, de tolerancia, de comprensión, de diálogo y de tranquilidad, requisitos que, además, hacen posible el desarrollo de las capacidades creativas de los individuos. La historia muestra que el mayor desarrollo se ha logrado en aquellos países que se desprendieron del autoritarismo y la discriminación, que poseen economías estables y cuyos jóvenes pueden proyectar su futuro. Es inútil pretender universidades avanzadas en países atrasados y autoritarios. Las universidades y los centros de investigación progresan en la medida en que los países avanzan. En ese progreso conjunto, las universidades se ponen al servicio del desarrollo para humanizarlo, mejorarlo y enriquecerlo.

Ya se había producido la 'revolución argentina' de Juan Carlos Onganía cuando el IIBM fue víctima del primer





Izquierda: campaña oceanográfica conjunta del IIBM y el Servicio de Hidrografía Naval (1965). Derecha: albufera Mar Chiquita. Censos ecológicos bentónicos a cargo de estudiantes (1967). Fotos Santiago R Olivier

embate que apuntaba a su destrucción. Se pretendía desmantelar el Instituto y que pasara a depender de un organismo burocrático. La intermediación de M Castex logró impedir que así ocurriera.

A pesar de las dificultades surgidas a partir de la 'noche de los bastones largos', el Instituto –fuertemente apoyado por el Proyecto de Desarrollo Pesquero de la FAO-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo– mantenía un destacado nivel de desarrollo científico hacia mediados de los años 70. En 1975 fue asaltado, ocupado y saqueado.



Visita de Bernardo Houssay, presidente del Conicet, al IIBM (1964). Foto archivo del IIBM

Finalmente, en 1977 las universidades y la provincia de Buenos Aires fueron despojadas autoritariamente de un gran capital humano y material. Para entonces solo quedaba en el Instituto el 35% de los investigadores activos. Muchos marcharon al exilio y otros renunciaron para siempre a la investigación científica. Se creó entonces el actual Instituto de Investigaciones y Desarrollo Pesquero (INIDEP), que pasó a depender de la Secretaría de Intereses Marítimos. Con el advenimiento del gobierno constitucional en 1983, tal Secretaría fue disuelta y el INIDEP pasó a depender del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. La suerte del IIBM había quedado definitivamente sellada.

Algo similar había acontecido en otros países de América Latina. La Unesco, a través del *IMS Newsletter* (N° 27, 1980), decía a propósito de la evolución de las ciencias del mar en la región: *Los últimos cinco años de los 70 estuvieron caracterizados por varios fenómenos. Se produjo emigración de científicos y algunos institutos que tenían un alto nivel científico fueron destruidos, mientras se establecían instituciones nuevas. La mayor parte de las veces se ocupan de la explotación de los recursos pesqueros perdiendo su alto nivel y consecuentemente dejando la oceanografía de lado.*

La situación actual de la biología marina y de la oceanografía en las universidades argentinas es crítica. Quedan algunas cátedras aisladas en la UBA y en la UNLP; subsiste en condiciones precarias en la UNS. La Universidad Nacional de Mar del Plata creó en 1988 el Departamento de Ciencias del Mar, que se nutre con algunos investigadores del INIDEP. El Instituto de Biología Marina y Pesquera de San Antonio Oeste depende en forma más nominal que real de la Universidad Nacional del Comahue, pues está sostenido por la provincia de Río Negro. La Universidad Nacional de la Patagonia intenta integrarse al Centro Nacional Patagónico (CENPAT), que depende del Conicet, a partir de una endeble estructura científica que posee en Puerto Madryn. Tanto el CENPAT como el Centro Austral de Investigaciones Científica (Conicet, Ushuaia) experimentaron en los años pasados cierta reactivación en las ciencias del mar, pero las mejores intenciones están naufragando ante la pasividad de las autoridades responsables.

Esta decadencia se torna dramática frente a los renovados retos que significa la investigación oceánica en la 'zona económica exclusiva' argentina, que supera el millón de kilómetros cuadrados, y en momentos en que se presentan a consideración parlamentaria proyectos nacionales de pesca que abren literalmente las puertas a la depredación de los recursos vivos del Atlántico sudoccidental. Mientras tanto, fenómenos oceánicos que afectan directamente las condiciones ambientales de nuestro territorio son investigados por equipos científicos del norte desarrollado. CH

**Pablo E Penchaszadeh**
Investigador del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia

**Alberto R Piola**
Investigador del Conicet en el Servicio de Hidrografía Naval

# Un mar compartido

Las corrientes oceánicas y las partículas que ellas arrastran, sean orgánicas o inorgánicas, de origen natural o humano (también llamado antrópico), recorren los mares territoriales y las zonas de explotación económica exclusiva tanto como las áreas que no están bajo jurisdicción nacional. Atraviesan fronteras políticas por impulso del viento, las mareas y otras fuerzas; no conocen restricciones políticas, ni dependen de autorizaciones. Un ejemplo de ello son las aguas del río brasileño Tietê, que fluyen desde la sierra del Mar, atraviesan la ciudad de San Pablo y desembocan en el Paraná: recorren así miles de kilómetros hasta alcanzar el Atlántico por el río de la Plata, desde donde, eventualmente, las corrientes costeras marinas las llevan al litoral paulista, cerca de donde partieron.

El Atlántico sudoccidental es rico en recursos pesqueros de importancia tanto económica como social. Muchos peces que se capturan en el sur del Brasil también están presentes en aguas de la Argentina y del Uruguay, ya sea en forma permanente o porque realizan migraciones estacionales entre los mares de esos tres países. Por ello, es insuficiente estudiarlos sólo en una parte de su área de distribución, sino que se necesitan estudios conjuntos. Además, para poder manejarlos de forma adecuada, resolver conflictos de intereses y lograr la sustentabilidad de esos recursos pesqueros compartidos, es necesario que los estudios vayan más allá del conocimiento biológico y se extiendan a los factores sociales y económicos.

Pero a pesar de estas circunstancias, no hemos fomentado en Iberoamérica la cooperación internacional, el intercambio de información y el aprovechamiento de nuestra capacidad científica para el estudio compartido de un mar igualmente compartido. Ni los científicos ni los organismos de promoción de la ciencia han logrado generar una cooperación regular, sostenida en el tiempo y eficiente, que incluya intercambio de información, de investigadores, de estudiantes y de recursos.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Existen pocos ámbitos más reveladores que el mar para entender las virtudes de la cooperación internacional en materia científica. En las ciencias marinas esta cooperación es más que deseable: es imprescindible para poder contestar preguntas relacionadas con el movimiento de las corrientes, el aporte de los ríos, los ciclos migratorios de las especies, las pesquerías, etcétera.

## Casos de cooperación

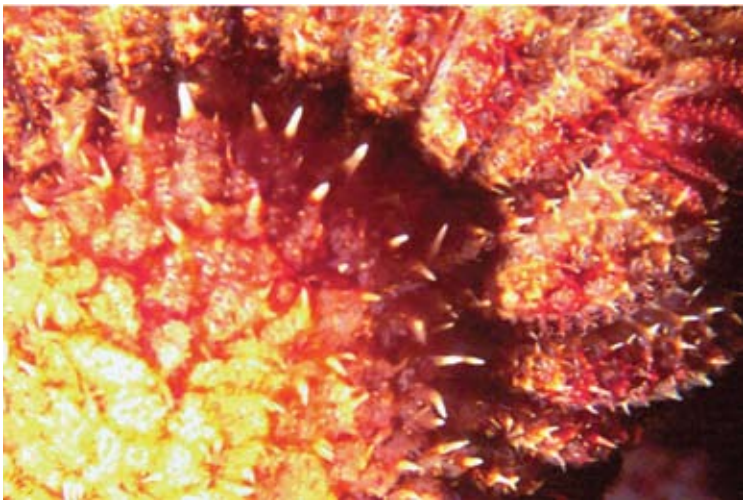
De cualquier manera, la historia reciente registra algunos episodios de cooperación, de los que muy pocos alcanzaron continuidad. La década de 1960 presenció la creación en Iberoamérica de varios centros de estudio de oceanografía física y de biología marina en, entre otros países al sur del ecuador, la Argentina, el Brasil, Chile y Perú, y en Cuba, México y Venezuela en el hemisferio Norte. En esos momentos se establecieron diversos acuerdos de colaboración internacional y se dieron los primeros pasos orientados a crear conocimiento del área marina fuera de los centros establecidos de Europa o los Estados Unidos. Estos, mediante sus tradicionales expediciones, cruceros y campañas, tomaban datos, los procesaban y los analizaban en sus tradicionales laboratorios.

La creación de institutos iberoamericanos de investigación marina puso en marcha un cambio drástico en la información disponible, pues abrió la posibilidad de tener series temporales continuas de datos, en reemplazo de observaciones y mediciones esporádicas o circunstanciales. Esa década fue también la de mayor crecimiento de las pesquerías mundiales: de una sola especie, la anchoveta del Perú (*Engraulis ringens*), se pescaron 12 millones de toneladas anuales, lo que en esos tiempos representaba la quinta parte de la producción pesquera mundial. También fue el momento de inicio del colapso de muchas áreas de pesca, por sobreexplotación de las poblaciones.

En los mismos años se multiplicaron las reuniones científicas, los cursos internacionales y los cruceros de exploración con participantes plurinacionales, que ponían en contacto entre ellos a los investigadores del área y abrían oportunidades, en especial para los científicos jóvenes. Así, estos avanzaron en su aprendizaje y establecieron relaciones que se transformarían en semilla de futuras colaboraciones.

Pero hacia fines de esa década y durante la de 1970, la mayoría de los países sudamericanos se cerraron sobre sí mismos, sobre todo como consecuencia de quiebres del orden constitucional y de la instauración de dictaduras militares de ideología más o menos nacionalista. Esas circunstancias obstaculizaron la cooperación científica y empobrecieron la vida de centros y laboratorios, al restarles un importante aporte externo. Paradójicamente, sin embargo, esas convulsiones políticas tuvieron también el efecto contrario, pues hubo países que se beneficiaron marcadamente por su actitud de recibir a investigadores exiliados, sobre todo provenientes de la Argentina, Chile y Uruguay, pertenecientes a diversas áreas del conocimiento.

Entre las instituciones que albergaron a científicos expatriados, y hasta grupos completos de investigación, especialmente en las ciencias básicas, se pueden mencionar a la Universidad Federal de Río Grande del Sur, en el Brasil, a la Universidad Nacional Autónoma de Méjico y, en Venezuela, al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, la Universidad Simón Bolívar y la Universidad Central. Este proceso enriqueció a planteles científicos, en muchos casos creó nuevas líneas de trabajo y dinamizó las disciplinas con la formación de una nueva generación de investigadores. Muchos de los científicos entonces expatriados, hayan o no regresado con el tiempo a sus países de origen, ven hoy destacarse a sus discípulos y a los discípulos de estos, es decir, a sus hijos, nietos y hasta biznietos académicos.



Estrella sol. Islas Bridges, Argentina. Foto Héctor Elías Monsalve

## Algunos resultados

Con la restauración de los regímenes constitucionales y el advenimiento de las formas democráticas de gobierno en los mencionados países durante la década de 1980, se pusieron en funcionamiento, con mejor o peor suerte, varios programas de cooperación científica en ciencias del mar. En el Atlántico sudoccidental, uno de los más exitosos versa sobre las variables oceanográficas y su influencia en la productividad biológica en la plataforma continental, el río de la Plata y la laguna de los Patos, así como las características de los frentes oceánicos, sus corrientes asociadas y la convergencia subtropical. Recibió apoyo del Naval Research Laboratory y del Consortium for Oceanographic Research and Education de los Estados Unidos. Lo conducen el Instituto Oceanográfico de la Universidad de San Pablo, en el Brasil, y el Servicio de Hidrografía Naval y la Universidad de Buenos Aires, en la Argentina, a los que se agregaron como participantes varias instituciones de ambos países.

