

VOCES DEL FONDO DEL MAR...

El estudio del ambiente marino es indudablemente una tarea tan apasionante como ardua. La autora de este artículo propone un recorrido desde la obtención de los microfósiles (foraminíferos) hasta lograr una interpretación paleoambiental.

Emiliana Bernasconi

El ambiente marino exhibe una gran cantidad de formas de vida que se extienden desde el litoral hasta las grandes profundidades abisales, otorgándole a dicho ecosistema una riquísima diversidad biológica. A partir del estudio de la distribución y preferencia ecológica de las diferentes comunidades es posible responder a los numerosos interrogantes que se plantean desde el punto de vista bioestratigráfico, paleoecológico y paleoambiental (Ver glosario). La reconstrucción del clima en el pasado nos brinda herramientas indispensables para establecer la amplitud de las variaciones climáticas acontecidas en el pasado geológico. Esto nos permite no sólo predecir la respuesta de los ecosistemas ante dichos cambios, sino también vislumbrar las variaciones climáticas previstas para el futuro. El impacto que producen las variaciones climáticas en la vida en el mar tiene numerosas expresiones que se reflejan en diversos microorganismos cuya presencia nos da información sobre ciertas características ecológicas del medio ambiente. Hay microorganismos como por ejemplo: los foraminíferos, los ostrácodos y los nanofósiles que poseen elementos que se preservan en el registro geológico; por ello pueden ser utilizados como indicadores biológicos. Entre ellos, los foraminíferos son uno de los más utilizados como indicadores en una gran variedad de estudios relacionados con las cien-

cias de la Tierra. Los mismos habitan casi exclusivamente en ambientes marinos y juegan un rol importante tanto en la cadena alimenticia como en los ciclos químicos del agua.

Poseen características distintivas entre las que se destaca un exoesqueleto duro, constituido por estructuras resistentes que al morir no son susceptibles a la degradación bacteriana y se preservan en el sedimento como fósiles. Por ello, en algunos casos son capaces de registrar cambios ambientales y procesos evolutivos sucedidos en la Tierra.

Por otro lado, el diminuto tamaño de estos microorganismos, de aproximadamente medio milímetro, comparable a la cabecita de un alfiler y su gran abundancia hacen que se puedan obtener grandes cantidades de estos organismos en una pequeña cantidad de sedimento y por lo tanto contabilizarlos. Esto permite el empleo de métodos estadísticos para la aplicación de diversos índices que ayudan a la inferencia de las condiciones ambientales (ver Figura 1). Asimismo, el corto ciclo reproductivo y la elevada diversidad de especies que existen los convierte en testigos elocuentes y muy utilizados en las reconstrucciones ambientales y paleoambientales. Además de estas características generales de sencilla observación, algunas especies presentan extremada especificidad ambiental confiriéndoles una alta sensibilidad a las variaciones de las condiciones ecológicas. Mientras algunas especies son más abundantes en las profundidades oceánicas, otras se restringen a ambientes marinos marginales, como los estuarios, o predominan en ambientes con menor circulación oceánica, como los golfos.

El estudio del ambiente marino y de los microorganismos que habitan en él, entre ellos los foraminíferos, requiere la toma de datos y muestras adecuadas para lo que es indispensable el uso de embarcaciones. Por ello, la disponibilidad de recursos como el buque oceanográfico "Puerto Deseado", abre la posibilidad de incrementar el conocimiento científico de los procesos oceanográficos globales que ocurren en el mar Argentino, marcando así nuevos desafíos.

Palabras clave: foraminíferos, paleoclima, indicadores radionucleicos, Buque "Puerto Deseado".

Emiliana Bernasconi

Dra. en Biología, Ctro. Reg. Universitario Bariloche (CRUB), Univ. Nac. del Comahue, Argentina.
Instituto de Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), Cjo. Nac. de Invest. Científicas y Técnicas (CONICET)

bernasconi@comahue-conicet.gob.ar

Recibido: 18/05/12. Aceptado: 20/09/12



Foto: E. Bernasconi



Figura 1. Tamaño comparativo de cuatro foraminíferos bentónicos comparados con la cabecita de un alfiler y el ojal de una aguja.

Este buque pertenece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y es tripulado por el Servicio de Hidrografía Naval. Es justamente personal del CONICET quien convoca a los investigadores a presentar anualmente diferentes proyectos científicos que incluyan actividades a realizar a bordo. Los investigadores interesados presentan proyectos según cada convocatoria, debido a que el itinerario se define de acuerdo a las demandas y al mejor aprovechamiento del tiempo de navegación en el mar Argentino. Por esta razón, las campañas se caracterizan por la multidisciplinariedad en temas de oceanografía involucrando especialistas en diferentes áreas de la ciencia como la ecología, la biología, la física, la geología y la química del mar.

En el buque...

