

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 vivos 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

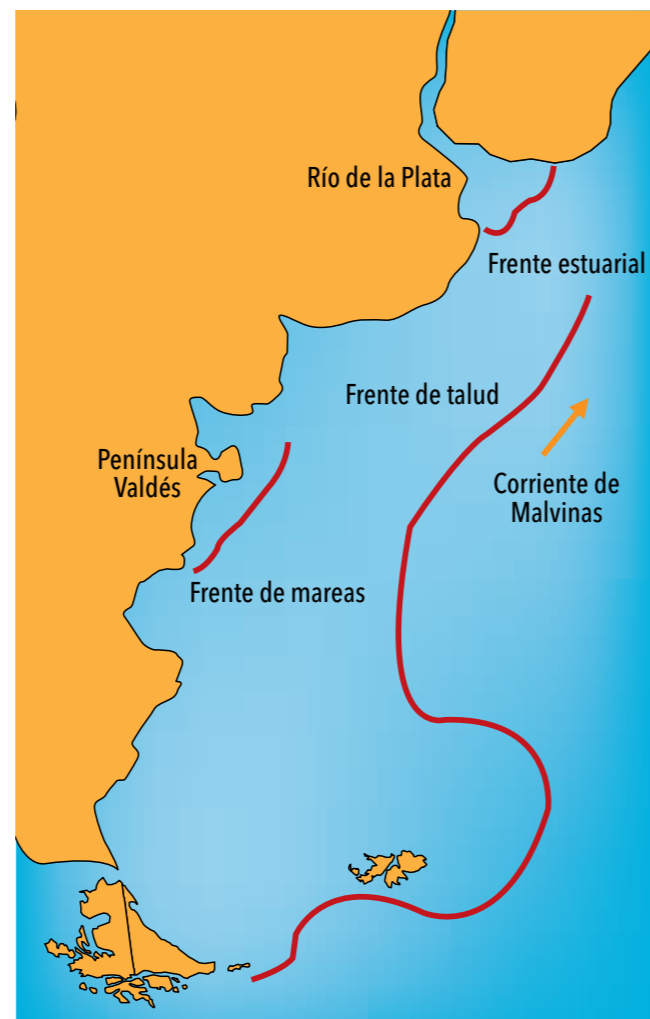


Figura 1. Localización esquemática de los tres frentes presentados en este artículo (modificado de Acha *et al.*, 2004).

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.

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-

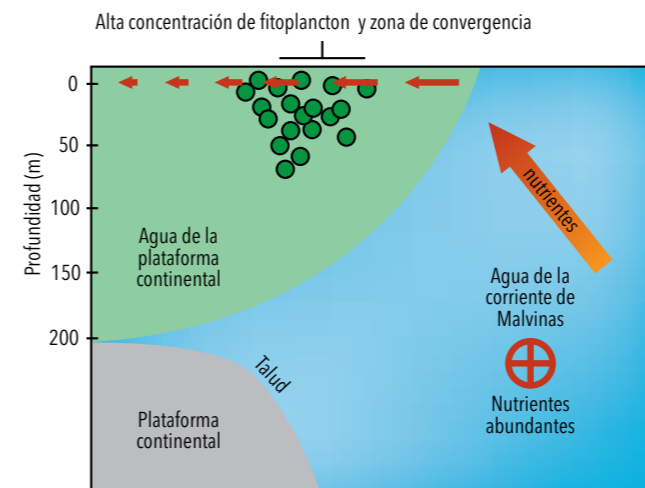


Figura 2. Esquema del frente de talud representando un corte transversal de las masas de agua. En gris se representa el fondo de la plataforma continental. El círculo con la cruz en su centro indica que la corriente de Malvinas se mueve hacia el norte ('penetrando en la hoja') (modificado de Carreto *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 km²). 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