Otros programas que dieron buenos frutos son las colaboraciones de las universidades de San Pablo y Mar del Plata sobre la biología reproductiva de crustáceos superiores; de la Universidad del Ceará, el Museo Argentino

de Ciencias Naturales y el Centro Nacional Patagónico de Puerto Madryn sobre moluscos de aguas someras, y de la Universidad Nacional de La Plata, con varias instituciones del sur de Brasil, sobre la biología de especies invasoras. Las entidades argentinas participantes en casi todos estos programas pertenecen al sistema del Conicet.

El reto que enfrenta la cooperación entre nuestros países no solo consiste en estimular la realización de proyectos conjuntos sino, sobre todo, asegurar su continuidad. De muy poco sirven iniciativas esporádicas, generalmente lanzadas por los propios investigadores, sin un apoyo financiero de las agencias de promoción científica que se extienda a un plazo mediano y hasta largo.

De varias reuniones sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS) celebradas en la Argentina, Uruguay y el Brasil sobre la cooperación científica entre países que comparten un mismo ambiente marino, como es el Atlántico sudoccidental, surgió un amplio conjunto de recomendaciones para instaurarla con éxito, entre ellas:

- Identificar y consolidar los lazos existentes entre grupos de investigación de los países en cuestión.
- Disponer de procedimientos que permitan financiar de forma ágil las iniciativas de cooperación.
- Propender a que el ámbito cooperativo sea la norma y no la excepción.
- Crear mecanismos de seguimiento para mejorar los procesos de cooperación.
- Dada las grandes diferencias entre los países en cuanto a disponibilidad de embarcaciones de investigación marina, tanto costera como oceánica, y en ciertos casos, la escasísima participación académica en los cruceros de exploración pesquera e hidrográfica, posibilitar la actuación de embarcaciones científicas de un país en aguas territoriales de otros, con participación a bordo de científicos de los distintos países.
- Vistas las dificultades del estudio de la biodiversidad, fortalecer la formación de taxónomos en el empleo de métodos modernos, como los relacionados con la genética molecular y el cladismo, además de los enfoques tradicionales.
- Fortalecer las colecciones taxonómicas de los museos y estimular su uso.
- Dado que el manejo sostenible de la explotación pesquera requiere la precisa identificación taxonómica de los ejemplares capturados, cosa que solo pueden hacer los especialistas, poner ese material a disposición de estos, particularmente el que se recoge y descarta a bordo de cruceros de prospección pesquera.
- Promover los estudios científicos de viabilidad que sustenten el establecimiento jurídico y administrativo de áreas marinas protegidas, que son un eficaz instrumento de conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad de los recursos biológicos.
- Dado que densidad demográfica de muchas áreas costeras y de las cuencas hidrográficas que desembocan en ellas originan alteraciones profundas y duraderas del medio marino, estudiar las fuentes de contaminación acuática, la dinámica de los sedimentos, las transformaciones de los contaminan-

Ambiente marino patagónico. Foto Héctor Elías Monsalve



## PROYECTOS ARGENTINO-BRASILEÑOS EN CIENCIAS DEL MAR Y LA ATMÓSFERA

El desarrollo de la oceanografía regional, principalmente en las décadas de 1980 y 1990, facilitó la cooperación científica argentino-brasileña en la materia. Si bien las agencias de promoción de la ciencia disponían de mecanismos para solventar viajes de investigadores y para participar en talleres y reuniones de trabajo, la financiación de actividades de investigación, trabajo de campo, equipamiento, etcétera, estaba prácticamente limitada a proyectos restringidos a ámbitos nacionales, lo cual constituía una fuerte limitación para realizar estudios que abarcaran áreas y problemas comunes.
La creación del Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global, en mayo de 1992, con la misión de fomentar investigación que trascienda los programas nacionales, cambió significativamente el panorama. La nueva entidad financió varios estudios del Atlántico sudoccidental conducidos por investigadores argentinos y brasileños, como se puede apreciar en la tabla adjunta. Esos estudios requerían disponer de dinero para actividades nacionales, que provinieron de las fuentes específicas disponibles en cada país, como la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, el Conicet y la Fundación Antorchas en la Argentina, y en el Brasil, el CNPq y varias fundaciones estaduales de promoción científica.
En años recientes la colaboración argentino-brasileña en ciencias del mar se ha centrado en tres aspectos principales:

• La influencia de las corrientes sobre las variaciones de la temperatura superficial del Atlántico Sur. Esos estudios, basados en observaciones satelitales y complejos modelos numéricos del océano y la atmósfera, resultaron de la evidencia de que variaciones de la temperatura superficial del mar pueden dar lugar a variaciones de determinadas variables del clima continental, por ejemplo la temperatura y la precipitación. Dada la elevada capacidad calorífica del agua comparada con la del aire, las anomalías térmicas en el océano persisten en el tiempo e influyen sobre las características climáticas durante lapsos prolongados (meses o incluso años).

• La descarga de agua dulce, de partículas en suspensión y de sustancias disueltas del río de la Plata para las características físicas, químicas, biológicas y geológicas de la plataforma continental del este de Sudamérica, desde el litoral bonaerense hasta el paulista. Estos estudios se centraron en las variaciones estacionales e interanuales de la descarga del río de la Plata (más información en el artículo 'El impacto del Plata sobre el océano Atlántico', Ciencia Hoy, 82:28-37, agosto-septiembre 2004, también publicado en Ciência Hoje, 216:30-37, 2005).

• Los mecanismos físicos que promueven la actividad biológica en ambientes productivos del Atlántico sudoccidental. Estudios previos sobre las características físicas y biológicas de regiones marinas específicas sugerían la existencia de una elevada concentración de fitoplancton en diversas áreas de la plataforma continental del este de Sudamérica. El análisis de datos satelitales llevó a pensar que esas áreas productivas están asociadas con frentes oceánicos, viento y mareas, los que promueven la mezcla vertical del las aguas. Esas regiones albergan a gran variedad de peces, aves y mamíferos, y concentran buena parte de las pesquerías.

| Proyecto | Años |
|---|---|
| Estudio integrado de estuarios en costas templadas | 1996-1997 |
| Cambio global en el Atlántico sudoccidental entre la costa y las cuencas profundas adyacentes | 1996-1997 |
| La variabilidad climática interanual y el Niño en el sur de Sudamérica | 1996-1997 |
| Modelado de procesos oceánicos, costeros y estuarinos en Sudamérica | 1996-1999 |
| Precipitación en el sudeste de Sudamérica: influencia de la temperatura superficial del mar, predictibilidad y variabilidad | 1997-2000 |
| Cambios globales y climáticos en el Atlántico sudoccidental | 1999-2006<br>2006-2011 |
| Red de investigación sobre la variabilidad y el cambio del clima en el Mercosur, su predictibilidad e impactos | 1999-2006 |
| Intercambio de aguas y biota entre la plataforma continental y el océano abierto | 2012-2015 |
| Variabilidad de ecosistemas marinos alrededor de Sudamérica | 2013-2017 |

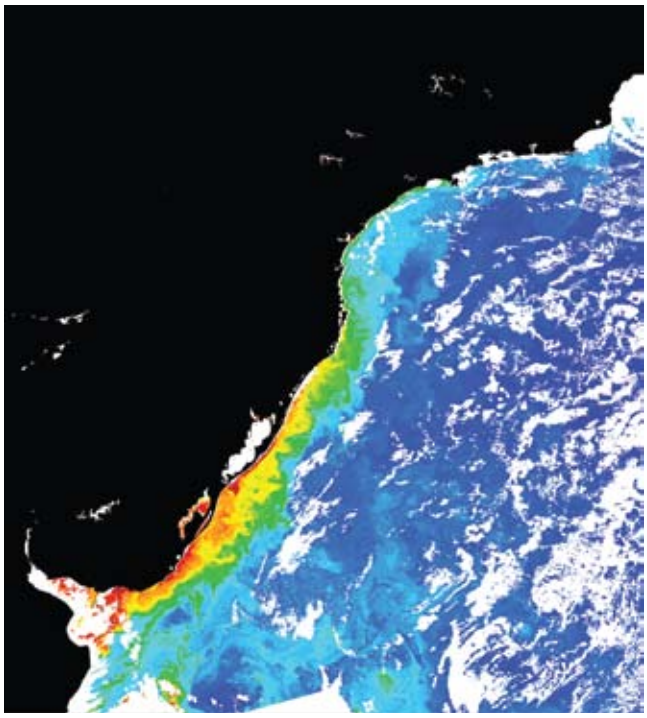


Imagen satelital de clorofila superficial en el norte de la Argentina, Uruguay y sur de Brasil. 3 septiembre de 2003. Imagen procesada por S. Romero a partir de datos suministrados por el proyecto Seawifs, goddard space flight center, Nasa

tes en el ambiente y sus efectos sobre los ecosistemas marinos.

- Dedicar especial atención a analizar las operaciones portuarias, para minimizar sus consecuencias ambientales.
- Dado que la cantidad de especies animales o vegetales introducidas desde otras partes del mundo en los ambientes costeros del Atlántico sudoccidental ha ido aumentando peligrosamente, y que se han visto invasiones de especies exóticas favorecidas por la contaminación ambiental, realizar estudios sobre las vías de introducción de especies foráneas y un monitoreo continuo de las comunidades nativas, con el fin de tomar medidas de prevención y de control temprano de invasiones.
- Formar y dar capacitación avanzada a investigadores y especialistas en recursos marinos, y facilitar la circulación de estudiantes por los centros universitarios de la región, para ponerlos en contacto con diferentes realidades ambientales y sociales. Entre otras maneras, ello se puede favorecer mediante el reconocimiento en universidades argentinas, brasileñas y uruguayas de materias cursadas en instituciones reconocidas de otro de esos países.
- Incorporar la dimensión sociocultural en los programas de formación de investigadores y en las propias investigaciones sobre las que se base la gestión ambiental y de los recursos marinos.
- Realizar esfuerzos de divulgación científica y de transferencia del conocimiento de las ciencias del mar al resto de la sociedad, en especial a los ámbitos de la administración pública y la política.
- Crear o fortalecer en cada país una Comisión Nacional de Ciencias del Mar, con participación destacada de científicos activos, que defina los planes nacionales de investigación marina, los compatibilice con los de los otros países de la región, coordine el uso de buques de investigación y asuma la representación del país ante comisiones u organismos internacionales, como la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, la FAO, etc.
    - » El carácter interdisciplinario de las ciencias del mar torna imprescindible que las agencias de gobierno institucionalicen un medio apto para viabilizar la discusión, formulación y ejecución de planes de ciencia y tecnología en ese campo. Los Consejos de Investigación y en casos, el nivel ministerial, deben implementar comisiones integradoras de las distintas ramas de las ciencias del mar. Deben dar el ejemplo de la interacción para que los investigadores y los proyectos, contemplen a varias disciplinas y que no se evalúen separadamente en cada especificidad (por ejemplo, geología, oceanografía física o biología).
    - » Se recomienda que exista en cada país una Comisión Nacional de ciencias del mar con participación activa y preponderante de científicos activos, donde se elaboren los planes nacionales de investigación marina, compatibilice con los países de la región el uso de recursos como buques de investigación y que asuma la representación del país en el seno de las comisiones internacionales como la Unesco, Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), la FAO, etc.