Para participar de las campañas, los investigadores (o el “personal científico”, como los llaman a bordo) deben trasladarse a la Base Naval de Mar del Plata. El buque está preparado para zarpar una vez que se hayan cumplimentado todos los controles de mantenimiento, abastecimiento y seguridad. Una vez en el buque, hay horarios y rutinas que no pueden dejar de cumplirse, aunque estas rutinas afectan especialmente a la tripulación de la Armada. El itinerario y las estaciones para extraer las muestras está planificado con antelación suficiente y la toma de datos físicos es continua, por ello conviene organizarse en grupos por turnos. El buque está equipado con redes, rastras, equipos para registrar la conductividad, la temperatura y la profundidad, termosalinógrafo y muestreadores

automáticos de nutrientes que pueden operar de manera continua.

El muestreo de los sedimentos, en cambio, se realiza en lo que se denomina estaciones fijas que son precisamente aquellas donde el buque debe detener su marcha. Se pueden extraer dos tipos principales de muestras que tienen distintos objetivos. El muestreo de sedimentos superficiales que permite el estudio del ambiente actual y el muestreo de columnas de sedimento que tienen como fin el conocimiento del pasado geológico. Para recoger sedimentos de la superficie del lecho marino, se utilizan diversos muestreadores, siendo los más usados las dragas Van Veen y Shipek (ver Figura 2. A, B). Al extraer la muestra debe evitarse tocar las paredes del muestreador, manipular la muestra lo menos posible, tener una superficie de trabajo limpia y lavar el equipo y las espátulas antes de la llegada a la próxima estación para evitar la contaminación con la muestra extraída previamente. Además de registrar los datos obvios de la muestra como ubicación y profundidad, deben anotarse las condiciones de la muestra. Es decir, todo aquello que pueda servir *a posteriori* para su análisis, como el tipo de sedimento, textura, consistencia, color, olor, estimación de la cantidad de sedimento obtenido, descripción de la biota acompañante, personal que participó en la toma de la muestra, etc. También resulta útil fotografiar la muestra. Finalmente, ésta se guarda en un contenedor etiquetado a 4 °C o bien se la cubre con una solución de etanol con el fin de fijar el citoplasma, es decir la parte blanda de los organismos que estuvieran vivos al momento de colección de la muestra.





Foto: E. Bernasconi

Figura 2. A. Extracción de sedimentos superficiales con draga Shipek. B. Muestra obtenida con muestreador Shipek. C. Obtención de una secuencia de sedimento larga. D. Retiro de la columna de sedimento. E. Corte longitudinal de la columna de sedimento extraída.

Para la extracción de columnas largas de sedimentos marinos se pueden emplear muestreadores específicos para tal fin denominados “sacatestigos”, siendo éste el método que menos perturba la muestra. La profundidad de penetración varía entre uno y dos metros en testigos de gravedad y entre dos y veinte me-

tros en el caso de testigos de percusión, (ver Figura 2. C, D). Las maniobras que involucran los diferentes equipos de muestreo son realizadas exclusivamente por el personal naval al mando del jefe de operaciones. La colección de la muestra está a cargo de los investigadores.



En el laboratorio...

Una vez en el laboratorio, se inicia el procesamiento de la muestra, que es variable según el objeto de estudio. La muestra tomada se divide por la mitad. Una mitad se guarda intacta como control (ver Figura 2.E). Para el estudio de foraminíferos, la muestra se lava bajo agua corriente a través de un tamiz para eliminar la fracción más fina del sedimento y se deja secar a temperatura ambiente de manera de no alterar la composición de los caparazones que se prevén recuperar para efectuar su estudio.

Una de las metodologías usadas para la extracción de los foraminíferos es por flotación con sustancias orgánicas. Si bien tiene la ventaja que el tiempo de preparación es menor, la preparación de la muestra es muy laboriosa y resulta poco eficiente ya que los foraminíferos más pesados no flotan y no pueden ser recuperados. Otro método utilizado es la extracción por entresacado bajo lupa binocular (ver Figura 3) con la ayuda de un delicado pincel. Este método, llamado *picking* (que en inglés significa recoger), insume muchísimo tiempo, ya que la extracción es manual. Pese a esto, se aplica esta metodología para poder extraer la totalidad de la microfauna presente y se evita alterar la composición del caparazón que será utilizado para otros análisis. Los individuos se ordenan por formas iguales, que representan las diferentes especies, en portamicrofósiles mediante un adhesivo apropiado.

Los organismos más representados en cada muestra se separan y se montan en un taco para ser observados e ilustrados con un microscopio electrónico de barrido (MEB). Estas ilustraciones tienen una gran utilidad en el momento de clasificar cada individuo. Es posible ver en ellas la forma del caparazón, detalles de la pared como porosidad y ornamentaciones. Estas características se comparan con descripciones detalladas e ilustraciones de otros individuos de la bibliografía específica y posibilitan así la determinación de los foraminíferos bajo análisis (ver Figura 4).

Utilización de foraminíferos como indicadores paleoecológicos

Los factores ambientales que afectan su distribución y desarrollo fueron extensamente analizados a mediados del siglo XX por el investigador Esteban Boltovskoy. Entre ellos, se encuentran la temperatura, la salinidad, el contenido de nutrientes, la profundidad, la composición y tamaño de grano, el contenido de oxígeno y el estado energético del sitio. No obstante, tal como se detalla en numerosos estudios, son los parámetros relacionados con la profundidad y el tipo de sedimento los factores que más afectan la distribución de estos microorganismos.