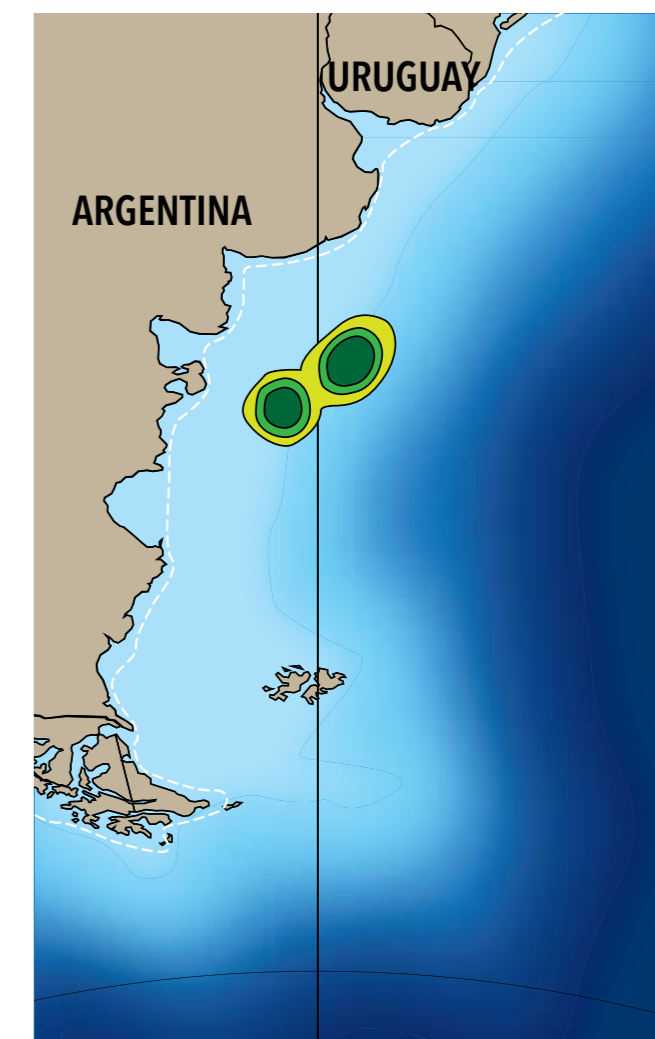


Figura 3. Elefantes marinos machos alimentándose en el talud. Estimación de la densidad de localizaciones (los contornos corresponden al 50%, 75% y 95% de las ocurrencias).

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.

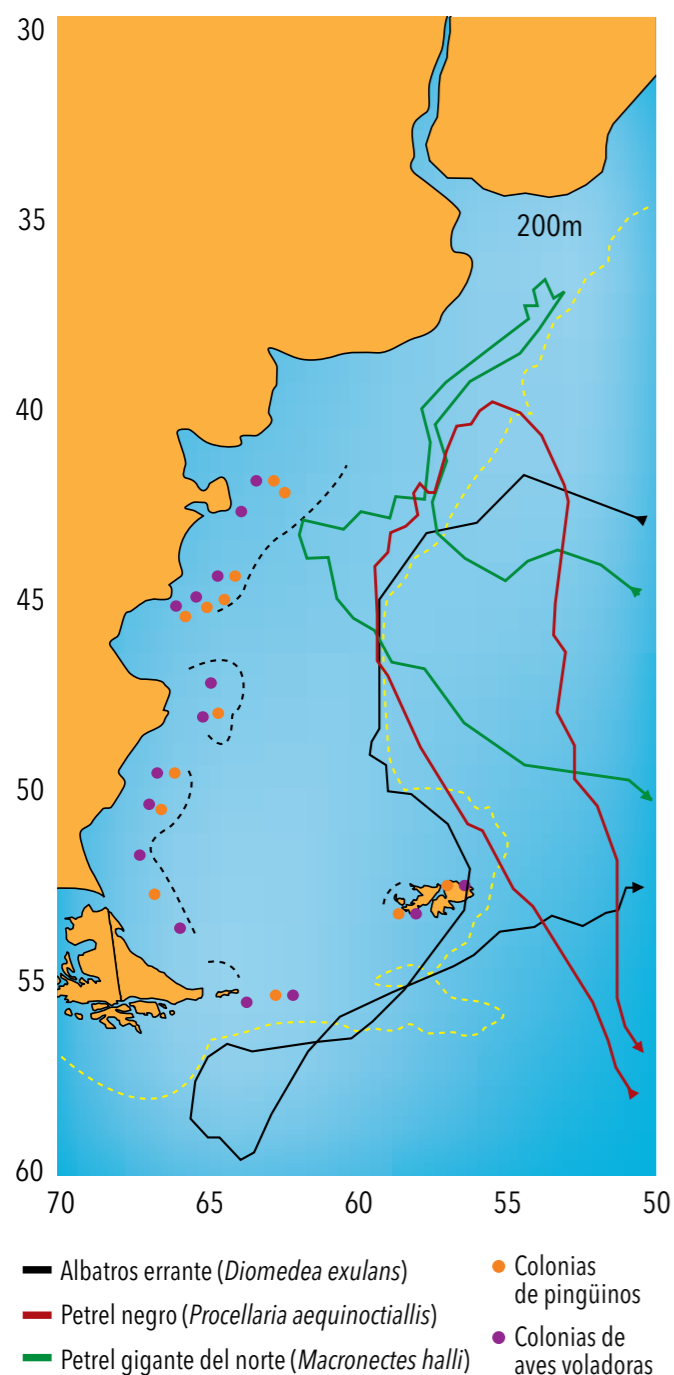


Figura 4. Viajes de alimentación de albatros y petreles a lo largo del frente de talud, registrados por medio de transmisores cuya señal es captada por satélites. Estos viajes tienen su inicio en las islas Georgias del Sur (fuera del mapa) donde estas especies se reproducen. Se representan los vuelos 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 delimitan 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.