En algunos de nuestros países hace varios lustros que tales comisiones no existen, con las enormes consecuencias negativas a la participación de oportunidades de cooperación que se pierden. En estas condiciones los países no pueden formular planes nacionales de investigación, relevamiento de falencias e identificación de las áreas prioritarias desde el punto de vista de la investigación, la integración de esfuerzos y la divulgación de los resultados a la comunidad. Mal podrían entonces ser formulados con el peso necesario planes de este tipo a nivel regional. A este respecto, el ejemplo es justamente que las recomendaciones del CTS no han recalado en ningún estamento oficial de los países, haciendo que muchos científicos sean muy escépticos de este tipo de reuniones, que muchas veces quedan sólo como catarsis sin ninguna consecuencia. CH

Ciencia Hoy Volumen 23 número 135 octubre - noviembre 2013

**Gregorio Bigatti**
Investigador del Conicet en el
Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

# Perspectivas de la biología marina

## Primeros pasos

Aunque los estudios sobre la fauna y flora marinas de las costas argentinas y sudamericanas comenzaron en el siglo XIX con naturalistas europeos como Alcides D'Orbigny o Charles Darwin, la biología marina se empezó a desarrollar en el país en la década de 1960, con la creación del Instituto Interuniversitario de Biología Marina (IIBM) de Mar del Plata, donde se iniciaron jóvenes tanto argentinos como de otros países latinoamericanos. La buena marcha de la experiencia fue interrumpida por los gobiernos militares que usurparon el poder en 1966 y en 1976, lo que condujo a la dispersión de un número importante de investigadores y estudiantes, muchos de los cuales emigraron a países como Brasil, México y Venezuela. Con el regreso al régimen constitucional en 1983 se principió a remediar el atraso argentino en esta rama de la ciencia. Actualmente se puede afirmar que el sistema se ha normalizado y que la biología marina ocupa un lugar creciente en el panorama científico nacional.

## Biodiversidad marina

Los estudios relacionados con determinados aspectos de la biodiversidad marina están entre las áreas más desarrolladas de la disciplina en la Argentina y han proporcionado buen conocimiento de la biología, el comportamiento y la conservación de aves, mamíferos y peces. Sobre invertebrados marinos y algas no se sabe tanto, en parte debido a su gran diversidad y en parte por su menor relevancia económica y turística. En este momento y con financiación local e internacional, se están haciendo estudios para constituir bases de datos mundiales sobre biodiversidad, que serán útiles para conocer las especies y los factores que dominan su distribución geográfica. El Censo de Vida Marina 2000-2010, un esfuerzo en el que tomaron parte investigadores de unos ochenta países, consigna casi cuatro mil especies de animales y algas del Mar Argentino.

La mayoría de las especies de mamíferos y aves del mundo fue descripta antes de 1850, mientras que para peces, invertebrados y algas eso no fue así. Los invertebrados son los que más especies nuevas para la ciencia

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

La biología marina es una rama de las ciencias del mar de reciente desarrollo en la Argentina que está en franco crecimiento.



Zona intermareal rocosa expuesta con marea baja en Puerto Pirámides, Chubut. Foto María Bagur

registraron después de 1850, y siguen haciéndolo hoy. Por ejemplo, entre 2000 y 2009 se describieron en la Argentina y Uruguay dos nuevas especies de algas, siete de peces y veintitrés de invertebrados marinos. Las recientes campañas del Conicet a bordo del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, que exploraron profundidades de más de 3000m en los cañones submarinos y otras zonas del Mar Argentino, encontraron numerosas especies aún no conocidas, actualmente en proceso de descripción.



Equinodermos coleccionados en septiembre de 2013 en un viaje de investigación del buque oceanográfico *Puerto Deseado*. Fueron capturados a 1400m de profundidad en el cañón submarino de Mar del Plata. Foto Martín Brogger

## Biología marina y producción pesquera

La pesca requiere ser guiada por el resultado de investigaciones biológicas. El Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) de Mar del Plata es el organismo que fija las pautas de manejo pesquero sobre la base de sus investigaciones y las de otros institutos de investigación marina, como el Centro Nacional Patagónico de Puerto Madryn (en el que se desempeña el autor de esta nota) y el Centro Austral de Investigaciones Científicas de Ushuaia –ambos del Conicet–, lo mismo que el Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni, en San Antonio Oeste, de la Universidad Nacional del Comahue y la provincia de Río Negro.

En el mundo, el 16,6% de las proteínas consumidas por la población provienen de la pesca. En 2009 el 87% de las poblaciones ícticas mundiales estaban explotadas al máximo o sobreexplotadas. En los últimos años se registró un crecimiento de las exportaciones pesqueras argentinas, que van principalmente a España (31%), Brasil (10%) e Italia (9%), aunque algunas especies están sobreexplotadas. Entre 1993 y 2004 los desembarques de merluza en puertos argentinos fueron superiores a las capturas máximas permitidas, por lo que la biomasa de adultos reproductores disminuyó en un 70% entre 1987 y 2006, y los peces capturados resultaron cada vez más chicos. Según un informe de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, en 2012 las exportaciones argentinas incluyeron unas 110.000 toneladas de merluza, 80.000 de langostinos y 70.000 de calamares. Aunque las capturas de langostino y calamar pueden fluctuar entre los años debido a su modo reproductivo, los científicos creen que si no se toman medidas adecuadas de manejo para todas las especies explotadas la pesca puede entrar en colapso.

Se carece de un conocimiento completo de las especies en explotación y resta explorar una extensa cantidad de otras, por ejemplo de invertebrados marinos, que no se comercializan pero tienen valor en mercados como Chile, Europa o Asia. Por otro lado, se está encarando el

cultivo de especies comerciales, entre ellas mariscos, cuyos resultados se espera ver en un futuro cercano. Hoy la acuicultura produce en la Argentina unas 3000 toneladas anuales, es decir un escaso 3,5% de la producción pesquera nacional, mientras en Chile se pescan 2,6 millones de toneladas y se cultivan 700.000 (27%), y en Brasil se pescan 785.000 toneladas y se cultivan 500.000 (63%), según los datos publicados en el Anuario de la FAO. La reciente creación de la Red de Fortalecimiento de la Maricultura Costera Patagónica, apoyada por el Conicet, busca fortalecer el avance de esa actividad en términos económica y ecológicamente sustentables.

Una deficiencia actual del sector pesquero es la poca relación entre los investigadores científicos y quienes toman las decisiones de manejo de los recursos. Aunque se dispone de bastantes datos confiables, que en el mejor de los casos terminan publicados en revistas científicas internacionales de excelente nivel, estos no llegan a la atención de los responsables de esas decisiones.




A bordo del buque oceanográfico *Puerto Deseado*, septiembre de 2013. Selección de organismos capturados con una draga a 2930m de profundidad en el cañón submarino de Mar del Plata. Foto Cristina Damborenea

## Amenazas a los ambientes marinos

La mayor amenaza para la biodiversidad marina está dada por la alteración de ambientes, la presencia de especies exóticas, el desarrollo urbano en áreas costeras, el establecimiento y la operación de puertos, dragados, la contaminación acuática y la pesca indiscriminada.

Si bien gran parte del Mar Argentino está alejada de las grandes ciudades, la contaminación se transfiere por las corrientes marinas y por el aire. Debido a ella se producen alteraciones fisiológicas y acumulación de contaminantes en organismos, malformaciones sexuales en moluscos, etcétera.

La contaminación no es la única amenaza: desde 2002 se detectaron más de cuarenta especies exóticas a lo largo de las costas, algunas de las cuales modificaron considerablemente los ecosistemas costeros. Llegaron en el agua de lastre o los cascos de barcos; otras veces fueron traídas para cultivarlas y luego escaparon o fueron liberadas al ambiente natural, en el que no encontraron competidores o predadores. Aunque es muy difícil controlar esas invasiones, se puede mitigar los efectos de su presencia si se toman medidas a poco de advertirla.

## Conservación

Las costas de la Patagonia son lugar de alimentación, descanso y cría de aves y mamíferos marinos. Aunque en la actualidad existen programas que estudian a estas especies y proporcionan datos para su conservación, se puede anticipar un crecimiento de esa área de estudio, sobre todo en el uso de técnicas modernas como seguimiento satelital y cámaras de filmación colocadas en el cuerpo de los animales, las que toman así datos oceanográficos en toda la extensión del Mar Argentino.

Para conservar los ambientes marinos es deseable que se establezcan nuevas aéreas protegidas, como la existente en el norte del golfo San Jorge, o la recientemente creada sobre el banco Namuncurá (también llamado Burdwood), al sur de las Malvinas y cerca de Tierra del Fuego. La segunda tiene un alto interés, pues los ecosistemas de alta mar y de profundidad no han sido muy estudiados. Existen otras áreas de interés para la investigación científica del Atlántico Sur, como el talud continental (en el área llamada Agujero Azul) y la zona de las islas Georgias y Sandwich del Sur. La existencia de áreas protegidas permite mantener porciones de mar en condición saludable, promueve la investigación científica y fomenta el uso sostenible de los recursos naturales.

Otra área en la que sería beneficioso y se puede esperar que continúen investigaciones que se han empezado a llevar a cabo es la de cooperación internacional para monitorear el estado de conservación de diferentes grupos de organismos y sus ecosistemas. Se constituyen así redes de trabajo multidisciplinario que proporcionan una visión global de la biología de las comunidades marinas y nos acercan a comprenderlas en su totalidad.

## Perspectivas

Los futuros estudios de biología marina posiblemente orienten preferentemente su mirada a los procesos biológicos de los ecosistemas antes que a una



Anémonas de mar (*Metridium senile*) fotografiadas a 8m de profundidad en el golfo Nuevo. Foto Gregorio Bigatti

especie. En la comunidad que forman los organismos de un ecosistema, cada especie está relacionada con las otras e interactúa con todas las variables ambientales. El juego de esas variables genera, a lo largo del tiempo, los procesos evolutivos que determinan las formas de vida, y la distribución y el comportamiento de las especies. Esa clase de estudios conduciría a que se entiendan sistemas de los que conocemos poco en estas latitudes, como las comunidades que viven en zonas intermareales y estuariales, que en otros países están bastante bien comprendidas.

También ayudarán al conocimiento de cada especie los estudios de biología integrativa, que analizan un organismo con distintos enfoques o técnicas; por ejemplo, recurren a isótopos estables para establecer cadenas alimentarias o determinar edad y crecimiento; examinan migraciones y dispersión de stocks pesqueros considerando sus efectos sobre los ecosistemas; determinan los efectos de las corrientes marinas y del movimiento de grandes masas de agua sobre aves, mamíferos e invertebrados, o enfocan la distribución y las formas de vida de muchas especies con relación a la producción de fitoplancton o a variables ambientales.

Los microorganismos son importantes eslabones de las comunidades marinas. Se están realizando en la Argentina estudios de comunidades microbianas marinas mediante el análisis de su ADN, y se llevó a cabo un primer estudio de metagenómica, que secuenció en forma masiva los genomas de comunidades microbianas de sedimentos marinos que degradan petróleo. En el futuro se puede esperar que se impulsen las aplicaciones tecnológicas de ese conocimiento, por ejemplo, para remediar derrames de petróleo y producir combustibles o enzimas de interés industrial. También se está participando en el país en el proyecto de un código de barras genético, que apunta a secuenciar un gen de cada una de las especies del mundo, no solo las marinas, y así obtener una identificación rápida de ellas. De la misma manera, se espera llegar en el futuro cercano a secuenciar a bajo costo el genoma completo de cada especie y a desarrollar algo así como un escáner que determine el nombre de cada organismo. El trabajo de los taxónomos seguirá siendo fundamental e imposible de sustituir, y es deseable que esa área del conocimiento continúe recibiendo atención y atraiga a jóvenes investigadores incitándolos a aplicar las más avanzadas tecnologías.

Se considera que el aislamiento de compuestos bioactivos en algas e invertebrados marinos podrá dar inicio a la creación de productos beneficiosos para la salud humana, como drogas anticancerígenas.

Por último, sería beneficioso que las iniciativas de divulgación científica se incrementen durante los próximos años, para transferir a la sociedad conocimientos adquiridos con estudios de los recursos marítimos, de suerte que alcancen a círculos más amplios que los de los investigadores. Por este camino, en un futuro próximo las entidades educativas podrán disponer de material didáctico ejemplificado con la fauna y flora marinas locales y no de otras latitudes, donde son muy distintas. CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**AA. VV.**, 2004, 'Las ciencias del mar en la Argentina', Ciencia Hoy, 13, 78: 23-46.