Los foraminíferos son particularmente sensibles a las variaciones ambientales, por tal motivo se los utiliza en estudios paleoambientales. El procedimiento paleoecológico consiste en realizar una evaluación

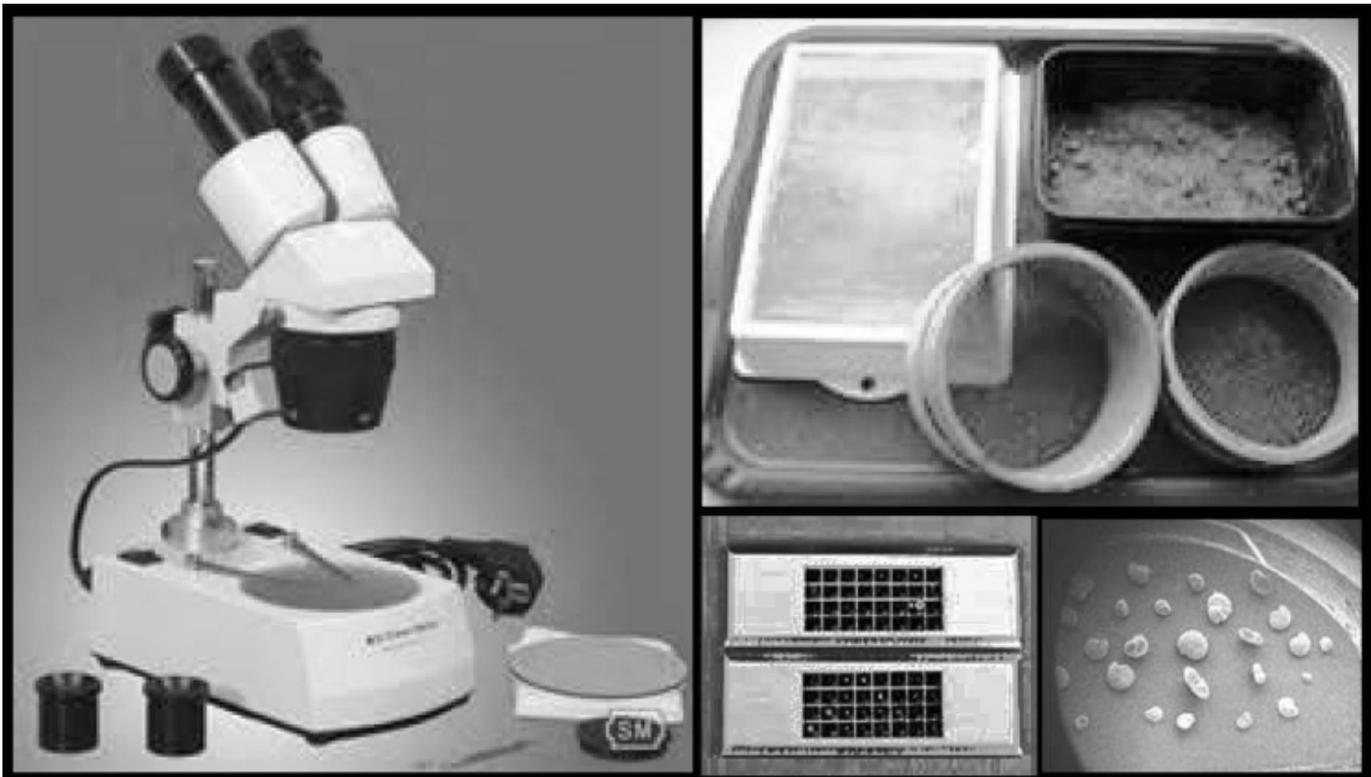


Imagen: E. Bernasconi

Figura 3. Instrumentos utilizados en la recuperación de microfósiles del sedimento: lupa, tamices y portamicrofósiles.



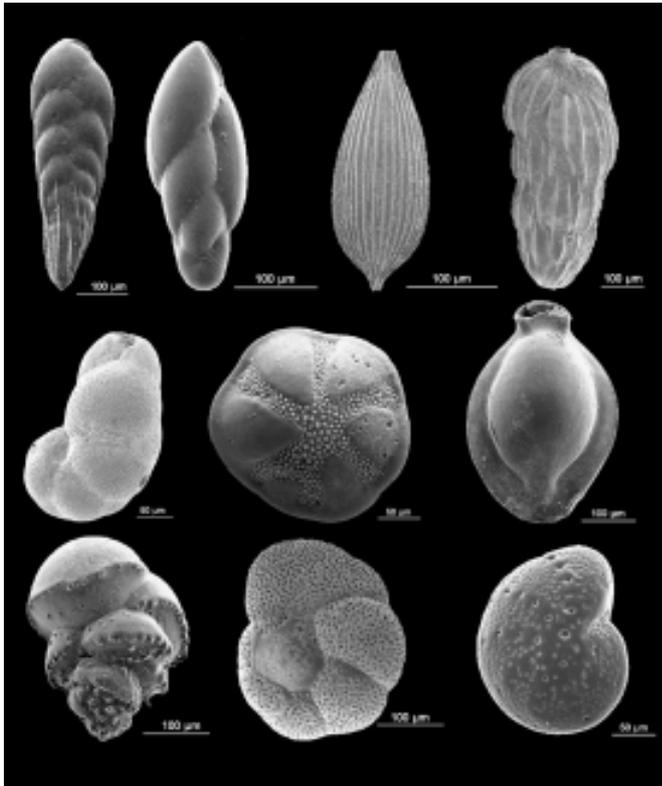


Figura 4. Algunos ejemplos de foraminíferos bentónicos correspondientes a diferentes ambientes de la plataforma continental argentina.