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



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

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

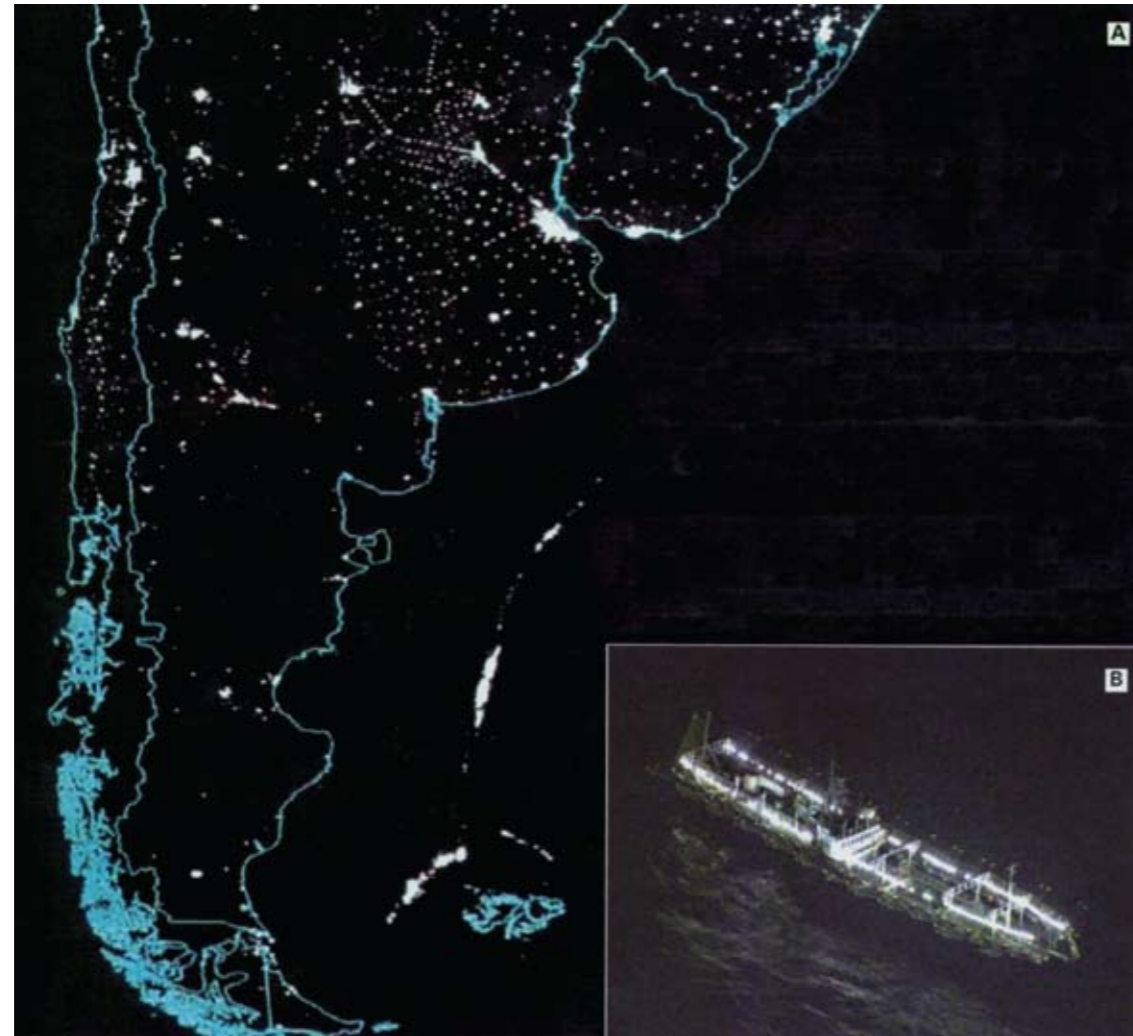


Figura 6. Buques 'poteros' a la pesca de calamar en el frente de talud. A. Imagen satelital nocturna del Mar Argentino (<http://dmisp.ngdc.noaa.gov/dmisp.html>) B. Aerofotografía de un 'potero'.

'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.