**AA. VV.**, 2011, 'Marine Biodiversity in the Atlantic and Pacific Coasts of South America: Knowledge and Gaps', PLoS ONE, 6, 1: e14631, *doi:10.1371/journal.pone.0014631.*

**PENCHASZADEH PE** y **BROGGER MI**, 2006, *Biología marina*, Eudeba, Buenos Aires.

*http://www.proyectosub.com.ar*

*http://www.marpatagonico.org/index.shtml*

*http://www.proyectoarrecife.com.ar/*

Ciencia Hoy Volumen 11 número 63 junio - julio 2001

**Claudio Campagna**
Wildlife Conservation Society

**Teresita Fernández**
Centro Nacional Patagónico,
Conicet, Puerto Madryn

# Más que siete mares, un océano

Este artículo trata sobre la necesidad de conservación de los ecosistemas oceánicos mundiales. En un sentido metafórico, la representación colectiva que prevalece acerca del mar como ambiente concuerda mejor con la idea de 'siete mares' que con la idea de un océano. Los siete mares inspiran imágenes de vastedad, de grandiosa expansión, de variedad y tolerancia casi infinitas. Siempre en el marco de la metáfora, diríamos que este trabajo se aparta de la visión de los 'siete mares' para apoyar la de 'un solo océano'. Traducido en un lenguaje más formal, nuestro objetivo es promover el pensamiento ecosistemático integrado, difundir el mensaje de que el océano es uno, agotable, e incapaz de resistir el abuso ambiental sostenido.

Hoy existen sobrados fundamentos científicos, instrumentos legales, teorías económicas, bases éticas, estrategias de protección, recursos humanos entrenados, reglas, principios, acuerdos y convenciones para mitigar la degradación generalizada del océano. A pesar de ello, no se evidencia, en lo práctico, un compromiso vigoroso generalizado de la comunidad mundial por revertir la tendencia actual al abuso sostenido de los ecosistemas. Este artículo sostiene que el paradigma erróneo pero difundido que preconiza un mar eterno e indestructible estimula la actitud de indiferencia y desatención con que la sociedad recibe los llamados de urgencia y priorización que las ciencias afines a la conservación intentan establecer en el dominio público.

La necesidad de cambiar el posicionamiento ideológico con respecto al océano no se limita a una sociedad proclive a la visión que infunden los siete mares. Las estrategias para la conservación también necesitan cuestionar su ideología subyacente. El movimiento conservacionista actual promueve mensajes que benefician la disposición política hacia acciones débiles, como que los problemas son producto de una responsabilidad social difusa o que las soluciones son para el beneficio universal. En nuestra opinión, las necesarias acciones de conservación ocurrirán como consecuencia de un reposicionamiento conceptual de la sociedad en general. Un cambio de postura que abandone la idea de los 'siete mares' y comience a mirar al océano como un solo ecosistema llevará a que los problemas dejen de tratarse desde lo difuso y universal para comenzar a verse desde lo específico e individual.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Existe la urgente necesidad de crear áreas protegidas en el mar abierto. Las acciones de conservación de los ecosistemas oceánicos se encuentran aun más rezagadas que las tendientes a proteger áreas continentales o costeras.

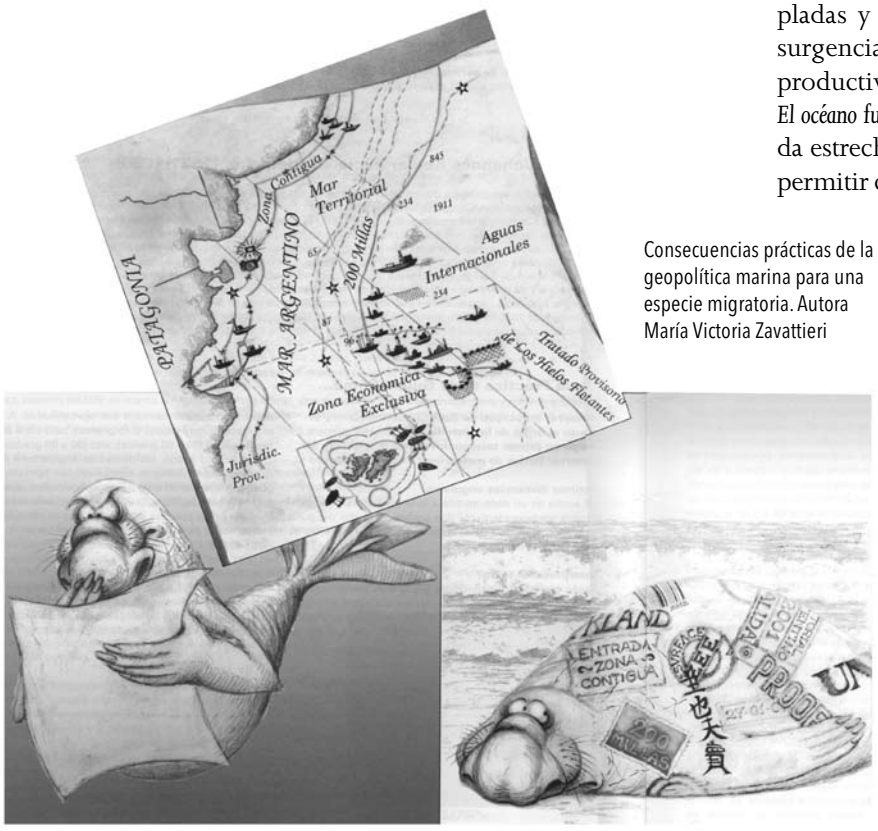
## La Tierra es el océano… y unas pocas cosas más

El océano ocupa 330.000.000km² de la superficie planetaria, un área que equivale al 71% de la superficie total de la Tierra; si la estimación se limita al hemisferio sur, el área asciende al 81%. Vivimos entonces en un mundo oceánico moteado por algunas 'islas' a las que llamamos continentes. Incluso la superficie de la Tierra se pliega más hacia las profundidades de lo que se proyecta como elevaciones, de manera que algunas fosas oceánicas tienen su fondo a 11km bajo la superficie. La profundidad media del océano es de alrededor de 3000km.

Pero ¿quién vive y piensa con esta concepción del mundo? Más de 2.000.000.000 de personas viven a menos de 100km del mar. El 75% de las ciudades del mundo con más de 10 millones de habitantes son costeras. Sin embargo, aunque una proporción relevante de la población mundial viva hoy en las costas de los continentes, se actúa con el mar como fondo, más que como protagonista.

## ¿Por qué deberíamos conservar el océano?

No hay aspecto de la vida que no tenga relación directa con el océano. El océano mantiene el balance térmico, físico y químico del planeta. Del océano depende la regulación de la atmósfera, el control del clima y el reciclado de nutrientes. Al océano se supedita la calidad de vida del ser humano.




Consecuencias prácticas de la geopolítica marina para una especie migratoria. Autora María Victoria Zavattieri

Más allá de su importancia geofísica, el océano es fuente de recursos esenciales para la actual situación geopolítica de la humanidad (ver *Agenda* 21, UNCED, cap. 17: 'Protección del océano'). La extracción pesquera mundial para 1996 se estimó en 87.000.000 toneladas anuales, con una tendencia a alcanzar 100-120 millones de toneladas hacia 2010. Por lo menos el 19% del consumo humano de proteínas se obtienen de la pesca, una actividad que emplea en forma directa a más de 200 millones de personas.

## Sobre la transmutación de los valores

Hasta aquí planteamos que, en lo cotidiano, la sociedad vive indiferente a las realidades del océano e incluso tiene un pensamiento erróneo sobre la funcionalidad de los sistemas oceánicos. Contrastando con esta posición, la investigación científica muestra que los ambientes marinos son heterogéneos, vulnerables y delicados, y sugiere que no es razonable asumir la invariable recuperación de dichos ambientes ante las acciones de degradación ambiental.

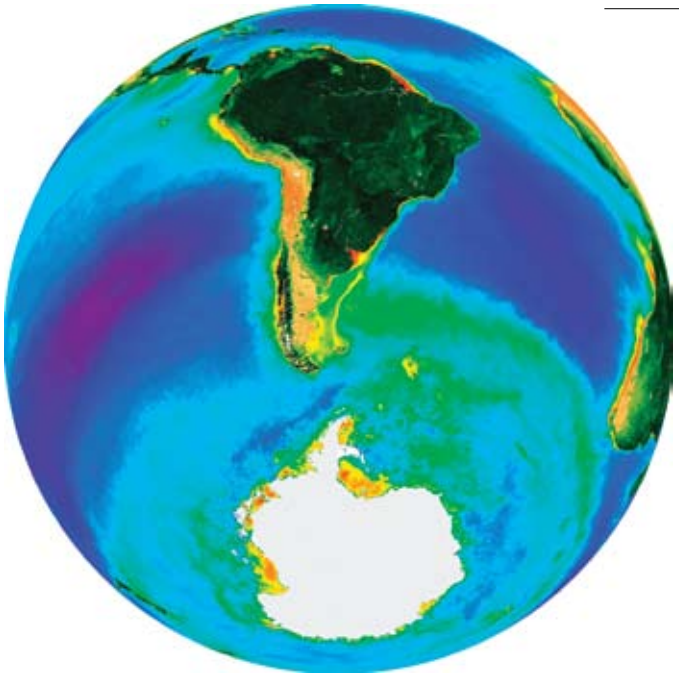
El océano es un mosaico de ecosistemas. El mar es heterogéneamente productivo: unos pocos sistemas biodiversos y ricos en biomasa se encuentran desperdigados en un trasfondo de baja productividad y pobreza de especies. Los ecosistemas costeros, las plataformas continentales, las aguas de surgencia y los frentes oceánicos se encuentran entre los sistemas biológicamente más fértiles y diversos del mar. Comparativamente, el mar abierto y profundo es ecológicamente pobre, aunque la heterogeneidad se mantiene: las regiones oceánicas frías y templadas y algunas partes del océano profundo, como las surgencias hidrotermales, presentan ambientes de alta productividad y diversidad biológicas.

*El océano funciona 'globalizado'.* La física de los océanos, vinculada estrechamente a la atmosférica, tiene la peculiaridad de permitir conexión entre los distintos ambientes ecológicos. Los eventos de El Niño son un ejemplo de esta profunda integración funcional. La 'conectividad' del océano demanda estrategias de uso de sus recursos que lo aborden como un sistema globalizado (ver vol. 31 de *Ecological Economics*, publicado en 1999).

*Los recursos del mar son agotables.* La figuración de los recursos oceánicos como ilimitados podría haber sido aceptable en el contexto práctico de una población humana de pocos cientos millones de habitantes. Con más de 5900 millones y en aumento, la falacia de los recursos oceánicos infinitos ya no puede sostenerse. En 1995, el 66% de los mayores caladeros mundiales de especies de valor comercial se encontraba sobreexplotado, explotado al máximo nivel posible o colapsado. No existe hoy en el planeta un área de alto potencial pesquero que no esté siendo utilizada. La sobrepesca (el uso

no sostenido) afecta por lo menos al 35% de los 200 stocks de peces más importantes del mundo. Esto significa que dichos stocks rinden cada vez menos alimento y tienen menos capacidad de sostener el crecimiento económico. Entre las consecuencias colaterales de las pesquerías, por ejemplo, se encuentra la captura incidental de especies sin valor comercial, la cual se estima en 29 millones de toneladas anuales (aproximadamente un tercio de la captura comercial mundial y 29 veces más que la producción pesquera anual de la Argentina).

Los expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) indican que se está por alcanzar el límite máximo de lo que el mar puede dar en términos de pesca y que dicho límite no podrá sostenerse en el tiempo. El único caladero de pesca del Atlántico que no se hallaba sobreexplotado a mediados de 1990 se encontraba en el Atlántico sudoccidental, un área cuyo núcleo es la plataforma continental argentina. Antes del fin de la década, por lo menos una especie primordial de dicho caladero, la merluza (*Merluccius hubbsi*) ya había sido sobreexplotada. A medida que los stocks pesqueros costeros se destruyen, mayor esfuerzo se invierte en aprovechar áreas del mar abierto, las que se encuentran legalmente mal protegidas y también peor controladas que los espacios marítimos costeros.