Fotografías de foraminíferos tomadas con el microscopio electrónico de barrido (MEB) del Centro Atómico Bariloche.

ecológica y ambiental a partir de la estimación de diversos parámetros e índices analizados por el reconocido científico John Murray. El más simple de estos índices es la abundancia, que viene dada por el número de individuos vivos presentes por unidad de volumen o el número de individuos fósiles por unidad de peso de sedimento y brinda información sobre la cantidad de ejemplares presentes en una muestra.

Otro índice es la diversidad, que es una medida de la heterogeneidad del sistema, siendo un parámetro muy útil en el estudio, descripción y comparación de distintas comunidades ecológicas, ya que es una expresión del reparto de recursos y energía. Mientras que a mayor diversidad, mayor es la estabilidad ecológica del ambiente, una drástica caída de la misma se observa en ambientes sometidos a estrés ambiental (por ejemplo la contaminación). El índice de diversidad de más sencilla aplicación es la diversidad específica que contabiliza el número de especies en la muestra y no toma en cuenta las proporciones de cada especie en la misma por lo que es bastante limitada. En cambio hay otros índices, como el índice de Shannon-Weaver o el índice alfa de Fisher, que consideran las proporciones de las especies presentes en la muestra.

La relación entre foraminíferos bentónicos y planctónicos presentes en una muestra se utiliza como otro índice paleoecológico. Los individuos con modo de vida bentónico se desarrollan ligados al sustrato distribuyéndose especialmente en la zona costera, mientras que los microorganismos con modo de vida planctónico son aquellos que se encuentran flotando libremente en la columna de agua resultando más

abundantes en zonas del talud continental y cuencas oceánicas. De este modo, el cociente entre individuos planctónicos e individuos bentónicos aumenta a mayor profundidad y mayor distancia de la costa.

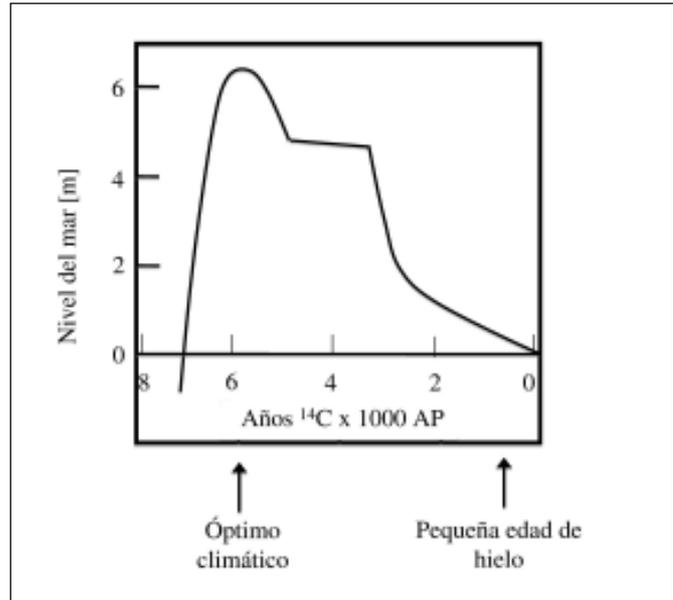
Por otra parte, se puede estimar los niveles de oxígeno mediante un índice basado en los foraminíferos bentónicos. Para ello, clasificamos los foraminíferos calcáreos recuperados en la muestra en tres grupos: disóxicos: con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0,1-0,3 ml/l), subóxicos: con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0,3-1,5 ml/l) y óxicos: con más altos niveles de oxígeno (mayor a 1,5 ml/l), tomando como base la relación entre sus características morfológicas específicas, los niveles de oxígeno y sus microhábitats. Los cambios en las concentraciones de oxígeno disuelto de la interfase agua-sedimento juegan un rol muy importante en el control de las poblaciones de los foraminíferos bentónicos y en sus características morfológicas, tales como las que se reflejan en el tamaño, espesor de la pared y porosidad del caparazón. Las diferencias morfológicas y taxonómicas han sido cuantificadas como un índice del oxígeno disuelto a partir de la correlación de faunas batiales (espacio oceánico comprendida entre los 200 y los 2000 m) y abisales (espacio oceánico entre 3000 y 6000 metros de profundidad) de los últimos diez mil años con los niveles del oxígeno disuelto. Este índice permite inferir las condiciones de oxigenación pasadas y presentes.