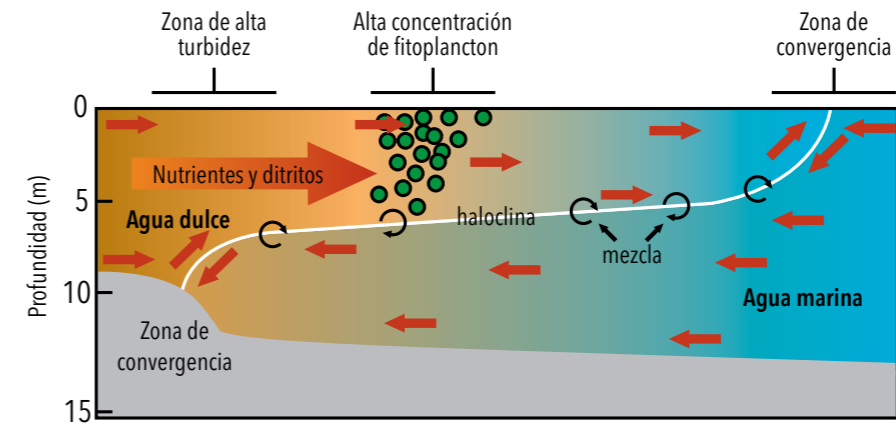


Figura 8. Esquema del frente estuarial del Río de la Plata (modificado de Acha y Mianzan, 2003).

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

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 (*Charadriiformes*), se alimentan de pequeños organismos que viven en el fango que queda expuesto durante la bajamar.

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



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.

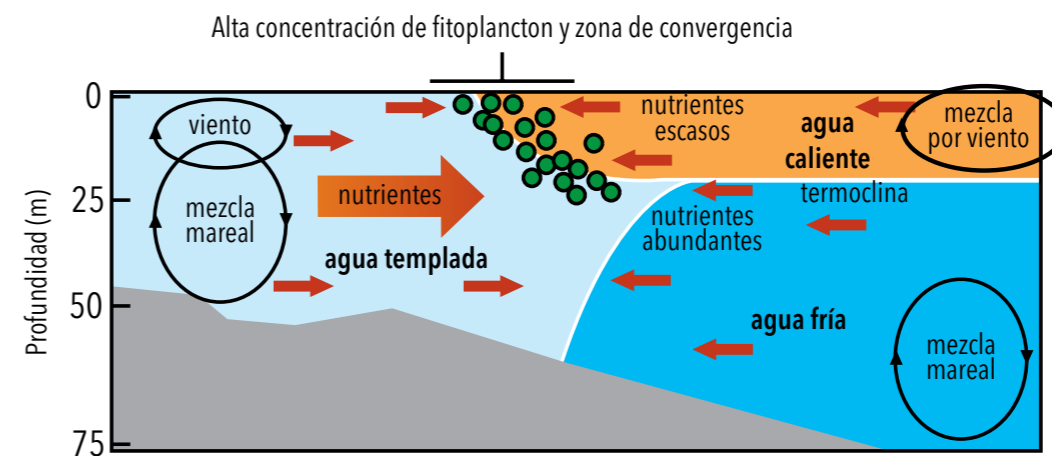


Figura 10. Esquema del frente de Valdés (modificado de Carreto, 1989).

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 impensable 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>).

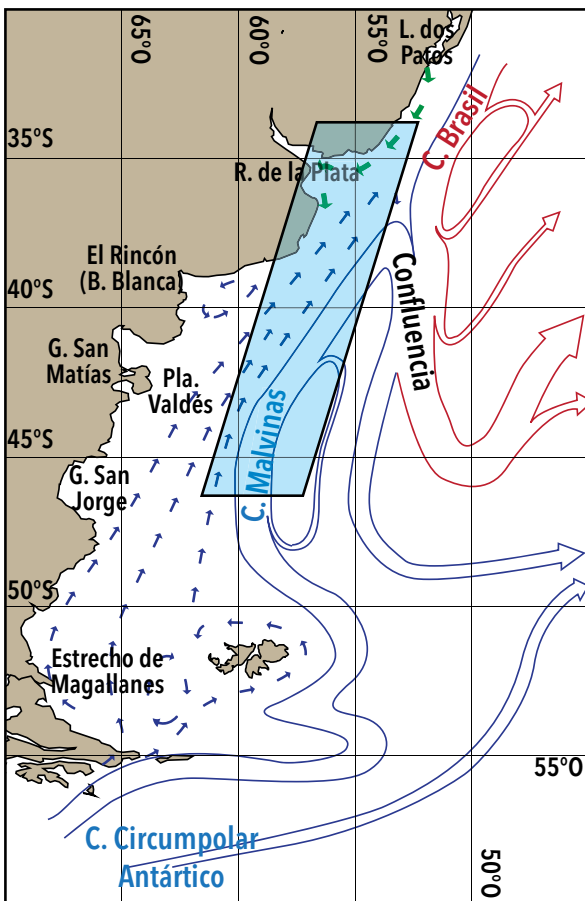


Figura 11. A. El frente de talud visto desde el satélite argentino SAC-C. B. Área cubierta en esta imagen.

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. **CH**

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 interfaces 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.