El océano ocupa el 80% de la superficie del hemisferio sur. En esta vasta extensión, poca profundidad, temperaturas templadas y corrientes que favorecen el reciclado de nutrientes constituye una fórmula que resulta en una considerable productividad biológica. Fotografía obtenida por el Programa SeaWiFS de NASA, *http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html*.

## El océano y la Argentina

En un artículo publicado en la revista *Nature* (387: 253-260, 1997; véase también *Ecological Economics*, 25, 1998, y el Forum on Valuation of Ecosystem Services: *http://csf.colorado.edu/isee/ecivalue/proceedings/0031.html*) los autores realizaron el ejercicio teórico de estimar el valor económico de los principales ecosistemas naturales y de los servicios que de ellos se derivan para la humanidad (por ejemplo, regulación de composición del aire, regulación de la temperatura, provisión de agua, alimento, refugio, esparcimiento, etcétera). Los resultados se reflejaron en un mapa del mundo con diferentes tonos de gris como indicadores del valor de los ecosistemas (cuanto más oscuros, más importantes). A la meseta patagónica, por ejemplo, corresponde un color gris claro, reflejo de que la diversidad biológica de la estepa (y su potencialidad de servicios globales) es de menor importancia que, digamos, las regiones selváticas tropicales (de color gris oscuro). A las áreas de pastizales, como la pampa húmeda, también les correspondió un color gris pálido, apenas un poco más intenso que el de la Patagonia, indicio de que los ecosistemas de pastizales contribuyen modestamente a los servicios ecosistemáticos más valiosos, como son el balance térmico, físico y químico del planeta. En este mapa de valores, solo el mar adyacente a las costas de la Argentina adquirió un tono gris oscuro. Para este análisis el mar de la plataforma continental es el sistema de mayor importancia dentro de los límites de la geografía argentina.

El sistema marino de la plataforma continental argentina es excepcional en sus aspectos geográficos, físicos y biológicos. La plataforma es una superficie submarina poco profunda (menos de 100m en la mayor parte de su extensión) cubierta por aguas templadas que se encuentran bajo el efecto de corrientes marinas que favorecen el reciclado de nutrientes. Con una superficie de aproximadamente 1.000.000km², es una de las plataformas más extensas del hemisferio sur (ver recuadro 'Definiciones'). Las principales actividades económicas que hoy tienen lugar en la plataforma son la pesca y la extracción de petróleo. La especie de mayor relevancia comercial en la historia de la industria pesquera argentina, la merluza, ha sido sobrepescada. Otra especie, el calamar argentino, *Illex argentinus*, que se captura al borde de la plataforma, se encuentra expuesto a una pesquería internacional de difícil regulación debido a la situación geopolítica del área de pesca.

Parte de la pesquería de plataforma tiene lugar en un área de litigio internacional (ver Ciencia Hoy, 13: 16, 1991) alrededor de las islas Malvinas. La pesquería del calamar, por su parte, ocurre en gran medida cerca de los límites de las aguas internacionales. De esta manera, uno de los ecosistemas de mayor valor global que forma parte de la geografía argentina se encuentra en una frágil posición tanto económica como geopolítica.

## Se sabe suficiente, se ignora demasiado

Con independencia del estilo que se utilice para sustentar la importancia de un cambio de actitud que refleje

las urgentes necesidades de conservación del océano, un aspecto queda claro: no existen hoy barreras infranqueables como para comenzar a actuar en la dirección necesaria. Las dificultades son sin duda de extraordinaria importancia: el mundo se encuentra fragmentado social e ideológicamente, el crecimiento tecnológico y económico es desigual y ocurre en un marco de crecimiento poblacional considerable, las estrategias del manejo del océano se basan en un paradigma de parcelación y oportunismo y los costos de dichas estrategias se promedian con independencia de los beneficios. Sin embargo, las actuales dificultades solo se incrementarán si el paradigma de un solo océano no se implanta como una necesidad ineludible.

*La ciencia es contundente*. Hoy existe suficiente basamento científico como para fundamentar el imprescindible cambio en la actitud mundial con respecto a la explotación de los recursos oceánicos. La ciencia debe seguir su carrera a los fines de profundizar su conocimiento, revisar resultados, actualizar información, mejorar diseños, incorporar tecnología, crear nuevos modelos, cambiar perspectivas, sintetizar, hipotetizar, teorizar. Sin embargo, no es por falta de buena ciencia que continúa la carrera de destrucción. Cuando se alega la necesidad de más información, menos imprecisiones y más poder de predicción para comenzar a cambiar las actitudes, se está simplemente retrasando las decisiones.

*Existe un marco estratégico-conceptual*. Un cambio profundo de dirección implica revertir tendencias mundiales fuertemente establecidas. Los expertos que intentan ver salidas económicas a las necesidades de conservación señalan que es necesario estabilizar la población humana, reducir la demanda de recursos y vivir de los 'intereses', no del capital natural (un concepto de lenta difusión entre los administradores de recursos). Los mismos expertos sugieren que ante una iniciativa de desarrollo es necesario adoptar el principio de precaución, mantenerse en el lado conservador de las decisiones. El principio de precaución es una de las bases del derecho internacional que no se aplica lo suficiente. Otra norma conceptual sencilla que ayudaría a la conservación es lograr que el peso de sustentar las decisiones caiga sobre los que obtienen los intereses económicos, no sobre los que intentan conservar los recursos públicos. El movimiento conservacionista pregona estas necesidades pero no ha logrado establecerlas.

*No falta régimen jurídico apropiado*. Entre 1946 y la actualidad, el esfuerzo internacional por dar contención legal a los intereses de explotación de los recursos oceánicos resultó en por lo menos cuarenta acuerdos, convenciones o grandes programas, cada uno de los cuales ha implicado a decenas de países. La amplia normativa vinculante que hoy existe versa sobre aspectos generales relacionados con el mar y su uso por las naciones del mundo (por ejemplo, la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982), aspectos específicos a una actividad (por ejemplo, la Convención MARPOL sobre contaminación), aspectos específicos para toda la biodiversidad (por ejemplo, la Convención sobre Biodiversidad) y para un grupo faunístico particular (por ejemplo, la Comisión Ballenera Internacional). Estos documentos implican obligaciones para los países firmantes; otros son simplemente declaraciones de principios cuyo cumplimiento apela a las voluntades (por ejemplo, el Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO).

La conservación se encuentra implícita en todas las actuales discusiones internacionales sobre contaminación, pesca, delimitación geográfica del mar en general y de

## DEFINICIONES

A los fines de este artículo, agrupamos los ecosistemas marinos en oceánicos (pelágicos o de mar abierto) y costeros. Los sistemas de mar abierto implican áreas alejadas cientos o incluso miles de kilómetros de las costas, e incluye la columna de agua y el fondo oceánico.

Las áreas marinas costeras tienen problemas de conservación propios, diferentes de las del mar abierto (por ejemplo, desarrollo urbano costero, desechos cloacales, turismo intensivo), pero algunos aspectos esbozados en este artículo para el océano podrían también ser pertinentes al mar costero.

**Plataforma continental**. Es el espacio marítimo definido entre el frente de la costa y el quiebre del talud continental. La definición jurídica de plataforma continental no concuerda con la definición oceanográfica, que extiende los límites hasta la zona económica exclusiva, independientemente de las características del fondo marino.

**Mar territorial**. Espacio marítimo definido por un límite de 12 millas marinas medido a partir de puntos continentales de referencia geográfica denominados líneas de base. El país costero ejerce soberanía sobre actividades y recursos.

**Zona contigua**. Espacio marítimo definido por un límite de 24 millas marinas medido a partir de las líneas de base. Se aplican las leyes del Estado costero en cuestiones aduaneras, sanitarias, fiscales e inmigratorias.

**Zona económica exclusiva**. Espacio marítimo definido por un límite de 200 millas náuticas (370,4km) medidas a partir de las líneas de base. Se ejerce soberanía para la conservación de recursos naturales (por ejemplo, control de pesquerías). Pueden aplicarse normas de conservación más allá de las 200 millas para las especies migratorias. Las líneas de base en las que se basa la definición del mar territorial, zona contigua y zona económica exclusiva de la Argentina se define en la ley 23.968 de 1991.

**Zona exterior de plataforma continental**. Espacio marítimo que se encuentra más allá de las 200 millas marinas. Estas áreas se encuentran accesibles a la pesca sin condicionamientos soberanos (aunque con obligaciones de conservación). A partir de 2005, algunos países podrán extender los límites de sus territorios a un área marina que pueden llegar a 350 millas náuticas medidas desde las líneas de base.

## PRIMER ÁREA PROTEGIDA EN MAR ABIERTO EN EL ATLÁNTICO SUDOCCIDENTAL

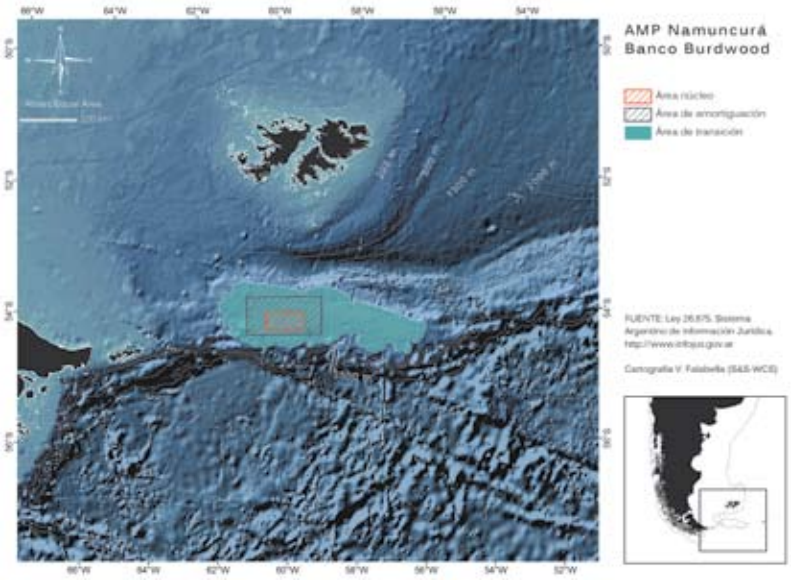
ACTUALIZACIÓN

En agosto del 2013 se promulgó la Ley 26.875 que crea el Área Marina Protegida (AMP) Namuncurá – Banco Burdwood. Se trata de un área completamente oceánica, la primera de la región. Los objetivos son la conservación y gestión sustentables de las especies y la investigación científica orientada a la descripción del sistema y a la aplicación del enfoque ecosistémico en la pesca. Entre los antecedentes de esta Ley, un área pequeña de veda total y permanente para la pesca, fue declarada en 2008 (Consejo Federal Pesquero, Acta 18/2008) para la conservación de especies *de distribución circunscripta, endémicas, vulnerables, frágiles o de lenta recuperación*.

El banco es una meseta submarina no muy profunda (aproximadamente 50 metros), ubicada a 150 kilómetros de Isla de los Estados, entre la Tierra del Fuego y las Islas Malvinas. El límite externo del área protegida corresponde a la línea de los 200 metros de profundidad y representa un hábitat excepcional para especies del fondo (bentónicas), con posibles niveles altos de endemismos. Está rodeado por tres canales de profundidad variable que representan el cauce de entrada de la corriente fría de Malvinas. Esta corriente rodea al banco generando condiciones de alta productividad por el ascenso de nutrientes a las aguas superficiales.

Ecológicamente, el banco es un ambiente único en el sector. En el extremo de la cadena trófica se encuentran las aves y mamíferos marinos (albatros, pingüinos, elefantes marinos, etc.) y las flotas de arrastreros con impacto sobre corales fríos y otras especies de fondo, como esponjas o equinodermos. En la columna de agua, las poblaciones más importantes residentes o visitantes de los ambientes del banco corresponden a peces de gran relevancia biológica y comercial, como la merluza negra, *Dissotichus eleginoides*, y la polaca *Micromesistius australis*.