La relación entre individuos que viven en los primeros centímetros, dentro del sedimento (infaunales) y los que viven sobre el sedimento (epifaunales) está dada por el porcentaje de cada uno de estos tipos de microorganismos presentes en la muestra. Esta relación puede ser usada como indicadora del incremento del flujo de la materia orgánica en los sedimentos, debido a una alta proporción de ejemplares infaunales, lo cual sugiere un alto contenido de materia orgánica. Por otro lado, un predominio de formas epifaunales refleja escasez de materia orgánica, dado que la relación superficie / volumen en estas especies como así también la alta densidad de poros presentes en su ca-



Figura 5. Fluctuaciones del nivel del mar y eventos climáticos registrados durante el Holoceno.

Imagen modificada de Schnack y otros (2005).



parazón es interpretada como adaptaciones a condiciones de baja oxigenación.

Algunas especies de foraminíferos planctónicos constituyen también una herramienta muy útil como indicadores bioestratigráficos, debido a que tuvieron gran distribución en breves lapsos de tiempo geológicos. Sobre la base de su rápida evolución y amplia distribución geográfica se han diferenciado asociaciones que caracterizan determinadas edades y biozonas para el período que se extiende aproximadamente entre los 145 y 65,5 millones de años antes del presente (Cretácico) y para el lapso entre los últimos 65,5 millones de años hasta el presente (Cenozoico).

Asimismo, la dirección de enroscamiento de algunas especies planctónicas es muy utilizada en la determinación de paleotemperaturas ya que la dirección de enroscamiento está condicionada por la temperatura.

Por último, los foraminíferos bentónicos son de gran utilidad en paleoceanografía dado que se distribuyen en función de las propiedades de las distintas masas de agua, permitiendo caracterizarlas.

Utilización de indicadores radionucleicos • En la determinación de la edad de los sedimentos

La datación por radiocarbono es un método de fechado que utiliza el isótopo del carbono ^{14}C para la determinación de la edad de los sedimentos a partir del contenido de carbono en el sedimento o en los caparazones de foraminíferos. Actualmente hay diferentes técnicas para medir el contenido de radiocarbono en una muestra, siendo la espectrometría de masas con aceleradores (AMS) el método más moderno. Dado que cada isótopo de carbono tiene una masa distinta, es posible medir las concentraciones relativas de cada isótopo, requiriendo cantidades de muestras muy pequeñas de hasta un miligramo, para el análisis.

En el caso de extensas columnas sedimentarias es conveniente efectuar la mayor cantidad de dataciones, una por nivel. Si esto no es posible se trata de datar al menos base y techo de cada testigo. Las edades inter-

medias se determinan por interpolación de las dataciones medidas. Esta situación es la más frecuente debido a que los costos de cada datación radiocarbónica son altísimos y a que cada medición debe hacerse en el exterior por no haber aún un laboratorio que disponga de esa facilidad en nuestro país.

También podemos datar secuencias sedimentarias cortas que involucran lapsos de hasta 1000 años, la técnica de fechado que se puede utilizar es la medición del perfil de actividad específica de ^{210}Pb y ^{137}Cs . Para ello en general es necesario submuestrear la secuencia cada un centímetro. La medición de la actividad específica se realiza por espectrometría gamma de alta resolución. La masa de la muestra requerida para la medición, de 2 a 5 gramos, no se altera de forma alguna por lo que luego puede usarse para otros estudios.

• Los isótopos estables como bioindicadores

El estudio de las variaciones naturales de algunos isótopos estables constituye una herramienta útil en estudios ecológicos y paleoecológicos debido a que muchos de los procesos ecológicos están estrechamente relacionados con procesos de fraccionamiento isotópico.

Las determinaciones de las relaciones isotópicas de los elementos carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) y oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) pueden realizarse en todo tipo de materiales: sólidos, líquidos y gaseosos. Se han efectuado numerosos estudios usando asociaciones de foraminíferos bentónicos e isótopos estables de oxígeno y carbono para determinar paleotemperaturas, paleosalinidad y cambios en la paleocirculación de los océanos.