La necesidad de protección de hábitats bentónicos se sustenta en sus particulares características biológicas, con presencia de especies formadoras de estructuras y vulnerables al arrastre. La pesca de arrastre de fondo es particularmente nociva pero la actividad de los buques que pescan polaca a media agua también requiere particular atención. Adicionalmente la actividad de palangreros para la pesca de merluza negra registra capturas incidentales de albatros de ceja negra y petrel de mentón blanco. Los fondos que rodean el banco han sido asimismo el ámbito de la exploración de hidrocarburos. La conservación y manejo del área deberían garantizar la protección de la estructura tridimensional del sistema, particularmente de la biodiversidad bentónica.




algunos mares en especial. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 (UNCED) ha sido continuada por decenas de reuniones para tratar aspectos generales y específicos de la conservación de los océanos. La Convención sobre Biodiversidad (CB; *Biodiversity Convention*) y el Convenio sobre Especies Migratorias (CEN; Convención de Bonn) son dos iniciativas importantes para la conservación. Un producto de la CB, por ejemplo, es el Mandato de Yakarta sobre Diversidad Biológica Marina y Costera de 1995. El Mandato promueve la creación de áreas marinas protegidas a los fines de conservar especies, hábitats y procesos ecológicos.

## Áreas oceánicas protegidas

Es necesario admitir que solo una pequeña parte de la actual diversidad biológica y de las funciones ecosistemáticas podrán resguardarse del uso no sostenido de los recursos naturales renovables. Aquello que no se encuentre en las pocas áreas protegidas que puedan crearse en los próximos años deberá ceder lugar a la demanda de una población humana en expansión, tanto en número como en capacidad de consumo.

Las 8000 áreas protegidas que existen en el mundo (poco más de 1300 son marinas, el resto son terrestres) cubren alrededor del 1,5% de la superficie planetaria. El IV Congreso Mundial sobre Parques Nacionales y Áreas Protegidas recomendó que el 20% de las áreas marinas deberían declararse ambientes protegidos; las 1300 actuales no llegan al 1% de los ambientes marinos. Más aún, muchas áreas marinas protegidas (AMP) existen solo como una declamación política o son demasiado pequeñas para mantener diversidad y función. El mar abierto se encuentra aún menos protegido que las costas.

A pesar del acceso al mar abierto que permiten sus 3000km de costa, la Argentina no tiene áreas oceánicas protegidas. Las AMP argentinas son costeras, pequeñas,

y se encuentran expuestas a variadas condiciones de explotación. Comparativamente, Australia tiene jurisdicción sobre un área marina de alrededor de 11.000.000km², en los cuales existen 306 AMP que representan alrededor del 4% de la superficie de su zona económica exclusiva.

Un sector oceánico de primordial importancia para la conservación de la diversidad del Atlántico sudoccidental es la unidad ecosistemática que incluye la plataforma continental argentina y el borde de la misma, en su límite con el talud. Este sistema se encuentra bajo el efecto ecológico de la corriente de Malvinas, de aguas frías y ricas en nutrientes. Esta corriente es responsable de las principales funciones físicas y biológicas de un vasto sector del Atlántico. El concepto de ecosistema marino amplio (*Large Marine Ecosystem*, LME) se aplica bien a esta área oceánica. En un contexto mundial de futura extensión de las soberanías nacionales a límites marítimos que superan las 200 millas náuticas (ver recuadro 'Definiciones'), una de las áreas biológicamente más importantes del océano Atlántico formaría parte de la Argentina. Si la Argentina tomara la iniciativa de promover la creación de un área protegida de usos múltiples en esta enorme extensión de océano, ocuparía una posición de liderazgo mundial en un ámbito para el cual el país no tiene antecedentes.

## El lugar del optimismo

Vivimos en un planeta que dominamos, sobre el que ejercemos una potente acción modificadora, con alteración de los ambientes naturales hasta el punto de llevarlos a no ser aptos para sostener vida alguna. Estas acciones conducen a que se pierdan especies y ecosistemas, se altere la composición de la atmósfera, el mar y la tierra, el curso de las aguas y los flujos de las corrientes.

Dados los efectos de nuestras extraordinarias capacidades modificatorias, es necesario redireccionar prioridades, esquemas de pensamiento y marcos conceptuales. Existen razones para creer que los cambios ocurrirán en la dirección adecuada, pero no existe discurso que justifique pensar que ocurrirán a tiempo. El costo del destiempo será la pérdida de una mayor proporción de la diversidad biológica, un mayor impacto global a la calidad de los ecosistemas mundiales y una disminución más marcada de las opciones para mejorar la calidad de vida del ser humano.

La información biológica, oceanográfica, física, climatológica, geológica, química y ecológica es abrumadora y contundente a la hora de afirmar la necesidad de proteger los ecosistemas oceánicos. Existe además base para un tratamiento filosófico, ético, estético y legal para abordar el problema de la destrucción de los océanos. Son miles los científicos del mundo que invierten, en conjunto, millones de horas proyectando, ejecutando, midiendo y concluyendo que el futuro de los océanos está comprometido. Decenas de revistas científicas publican centenares de artículos técnicos que convergen en la unánime conclusión de que los ecosistemas no resisten más abuso. Abundan los organismos internacionales dedicados al tema de organizar el mundo con respecto al uso de los océanos. Cientos de organizaciones no gubernamentales y organismos internacionales de consulta, miles de conferencias mundiales, programas, tratados, convenios, acuerdos, códigos de conducta y leyes se dedican a la protección de los océanos. ¿Por qué entonces sigue existiendo la urgencia de la conservación?

Está claro que todo el esfuerzo mencionado no alcanza para evitar que los problemas superen la marcha de las acciones para corregirlos. Todo el poder de empuje no nos permite mantenernos hoy donde estuvimos parados ayer. Esta incapacidad para eludir lo anunciado parecería originarse en la profunda incomprensión de la mayor parte de la humanidad que puede cambiar el curso de las cosas, la priorización dirigida hacia metas más reconfortantes y la casi inigualable capacidad de adaptación del ser humano a nuevas condiciones. Estos factores permiten que el problema avance asociado a una responsabilidad difusa. Solo falta que se escriba una filosofía del desperdicio que justifique las actuales actitudes y prioridades que comprometen la continuidad de los sistemas naturales para que encuentre marco oportuno esta historia del desencanto. CH

## LECTURAS SUGERIDAS


**BOSCHI EE** (ed.), 1997, *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales*, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata.

**BOTSFORD LW**, **CASTILLA JC** & **PETERSON CH**, 1997, 'The Management of fisheries and marine Ecosystems', *Science*, 277: 509-515.

**GARCÍA SM** & **HAYASHY M**, 2000, 'Division of the oceans and ecosystem management: Acontrastive spatial evolution of marine fisheries governance', *Ocean & Costal Management*, 43: 445-474.

**GUBBAY S** (ed.), 1995, *Marine Protected Areas*, Chapman and Hall, Londres.

**KELLEHER G**, **BLEAKLEY C** & **WELLS S,** 1995, *A Global Representative System of Marine Protected Areas, Great Barrier Reef Marine Park Authority*, The World Bank, The World Conservation Union (IUCN), Washington.

**LUBCHENCO J**, 1998, 'Entering the century of the environment: A new social contract for science', *Science*, 279: 491-497.

**LUDWING D**, **HILBORN R** & **WALTERS C**, 1993, 'Uncertainty, Resourse Exploitation and Conservation: Lesson fron History', *Science*, 260: 35-36.

**PAUL, D**, **CHRISTENSEN V**, **DALSGAARD J**, **FROESE R** & **TORRES Jr F**, 1998, 'Fishing Down Marine Food Webs', *Science*, 279: 860-863.

**VITOUSEK PM, MOONEY HA, LUBCHENCO J** & **MELILLO JM**, 197, 'Human Domination of Earth's Ecosystems', *Science*, 277: 494-499.

Ciencia Hoy Volumen 11 número 64 agosto - septiembre 2001

**Pablo Yorio**
Investigador del Conicet en el
Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn

# Áreas marinas protegidas en la Argentina

Los ecosistemas marinos y costeros brindan una gran variedad de recursos y servicios, principalmente la provisión de alimentos (por ejemplo, peces, moluscos, crustáceos y algas). Estos ecosistemas cumplen además una importante función en el almacenamiento y reciclado de nutrientes, la regulación del balance hídrico y el filtrado de contaminantes. Los procesos biológicos contribuyen al clima global removiendo dióxido de carbono y produciendo una importante proporción de la fuente global de oxígeno. Como otros ambientes marinos del mundo, el Mar Argentino cumple la mayor parte de estas funciones y se encuentra sometido a una serie de actividades humanas que amenazan su conservación (ver recuadro 'Amenazas a la diversidad biológica a diversidad biológica marina en la Argentina'). Entre las herramientas actualmente disponibles para lograr la conservación de los ecosistemas marinos y la administración de sus recursos se encuentran las áreas marinas protegidas (AMP).

Los objetivos de las áreas marinas protegidas son: conservar la diversidad biológica, mantener procesos ecológicos y asegurar el uso sustentable de los recursos. Una AMP ha sido definida como 'un área del intermareal o submareal con las aguas que la cubren, y su flora, fauna y características históricas y culturales asociadas, reservada por ley u otro mecanismo efectivo para proteger parte o todo el ambiente que esta incluye' (UICN -Unión Mundial para la Conservación). Bajo esta definición, existen en la Argentina 38 sectores con algún grado de protección de ambientes marinos. Estos se encuentran distribuidos en las cinco provincias del litoral marítimo (ver desplegable).

## Características de las AMP en la Argentina

¿Cuál es el estado actual de protección de los ambientes marinos en la Argentina? El primer aspecto a analizar es cuántas de las AMP antes mencionadas son relevantes para la conservación y manejo de ambientes marinos. Mu-

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Los objetivos de las áreas marinas protegidas son conservar la diversidad biológica, mantener procesos ecológicos y asegurar el uso sustentable de los recursos. ¿Se cumplen realmente? Se señalan las amenazas a la biodiversidad marina y algunos programas tendientes a mejorar el sistema de áreas marinas protegidas en la Argentina.



Cormoranes en isla Vernaci Oeste, golfo San Jorge, Chubut.

chas de estas áreas protegidas son prácticamente reservas terrestres ubicadas sobre la costa, con una baja superficie de ambientes marinos (figura 1). En muchos casos, llegan hasta la línea de marea pero no incluyen formalmente las aguas adyacentes. Al llegar hasta la línea de costa incluyen alguna proporción de ambientes del intermareal, pero de todas formas la superficie de ellos en estas AMP es muy pequeña. Es interesante destacar que salvo por dos o tres excepciones, todas estas reservas que no incluyen ambientes marinos poseen entre sus principales objetivos la protección de especies marinas. En otras AMP, como isla de los Pájaros, Punta León y Punta Marqués en Chubut, el área marina bajo protección alcanza apenas unos pocos centenares de metros desde la línea de marea. Otras reservas, en cambio, incluyen aguas adyacentes o extensos intermareales, tales como Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde, y Bahía San Blas y Bahía Anegada en el sur de Buenos Aires, todas las reservas provinciales de Río Negro, Ría Deseado en Santa Cruz y Costa Atlántica en Tierra del Fuego. Solo las reservas de puerto Lobos en Río Negro y golfo San José en Chubut son exclusivamente marinas. Por lo tanto, las áreas destinadas a la protección de ambientes marinos en la Argentina son pocas y en general relativamente pequeñas.

¿Cuál es entonces la superficie total de ambientes marinos actualmente protegida? Dado el actual conjunto de AMP, el porcentaje de superficie marina protegida es mínimo, menos del 1%, con relación a la superficie total del Mar Argentino (figura 2). Aunque un análisis más estricto debería considerar la heterogeneidad del ambiente marino, la baja proporción de estos ambientes con algún tipo de protección indica claramente que se encuentran subrepresentados en el actual sistema argentino de áreas protegidas.

## Objetivos de creación y criterios de selección

Cabe entonces preguntarse por qué razón la mayoría de las AMP tiene una superficie marina tan pequeña. Parte de la respuesta se encuentra en los objetivos de creación de estas. Los objetivos de las AMP pueden ser muy variados (ver recuadro 'Objetivos de las áreas marinas protegidas'). En nuestro litoral marítimo, muchas reservas fueron creadas por motivos socioeconómicos. A modo de ejemplo, varias reservas, especialmente en Chubut, fueron creadas para proteger atractivos de interés turístico, tales como asentamientos de mamíferos y aves marinas. En estos grupos, la mayoría de las especies se reproduce en colonias, concentrándose en grandes números sobre la costa y generalmente ocupando espacios reducidos. Lo que es particularmente interesante es que estas especies, que fueron el objeto de la creación de muchas de las actuales reservas, dependen del medio marino para su alimentación, descanso o migración y sin embargo dichas reservas no incluyen áreas significativas del mar adyacente. Otras reservas como San Antonio Oeste en Río Negro y Costa Atlántica en Tierra del Fuego fueron creadas mayormente para proteger humedales valiosos para aves migratorias. Solamente unas pocas, como las reservas de isla de los Estados en Tierra del Fuego o bahía San Blas en Buenos Aires fueron creadas utilizando una mayor amplitud de criterios.

Por lo tanto, y como es de esperar, hubo distintas motivaciones para crear las actuales AMP, pero en general las razones socioeconómicas han acompañado con gran peso a las de protección de especies o ambientes marinos. En general, para la designación de las AMP en la Argentina no se ha seguido ningún ordenamiento particular, siendo muchas veces oportunista o en respuesta a la presión de la comunidad. En ninguna de las provincias, y menos a nivel nacional, se ha efectuado un análisis previo para acordar criterios y establecer prioridades basados en información biológica, social y/o económica.

Existe una gran variedad de criterios para la selección de AMP, tanto ecológicos como socioeconómicos, que se han discutido ampliamente y obtenido un amplio consen-

### AMENAZAS A LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA MARINA EN LA ARGENTINA

La mayoría de las amenazas a la diversidad biológica marina se localiza en la zona costera y es directa consecuencia de la actividad humana y las actuales tendencias demográficas, las cuales llevan a la degradación, fragmentación y pérdida de ambientes (Gray 1997). Las amenazas para la biodiversidad marina en la Argentina son similares a las detectadas para la mayor parte de los mares y las zonas costeras del mundo: (1) sobreexplotacion de recursos pesqueros y otros efectos derivados de las pesquerías; (2) contaminación; (3) introducción de especies e invasiones; (4) degradación de ambientes; (5) turismo; (6) cambio climático global e incremento de radiación ultravioleta, y (7) escasa conciencia ambiental y poca preocupación por los ambientes marinos en la mayor parte de la población, incluidas las comunidades asentadas sobre el litoral marítimo.

so internacional. El uso de la mayor parte de estos requiere de un relativamente buen conocimiento de los ambientes marinos. Aunque queda mucho por conocer sobre los ecosistemas marinos en la Argentina, existe ya una cantidad significativa de información que sería de gran utilidad para efectuar los análisis necesarios. El principal desafío es lograr a corto plazo la integración de dicha información y la generación de las síntesis respectivas que sirvan para la toma de decisiones en esta materia.

## OBJETIVOS DE LAS ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS

- Conservar la biodiversidad.
- Contribuir a la sustentabilidad de las actividades pesqueras.
- Proteger habitáis y especies atractivas para el turismo.
- Contribuir al conocimiento de los ambientes marinos.
- Proveer refugio para especies intensamente explotadas.
- Proteger la diversidad cultural.

(adaptado de Kelleher 1999)

## ¿Se cumplen los objetivos de conservación en las AMP?

El funcionamiento de un sistema efectivo de AMP no solo depende de un buen diseño basado en criterios ecológicos y socioeconómicos. Existen otros factores que son igualmente importantes para lograr los objetivos de creación de las AMP, y son los relativos a su implementación. Algunos problemas relevantes son la falta de objetivos claros en la designación del área, la carencia de planes de manejo, la superposición de jurisdicciones, la poca claridad en materia legislativa, la limitación de recursos para el control y monitoreo, y la ausencia de una estrategia y coordinación regional. Cabe aclarar que muchos de estos puntos no son problemas inherentes a la Argentina; estos se han presentado en muchas otras regiones, incluso en países supuestamente más avanzados en aspectos relativos a la conservación y administración de ambientes marinos.

La enunciación de objetivos claros permite definir mejor las estrategias de implementación, incluyendo la elaboración de planes de manejo, controles, monitoreos y mecanismos para evaluar el éxito de las AMP. Esto es particularmente relevante cuando se considera que, salvo por una de las reservas de nuestro litoral, en todas se desarrolla algún tipo de actividad económica (figura 3). Entre ellas, las actividades turísticas y recreativas son las más frecuentes. En muchas de las reservas se desarrolla más de una actividad, y esta diversidad de usos requiere de la pronta puesta en práctica de acciones de gestión integrada. Es interesante destacar que, a diferencia de muchos otros lugares del mundo, no se han declarado hasta el momento áreas marinas protegidas con el objetivo específico de lograr la sustentabilidad de las actividades pesqueras. Cabe señalar, sin embargo, que existen tres zonas de veda que en la práctica están sujetas a un control similar al de las AMP para la actividad pesquera. Estas zonas de veda protegen durante períodos determinados del año las áreas de desove y crianza de especies de importancia comercial, tales como la merluza común en la zona de isla Escondida (Chubut), el langostino en el Bajo Mazarredo (Santa Cruz) y la vieira patagónica sobre la isobata de 100 metros frente a las provincias de Buenos Aires, Río Negro y Chubut.

La mayoría de las AMP no posee planes de manejo o estos no se encuentran actualizados o implementados. En este sentido, la provincia de Chubut se encuentra más avanzada que el resto. Cabe destacar que tanto Chubut como Santa Cruz han comenzado recientemente con un programa de actualización de estos planes. Por otro lado, menos de la mitad de las reservas del litoral posee personal, y para muchas de ellas este es aún insuficiente. Existen numerosos casos donde hay superposición de una o más jurisdicciones involucradas en la administración de las áreas protegidas

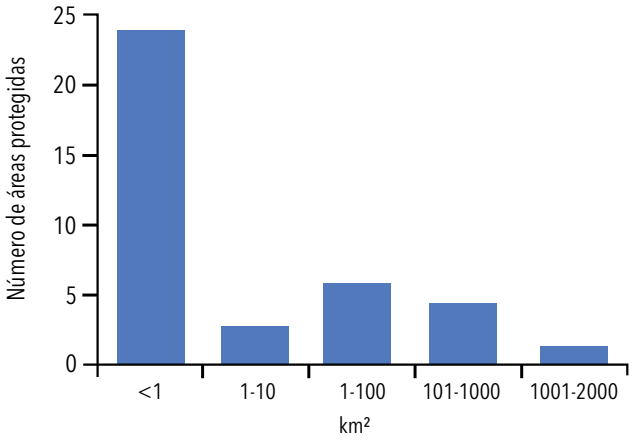



**Figura 1.** Superficie de ambientes marinos protegida por las actuales reservas marinas y costeras de la Argentina.

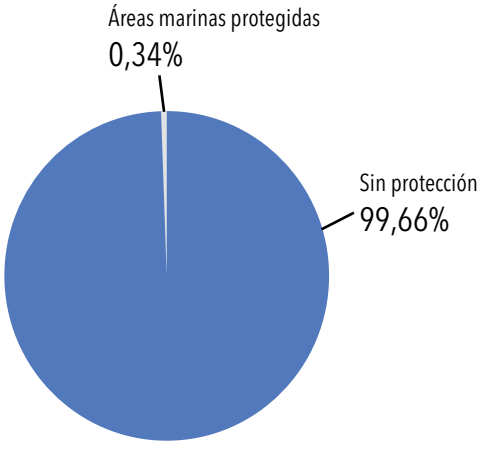



**Figura 2.** Porcentaje de superficie marina protegida por las actuales reservas marinas y costeras con relación a la superficie del Mar Argentino.

tanto dentro de los gobiernos provinciales como entre las provincias y la Nación. Esto genera indefiniciones e interferencias durante la aplicación de medidas de control, muchas veces en temas que pueden ser de gran relevancia para la conservación a largo plazo de un sitio en particular.

Muchas de las especies marinas cumplen parte de su ciclo anual fuera del ámbito de las reservas, desplazándose a lo largo de las jurisdicciones de diferentes provincias o, incluso, traspasando límites internacionales (ver el recuadro 'Metapoblaciones marinas', Ciencia Hoy, 61: 30, 2001). Este es el caso, por ejemplo, de especies de gran relevancia como el pingüino de Magallanes y la ballena franca austral. En forma similar, debería considerarse la migración o desplazamientos transzonales de *stocks* de peces, algunos de los cuales son también de gran importancia económica. Esto hace necesaria la coordinación tanto entre las autoridades de aplicación de las diferentes provincias, como entre las autoridades nacionales y provinciales con las de los países limítrofes, de manera de lograr la efectiva protección de las especies migratorias. Los sistemas provinciales, por lo general, trabajan en una forma que hace poco eficiente la comunicación y el trabajo coordinado. En este sentido, es necesaria una mayor conexión entre las provincias para poder lograr acciones de conservación y gestión efectivas y el establecimiento de una red regional de AMP.

## Programas e iniciativas que apuntan a mejorar el sistema de AMP en la Argentina

Al igual que en otras partes del mundo, se ha observado en los últimos años en nuestro país un aumento en la preocupación por la conservación de los ecosistemas marinos y el interés por mejorar nuestro actual conjunto de áreas marinas protegidas. Además de las iniciativas personales, se han comenzado a desarrollar importantes esfuerzos institucionales y regionales. Por ejemplo, la provincia de Chubut lanzó durante 1998 el Programa de Planes de Manejo de sus áreas protegidas. Acciones similares, aunque no enmarcadas en un programa específico, han comenzado recientemente en otras provincias. También durante 1998, se llevó a cabo el Primer Taller sobre Áreas Marinas Protegidas en la ciudad de Mar del Plata, organizado por Aves Argentinas, la Universidad Nacional de Mar del Plata y la Fundación Patagonia Natural, donde se discutieron prioridades de acción en este tema. Por su parte, la Administración de Parques Nacionales está trabajando en la creación del primer parque nacional marino.



Pingüinos de Magallanes en la reserva de península Valdés.



Pingüinos de Magallanes en la reserva de Punta Tombo, Chubut.

Recientemente se ha puesto en marcha un proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo denominado 'Consolidación e implementación del plan de manejo de la zona costera patagónica para la conservación de la biodiversidad', con el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto como agencia ejecutora y la Fundación Patagonia Natural como unidad técnica. Este proyecto, de cinco años de duración, incluye objetivos directamente relacionados con las AMP. Por medio de ellos se intentará resolver algunos de los problemas mencionados, incluyendo la creación de nuevas AMP, la elaboración y actualización de planes de manejo, el establecimiento de las bases para una red regional de AMP y el fortalecimiento de aspectos institucionales. Estos objetivos se llevarán a cabo en colaboración con los gobiernos e incorporando un proceso participativo en el marco de un programa regional de manejo integrado de la zona costera.