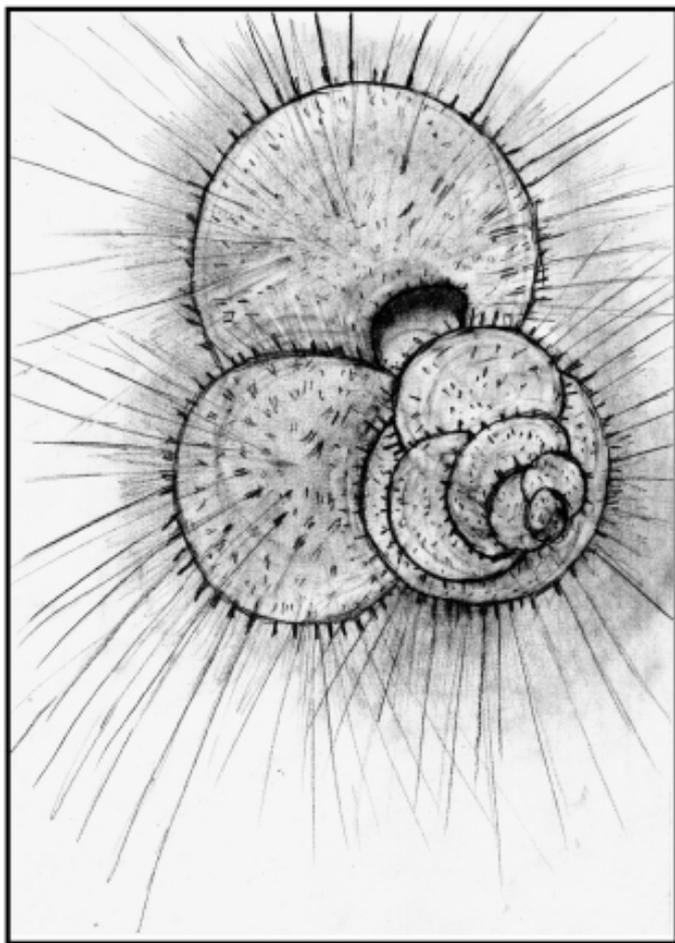


Figura 6. Dibujo esquemático de un foraminífero planctónico donde se pueden observar las extensiones de citoplasma y el tamaño creciente de las cámaras.

Dibujo: E. Bernasconi

• Indicadores de contaminación

Las deformaciones morfológicas observables en los caparazones de los foraminíferos pueden deberse a daños mecánicos o a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, un aumento de la temperatura, un alto o bajo nivel de salinidad e insuficiente presencia de luz influyen en el tamaño del caparazón y las proporciones de determinadas especies en la muestra. Del mismo modo, la falta de concentración de alimento llevaría al crecimiento errático de las cámaras y afectaría su tamaño; el tipo de sustrato incidiría en la forma; una disminución en el contenido de oxígeno disuelto ocasionaría formas aberrantes y menos ornamentadas. Si bien dichas anomalías se vinculan a cambios en las condiciones ambientales, también podrían ser provocadas por contaminación de los ambientes marinos ya que los caparazones son altamente sensibles a la exposición a metales pesados. La acumulación de metales sería tóxica para varias formas de vida, pudiendo ser el resultado de la combinación de procesos naturales o de actividades humanas. En forma análoga, los sedimentos registran la acumulación temporal o histórica de esos metales por lo que el estudio de la concentración de los mismos permite documentar la creciente y cada vez más compleja actividad humana y su impacto sobre el ambiente. El conocimiento de la biología de los foraminíferos ha demostrado que dichos individuos poseen un gran potencial como indicadores de polución convirtiéndose en importantes marcadores de alteraciones en el medio ambiente.

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de la composición de elementos podemos utilizar técnicas de interacción de iones con la materia, las cuales tienen sensibilidad para suministrar la composición en concentraciones superiores a pocas partes por millón. Estas técnicas requieren que usemos aceleradores electrostáticos como el acelerador Tandem disponible en el Centro Atómico Bariloche. Con dicho equipamiento se pueden obtener concentraciones absolutas de los elementos mediante el uso de diversas técnicas tales como la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE) y la retrodispersión de Rutherford (RBS). La técnica PIXE permite identificar elementos y su abundancia relativa a través del análisis de los rayos X producidos por haces de iones incidentes sobre una muestra. Esta técnica se aplica además en muestras biomédicas, cerámicas, productos de petróleo, estudios de contaminación, medicina forense, etc. Por otro lado, el RBS permite obtener perfiles de densidad y profundidad de localización de elementos. Ambas técnicas pueden combinarse para lograr una mayor sensibilidad en las determinaciones.

Variaciones climáticas en la plataforma continental argentina: nuestros aportes

En general, las evidencias geológicas y paleontológicas han permitido reconstruir los cambios climáticos ocurridos en el pasado geológico. Estos cambios se evidenciaron con una serie de ascensos y descensos del nivel del mar hasta llegar a la configuración actual de la línea de costa. El geólogo Enrique Schnack y sus colaboradores lograron reunir la información sobre esta temática que documenta un ascenso progresivo del nivel del mar entre los 9750 y 8200 años antes del presente (A.P.). En su ascenso, el nivel del mar habría pasado por el nivel actual (cota de 0 m) cerca de los 7000 años A.P. llegando posteriormente a su máxima posición de +6,5 m, a los 6000 años. A partir de allí, en diferentes lugares del ámbito del Río de la Plata, se produjo un descenso del nivel del mar hasta llegar nuevamente al nivel actual (ver Figura 5). Por otra parte, se propusieron sucesivas oscilaciones



Foraminíferos

Los foraminíferos están constituidos por una sola célula y poseen un caparazón secretado de carbonato de calcio o bien aglutinado por partículas, sean de minerales o por fragmentos orgánicos de otros microorganismos. El caparazón está conformado por una única cámara o por varias cámaras delimitadas entre sí por un septo o tabique, disponiéndose de acuerdo con un patrón definido conocido como patrón de enroscamiento. A medida que cada individuo se desarrolla y crece migra a la última cámara que es a la vez la más grande (ver Figura 6). El caparazón posee una o más aberturas por donde deja salir el citoplasma en forma de pseudópodos con función por ejemplo de alimentación. Habitan todos los mares, desde las zonas litorales (hipo o hipersalinas) hasta los fondos oceánicos y desde el trópico hasta los fríos océanos Ártico y Antártico por lo que son fáciles de encontrar.

La gran mayoría de los foraminíferos bentónicos tiene capacidad de locomoción, aunque algunos pueden ser sésiles y fijarse al sustrato. Por lo general toleran pequeñas variaciones de salinidad de las aguas, sin embargo algunas especies desarrollan adaptaciones a mayores variaciones de las concentraciones de sal y otros factores ambientales. Los foraminíferos planctónicos son mucho menos diversos que los bentónicos y habitan en la zona donde la radiación solar produce la máxima concentración de fitoplancton (10-50 m de profundidad), que es su fuente principal de alimento. La localización batimétrica de las diferentes especies de foraminíferos planctónicos se mantiene bastante estable en todos los océanos. Son depredadores muy activos, que emplean sus extensiones de citoplasma para capturar el alimento, muchas especies depredan incluso otros foraminíferos.

negativas a los 6300, 4200 y 2400 años A.P. que se correlacionaron con importantes cambios ambientales a escala global. Estas variaciones climáticas habrían afectado la distribución de la fauna no sólo en ambientes marinos sino también en el ambiente continental.

Las variaciones del nivel del mar ocurridas durante el Holoceno en la costa de la República Argentina han sido establecidas sobre la base de distintos indicadores entre los que se encuentran los foraminíferos. Los avances en el conocimiento de los foraminíferos de la pla-

Buque Puerto Deseado Q-20

Esta embarcación posee grandes dimensiones, 76,8 m de eslora, 15,8 m de manga y 3,5 m de calado. Su desplazamiento alcanza una autonomía de 12000 millas náuticas a 12 nudos y a plena carga de 12000 toneladas (ver Figura 7 y citas sugeridas).

El Buque Puerto Deseado fue fabricado en Argentina con financiamiento del Conicet. Fue equipado con laboratorios con el fin de destinarlo a la investigación científica en el mar argentino. Fue puesto por primera vez en el agua en diciembre de 1976 aunque las pruebas de equipos se realizaron a fines de 1978.

Dicho buque tuvo diversas tareas durante la Guerra de Malvinas. Por ejemplo, se lo utilizó como unidad de tareas de control del tránsito marítimo en el Río de la Plata. En 1984 obtuvo su pabellón de guerra donado por la ciudad de Puerto Deseado, Santa Cruz siendo más tarde designado buque Hospital. En el año 2003 participó en la infructuosa búsqueda del buque ARA General Belgrano.

El buque cuenta con un sistema batimétrico de sondas hidrográficas de precisión con entrada de señales auxiliares de GPS diferencial, girocompás, señal del batitermógrafo. Los movimientos de cabeceo y rolido del buque se encuentran estabilizados por acelerómetros generadores de parámetros de corrección. También posee un sistema informático que permite ir adquiriendo y procesando datos sísmicos, de profundidad oceánica (batimétricos), variaciones en la gravedad (gravimétricos) y el efecto de ciertos tipos de minerales que alcanzan a perturbar el campo magnético terrestre (magnetométricos) relevados en forma simultánea. El buque utilizó este nuevo sistema para completar el registro de los datos necesarios para la elaboración de la propuesta definitiva del límite exterior que nuestro país presentó ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar (CONVEMAR). Este sistema fue adquirido a través de la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA) y el Servicio de Hidrografía Naval. Durante las pruebas del sistema, se realizaron relevamientos batimétricos programados en el talud del margen continental argentino, superando los 5200 metros de profundidad con excelente precisión en los datos obtenidos por la sonda para el estudio del lecho.

Actualmente, el buque se mantiene realizando diversas navegaciones científicas, apoyando además las campañas antárticas de verano. El equipamiento científico incluye una gran variedad de equipos y un laboratorio geológico para cumplir tareas en el estudio sistemático del mar y sus recursos, junto con programas cooperativos de investigación.



Foto: E. Bernasconi



Figura 7. Buque oceanográfico "Puerto Deseado Q-20", CONICET.

taforma continental argentina han permitido a este grupo de investigación lograr interpretaciones paleoecológicas y paleoclimáticas más ajustadas del ambiente marino pasado a escala global.

Por un lado, a partir del análisis de foraminíferos correspondientes a ambientes con circulación oceánica restringida, como lo es el golfo Nuevo (situado al norte de la Península Valdés), se pudieron reconocer las condiciones de paleocirculación mediante la determinación de los niveles de oxígeno disuelto. En estos sedimentos se registraron evidencias de un incremento de la temperatura hace 6000 años (cambio climático conocido como el "Óptimo Climático"), como así también de un desmejoramiento del clima o descenso de la temperatura (cambio climático conocido como "Pequeña Edad de Hielo"). Estas variaciones climáticas se correlacionaron con diferentes eventos climáticos reconocidos a escala global o mundial durante los últimos 10000 años (Holoceno).

Análogamente, si se analizan los foraminíferos bentónicos provenientes de testigos de fondo de un sector de la plataforma con libre circulación oceánica, se observan cambios en las condiciones paleoclimáticas relacionadas con un ascenso del nivel del mar ocurrido 9000 años atrás. Los aportes de estos trabajos contribuyeron, desde el punto de vista micropaleontológico, al mayor conocimiento de nuestra plataforma derivando en la primera tesis de doctorado en Micropaleontología de la Universidad Nacional del Comahue, realizada por la autora.