Esto último es particularmente importante, ya que las AMP no son la solución para todos los problemas de admi-

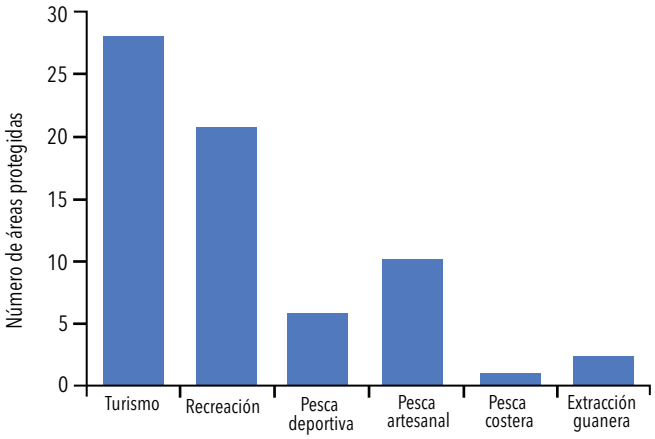



**Figura 3.** Actividades económicas desarrolladas en las áreas protegidas marinas y costeras de la Argentina.



Costas acantiladas de Chubut.

nistración y conservación, aunque pueden ser muy útiles si se complementan con otras herramientas como el manejo integrado de las zonas costeras. Las características del ambiente marino antes mencionadas hacen que las actividades humanas desarrolladas en áreas adyacentes y a veces no tan próximas a las AMP puedan tener un efecto negativo significativo sobre las mismas. Por lo tanto, una administración integrada de zonas más amplias que incluyan las AMP es indispensable para llevar a buen término una estrategia de conservación a largo plazo. En resumen, a pesar de que las AMP se encuentran distribuidas a lo largo de toda la costa y formando parte de la mayoría de las unidades biogeográficas, el bajo número, su escasa superficie y la ausencia de áreas protegidas en ambientes alejados de la costa, sugieren que el actual sistema no es suficiente para lograr la protección y el control efectivo de los ecosistemas marinos de la Argentina. Por otro lado, existen varios problemas no resueltos en términos de su implementación. Incluso en las reservas que incorporan ambientes marinos, se ha prestado muy poca atención en materia de conservación y manejo al sector marino propiamente dicho. Esto resalta otras importantes razones de que en el actual conjunto de AMP exista una baja representación de los ecosistemas marinos: la relativamente débil relación entre el hombre y el mar, la poca tradición en materia de conservación marina de la Argentina y el bajo desarrollo en nuestro país de algunas de las herramientas y mecanismos para implementar una administración integrada de estos ambientes. Es posible que muchos de estos aspectos tarden en ser solucionados, pero es alentador el cambio positivo observado durante la última década. Aunque el estado actual de las AMP en la Argentina presenta aspectos negativos que deberían ser corregidos en el corto plazo en un complejo contexto socioeconómico, existen varios aspectos positivos para resaltar. Por ejemplo, el conjunto actual de AMP es una muy buena base sobre la cual construir, se dispone de una cantidad importante de información sobre los ecosistemas marinos, existe un capital humano ya formado o con alta capacidad para formarse rápidamente para resolver los problemas planteados, se percibe un cambio en la visión de la gente con respecto al mar y existe un compromiso creciente por parte de los gobiernos. En este contexto, las iniciativas ya en marcha, y las que se sumen incorporando el trabajo cooperativo y participativo, podrán muy probablemente contribuir a implementar en el corto plazo un sistema suficientemente efectivo de AMP para nuestros ambientes marinos. CH

*Fotos: Guillermo Harris*

## LECTURAS SUGERIDAS

**AGARDY T**, 1997, *Marine protected áreas and ocean conservation,* Academic Press, San Diego.

**GRAY JS**, 1997, 'Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs', *Biodiversity and Conservation,* 6:153-175.

**GUBBAY S**, 1995, *Marine Protected Áreas. Principies and techniques for management,* Chapman & Hall, Londres.

**KELLEHER G**, 1999, 'Guidelines for marine protected áreas', *Best Practice Protected Área Guidelines Series,* Nº 3 IUCN - The World Conservation Union.

**YORIO P**, **TAGLIORETTE A**, **HARRIS G** y **GIACCARDI M**, 1998, 'Áreas protegidas costeras de la Patagonia: síntesis de información, diagnosis sobre su estado actual de protección y recomendaciones preliminares', *Informes Técnicos del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica,* Fundación Patagonia Natural (Puerto Madryn), 39: 1-75.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

| | Nombre | Denominación |
|---|---|---|
| 1 | Punta Rasa | Reserva natural municipal |
| 2 | Faro Querandí | Reserva natural municipal |
| 3 | Mar Chiquita | Reserva natural de usos múltiples y refugio de vida silvestre |
| 4 | Restinga del Faro* | Reserva natural |
| 5 | Arroyo Zabala* | Reserva natural de uso múltiple |
| 6 | Pehuen Co-Monte Hermoso* | Reserva natural de objetivo geológico, paleontológico y arqueológico |
| 7 | Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde | Reserva natural de uso múltiple |
| 8 | Islote del Puerto* | Reserva natural integral |
| 9 | Costera de Bahía Blanca* | Reserva natural municipal de objetivo educativo |
| 10 | Bahía San Blas | Reserva natural de usos múltiples y refugio de vida silvestre múltiple |
| 11 | Punta Bermeja | Área natural protegida |
| 12 | Caleta de los Loros | Reserva de uso múltiple |
| 13 | Bahía de San Antonio | Área natural protegida |
| 14 | Complejo Islote Lobos | Área natural protegida |
| 15 | Puerto Lobos | Reserva faunística provincial |
| 16 | Península Valdés▼ | Área natural protegida |
| 17 | El Doradillo* | Área protegida municipal |
| 18 | Punta Loma | Reserva natural turística |
| 19 | Punta León | Reserva natural turística Unidad de investigación biológica |
| 20 | Punta Tombo | Reserva natural turística de objetivo específico |
| 21 | Cabo Dos Bahías | Reserva natural turística de objetivo integral |
| 22 | Patagonia Austral* | Parque marino interjurisdiccional |
| 23 | Punta Marqués | Reserva natural turística Unidad de investigación biológica |
| 24 | Barco Hundido* | Reserva provincial |
| 25 | Caleta Olivia | Reserva natural municipal |
| 26 | Monte Loayza | Área de uso exclusivo científico |
| 27 | Cabo Blanco | Reserva natural intangible |
| 28 | Ría de Puerto Deseado | Reserva natural provincial |
| 29 | Isla Pingüino✚* | Parque marino interjurisdiccional |
| 30 | Makenke* | Parque marino interjurisdiccional |
| 31 | Bahía de San Julián | Área de uso limitado bajo protección especial |
| 32 | Isla Cormorán e isla Justicia | Área de uso limitado bajo protección especial |
| 33 | Isla Leones | Área de uso limitado bajo protección especial |
| 34 | Monte León* | Parque nacional |
| 35 | Isla de Monte León | Reserva provincial |
| 36 | Isla Deseada | Área de uso limitado bajo protección especial |
| 37 | Aves Migratorias* | Reserva provincial |
| 38 | Río Chico* | Reserva urbana costera |
| 39 | Cabo Vírgenes | Reserva provincial |
| 40 | Costa atlántica Tierra del Fuego | Reserva hemisférica |
| 41 | Playa Larga | Reserva natural y cultural |
| 42 | Tierra del Fuego | Parque nacional |
| 43 | Isla de los Estados | Reserva provincial ecológica, histórica y turística |
| 44 | Namuncurá- Banco Burdwood* | Área marina protegida |

## ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS

ACTUALIZACIÓN

Uno de los objetivos de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2003) es el fortalecimiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas con el fin de que estén representados los principales ecosistemas de cada biorregión del país. En este contexto, se han implementado en los últimos años varias acciones a nivel nacional, provincial y municipal tendientes al fortalecimiento del sistema de áreas marinas protegidas de la Argentina. Esto incluyó la creación de nuevas áreas y la modificación del diseño de algunas existentes de manera de incorporar una mayor proporción de ambientes marinos. Desde 2001 se crearon 14 nuevas áreas marinas protegidas en las provincias de Buenos Aires, Chubut y Santa Cruz (ver tabla). La representación de áreas marinas protegidas bajo jurisdicción nacional se incrementó significativamente con la creación del parque nacional Monte León en Santa Cruz y, más recientemente, la creación de tres parques marinos administrados en forma conjunta entre la Administración de Parques Nacionales y los gobiernos provinciales (el parque marino Patagonia Austral en Chubut y los parques marinos Pingüino y Makenke en Santa Cruz). A estas iniciativas se sumó la creación del parque marino Namuncurá-Banco Burdwood, la primera área oceánica protegida en la zona económica exclusiva de la Argentina. La incorporación de estas áreas ha resultado en un aumento relativo significativo de la superficie de ambientes marinos protegidos en el país. A pesar del claro progreso en materia de conservación marina, es probable que el actual sistema todavía no sea suficiente para proteger de manera adecuada la diversidad biológica marina y costera, ya que la mayoría de las áreas se encuentran ubicadas sobre la costa y poseen una baja superficie de ambientes marinos. La creación de áreas marinas protegidas oceánicas y la anexión de sectores de mar a muchas de las actuales áreas marinas protegidas costeras son todavía una necesidad urgente para lograr la protección efectiva de organismos marinos y procesos ecológicos

### LECTURAS SUGERIDAS

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, *Estrategia Nacional de Biodiversidad*, Buenos Aires, 2003.

**Referencias de la tabla**

★ Áreas creadas desde 2001

▼ Creada como reserva natural turística de objetivo integral por ley 2161/83; la actual área natural protegida engloba las anteriores provinciales de península Valdés, Isla de los Pájaros, Punta Norte, Caleta Valdés, Punta Delgada, Punta Pirámide y Parque Marino Golfo San José

✚ Incluye las anteriores áreas protegidas provinciales Isla Pingüino y Bahía Laura.

# Sitios web de interés

| | |
|---|---|
| www.cienciahoy.org.ar | Revista Ciencia Hoy |
| www.mincyt.gob.ar | Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva |
| www.pampazul.mincyt.gob.ar | Pampa Azul |
| www.conicet.gov.ar | Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas |
| www.macn.secyt.gov.ar | Museo Argentino de Ciencias Naturales 'Bernardino Rivadavia' - Conicet |
| www.cenpat.edu.ar | Centro Nacional Patagónico - Conicet |
| www.cadic-conicet.gob.ar | Centro Austral de Investigaciones Científicas - Conicet |
| www.iado-conicet.gob.ar | Instituto Argentino de Oceanografía - Conicet |
| www.inidep.edu.ar | Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero |
| www.ibmpas.org | Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni |
| www.geologica.org.ar | Asociación Geológica Argentina |
| www.apaleontologica.org.ar | Asociación Paleontológica Argentina |
| www.malacoargentina.com.ar | Asociación Argentina de Malacología |
| www.ProyectoSub.com.ar | Iniciativa de divulgación científica sobre invertebrados marinos |
| www.coml.org | Census of Marine Life / International global 10 year program |
| http://www.ploscollections.org/static/comlCollections.action | Marine biodiversity papers by the Census of Marine Life |
| http://noc.ac.uk/research-at-sea | National Oceanography Centre - UK |
| http://sarce.cbm.usb.ve/ | South American Research Group in Coastal Ecosystems |
| http://www.marine-biodiversity.org/wcmb2014/ | World Conference on Marine Biodiversity |
| http://www.scarmarbin.be/ | Science Council on Antarctic Research - Marine Biodiversity Information Network |
| http://www.scor-int.org/about.htm | Scientific Committee on Oceanic Research |
| http://iobis.org/ | Ocean Biogeographic Information System |
| http://www.marinespecies.org/ | World Register of Marine Species |
| http://eol.org/ | Encyclopedia of Life |
| https://www.whoi.edu/ | Woods Hole Oceanographic Institution |
| http://cbm.usb.ve/sv/ | Centro de Biodiversidad Marina - Venezuela |
| http://www.jamstec.go.jp/e/ | Japan Agency for marine-earth science and technology |
| http://wwz.ifremer.fr/institut_eng | French Research Institute for Exploitation of the Sea |
| http://www.aims.gov.au/ | Australian Institute of Marine Science |
| http://www.intecmar.usb.ve/ | Instituto de Tecnología y Ciencias Marinas - Venezuela |
| http://www.invemar.org.co/ | Instituto de Investigaciones Marinas - Colombia |
| http://www.oceanexplorationtrust.org/ | Ocean Exploration Trust |
| http://www.nautiluslive.org/ | Nautilus Live |
| http://www.searesearch.org/ | Sea Research Foundation |





Fotos: Héctor Elías Monsalve

CIENCIA HOY

Presidencia de la Nación

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

PAMPA AZUL
EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO AL SERVICIO DE LA SOBERANÍA MARÍTIMA

ISBN 978-987-45884-0-4