Posteriormente, conjuntamente con otros colegas, se examinaron las relaciones existentes entre la morfología de los caparazones de los foraminíferos bentónicos y los factores ambientales (ecológicos, sedimentológicos, físicos y químicos) que controlan su distribución geográfica logrando diferenciar y caracterizar diferentes masas de agua.

La necesidad de contar con múltiples fuentes y métodos para conocer la historia del pasado marino

Todo lo expuesto pone de manifiesto la gran diversidad de metodologías, técnicas e instrumental necesarios para el estudio del ecosistema marino. La gran complejidad en la ejecución de esta tarea se refleja especialmente en la interacción de varias ramas de la ciencia, tales como la biología, geología, oceanografía, por mencionar solo algunas. Por ello, se requiere de un enfoque multidisciplinario para la realización de este tipo de análisis haciéndose imprescindible recurrir a las fuentes, es decir a los lugares donde existen esas facilidades o incluso se desarrollan dichas técnicas. Esto es posible mediante la interacción o cooperación mutua con diferentes instituciones que ayudan a enriquecer la investigación.



Glosario

- Actividad específica:** es el número medio de transformaciones nucleares espontáneas de una determinada cantidad de radionucleido que se producen por unidad de tiempo.
- Batimetría:** es el estudio de las profundidades oceánicas mediante la realización de mapas en los que se trazan curvas que unen los puntos de igual profundidad marina.
- Bentónicos:** grupos de organismos que viven en contacto o relacionados al fondo marino.
- Bioestratigrafía:** es la rama de la Estratigrafía que ordena las unidades litológicas en relación con su contenido de fósiles.
- Biota:** se denomina así al conjunto de organismos que habitan un sitio ya sean plantas o animales.
- Especificidad ambiental:** preferencia ecológica que poseen los organismos y que determinan su distribución.
- Estratigrafía:** es la rama de la ciencia que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y de la identificación y descripción de las secuencias tanto vertical como horizontalmente.
- Foraminíferos:** son organismos compuestos por una sola célula que forman un caparazón y viven casi exclusivamente en ambientes marinos.
- Holoceno:** es una división de la escala temporal geológica que corresponde a la última época geológica del Período Cuaternario que abarca aproximadamente los últimos 11700 años hasta la actualidad.
- Indicadores biológicos:** son atributos de los ecosistemas que se emplean para inferir los factores del ambiente en el que se encuentran.
- Isótopos estables:** es una palabra de origen griego donde "iso" significa mismo y "topo" significa lugar. Se los llama así a los átomos de un mismo elemento que poseen diferente cantidad de neutrones y por lo tanto difieren en cantidad de masa. Los isótopos estables son los que no se desintegran para dar lugar a otros nucleidos emitiendo partículas o radiación electromagnética.
- Microhabitat:** es la parte más reducida de un ecosistema que contiene una flora y una fauna distintiva.
- Nanofósiles:** se denomina así a un grupo de fósiles de origen calcáreo constituido por diversos organismos y de tamaño extremadamente reducido.
- Ostrácodos:** son pequeños crustáceos formados por un cuerpo blando y dos valvas que pueden vivir tanto en agua dulce como en agua salada.
- Paleoclima:** es una palabra de origen griego compuesta por las palabras «paleo» que significa pasado y antiguo y clima que hace referencia a las con-

diciones atmosféricas propias de una región. Es decir, se trata del estudio de los climas sucedidos en el pasado.

Paleocirculación: se refiere a las condiciones de circulación de los cuerpos de agua marinos o de agua dulce que prevalecieron en el pasado geológico.

Paleoecología: hace referencia al análisis o estudio de los ecosistemas desarrollados en el pasado geológico.

Paleoceanografía: se ocupa del estudio de las condiciones oceanográficas predominantes en el pasado geológico.

Paleotemperaturas: hace referencia a las condiciones de temperatura reinantes en el pasado geológico.

Planctónicos: son aquellos organismos que viven en suspensión en la columna de agua.

Talud continental: corresponde a una región submarina de la plataforma continental ubicada entre los 200 y los 4000 metros bajo el nivel del mar.

Termosalinógrafo: es un aparato que sirve para tomar datos de temperatura, salinidad y conductividad.

Lecturas sugeridas

Boltovskoy, E. (1963). Foraminíferos y sus relaciones con el medio. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Hidrobiología*, 1 (2), pp. 21-107.

Náñez, C. y Malumián, N. (2008). Foraminiferida. En H. Camacho y M. Longobucco (Eds.), *Los invertebrados fósiles*. Vázquez Mazzini Ed., pp. 65-100.

Schnack, E., Isla, F., De Francesco, F. y Fucks, E. (2005). Estratigrafía del cuaternario marino tardío en la provincia de Buenos Aires. En R.E. Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. La Plata: Relatorio 16º Congreso Geológico Argentino*, 10, pp. 159-182.

Foraminíferos Bentónicos: En URL: <https://sites.google.com/site/foraminiferosbentonicos/>
Buque Oceanográfico Puerto Deseado: En URL: <https://ara.mil.ar/>

