



OKEANOS

Revista de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

Nº 3 julio-diciembre 2016

ISSN: 2444-4758
P.V.P. 4,00 €

Ártico

En la frontera
del conocimiento

El puzzle del Mercurio en el Ártico

El uso de isótopos radiogénicos y radioactivos naturales

El programa de investigación internacional GEOTRACES

Descifrando partículas en el Ártico

Editorial

Fotografía de portada:

Un oso polar bebiendo agua en el Ártico
(Stefan Hendricks)

Foto: Mario Hoppmann

En esta nueva etapa de *Okeanos* serviremos de plataforma a las investigaciones que se han realizado a bordo del buque alemán de investigación (R/V) *Polarstern* en el Océano Ártico Central. Casi en exclusiva navegaremos por este cada vez menos helado océano septentrional de la mano de investigadores de diversos países.

El Océano Ártico, aunque cubierto en su mayor parte por una capa de hielo (banquisa), juega un papel preponderante sobre el clima del planeta, al tiempo que recibe en su cuenca alrededor del 10% del agua dulce vertida por los ríos mundiales. Además, en los suelos helados continentales (permafrost) que rodean a este Océano se mantiene almacenado aproximadamente el 30% del carbono del suelo mundial. No obstante, la banquisa está sufriendo una importante regresión en su tamaño consecuencia del deshielo provocado por el progresivo calentamiento que está sufriendo el planeta a lo largo del último siglo. Su extensión mínima ha disminuido en más del 25% durante los últimos nueve años, lo que ha puesto en alerta a la comunidad científica internacional por las consecuencias que esto puede tener no sólo en la vida en esta región polar sino para el clima de la Tierra en su conjunto.

El Ártico, a pesar de su aspecto, es un ecosistema rebosante de vida, que da cobijo a algunos de los seres más sorprendentes y desconocidos para la ciencia, capaces de vivir a temperaturas extremadamente bajas, entre las que se encuentran muchas comunidades de microorganismos, peces, mamíferos marinos, aves, y también algunas pequeñas sociedades humanas. Es un lugar único en la Tierra, que está sufriendo una de las transformaciones más rápidas y dramáticas que se conocen, cuyas consecuencias globales no somos aún capaces de evaluar con nitidez. Este océano helado juega un papel importante en el balance físico, químico y biológico del resto de los océanos, pero que es altamente sensible a los cambios del clima, actuando como un sistema de alerta temprana. Aunque su principal problema es el deshielo (tanto de la banquisa como de la capa de hielo de Groenlandia), el Ártico encierra otros muchos problemas en sus aguas y bajo de ellas, más allá de los propiamente técnicos asociados a la obtención de los minerales y reservas de combustibles fósiles que existen en su cuenca, o de los recursos pesqueros del entorno.

En 2015, dentro del programa GEOTRACES (Programa Internacional para el Estudio de los Ciclos Biogeoquímicos de los Elementos Traza y sus Isótopos en el Mar en el que intervienen más de 30 países; www.geotraces.org) se puso en marcha una importante campaña de investigación sobre los elementos traza (sustancias que se encuentran en muy bajas concentraciones) en el océano Ártico. Muchos elementos traza son críticos para la vida marina y, por tanto, vitales para el funcionamiento del metabolismo de las especies, de los ecosistemas oceánicos y en el ciclo del carbono. Algunos de estos elementos también son considerados contaminantes, mientras que otros son importantes ya que permiten conocer el papel que han jugado los océanos en la evolución del clima a lo largo de la historia del planeta.

El estudio de los elementos traza contenidos en los sedimentos marinos, corales, masas de agua, etc. permitirá entender las condiciones de los océanos en el pasado, lo cual será fundamental para desarrollar modelos climáticos y predecir los efectos del cambio climático en el futuro. Sin embargo, y a pesar de la importancia de estos elementos traza, se conoce muy poco sobre ellos, su origen, sumideros, sus ciclos y especiación química.

Por otra parte, en este número de *Okeanos* rendiremos un merecido reconocimiento a la Dra. Aida Fernández, una de las referencias nacionales e internacionales en la investigación del papel del CO₂ en la química del mar. También recordaremos la primera incursión científica de un español en el Círculo Polar Ártico, la expedición liderada por el príncipe Luis Amadeo de Saboya en 1899. Además, en nuestra sección de monstruos marinos haremos un pequeño repaso por las leyendas que han rodeado al mítico Kraken, el calamar gigante que ha aterrorizado a miles de navegantes a lo largo de la historia.

Es nuestro deseo que la selección de trabajo que componen este número de *Okeanos* enganche su curiosidad y sirva para ayudar a entender un poco más lo que está pasando en nuestros océanos, y por donde circulan actualmente las ciencias marinas. Es el propósito de la tripulación de esta nave que tengan una buena estancia a bordo.

- 04** La importancia del Océano Ártico en la especiación de los metales traza. Aridane G. González y Geraldine Sarthou.
- 08** El uso de isótopos radiogénicos y radioactivos naturales. Sandra Gdaniec y Ronja Paffrath
- 12** El puzle del Mercurio en el Ártico. Lars-Eric Heimbürger.
- 15** **OBITUARIO.** Aida Fernández Ríos. Aridane G. González.
- 16** **ENTREVISTA:** Dr. Michiel van der Loeff. Aridane G. González.
- 20** **ENTREVISTA:** Profesora y doctora Ursula Schauer. Aridane G. González.
- 22** El programa de investigación internacional GEOTRACES. Elena Masferrer Doda, Jordi García-Orell y Aridane González.
- 26** **EFEMÉRIDES**
- 27** **MONSTRUOS MARINOS (2):** El kraken. José J. Castro Hernández y Luis Felipe López Jurado.
- 29** **OKEANOS DE FOTOS.** Mario Hoppmann
- 30** Descifrando partículas en el Ártico (Helen Plaqueette, Aridane G. González y Ewan Pelleter)
- 32** Sistema de Observación del Hielo y la Atmósfera en el Océano Ártico, 2011-2019. Provost C., Pelon J., Sennéchaël N., Villaceros-Robineau N., Savy J.P., Koenig Z., Mariage V., Calzas M. y Guillot A.
- 36** ¿Por qué nos importa un Ártico dulce? Benjamin Rabe
- 40** Metales traza. Del Big Bang al Océano Ártico. Micha J.A., Rijkenberg, Loes J.A. Gerringa y Hans A. Slagter.
- 45** **OKEANOS DE FOTOS.** Mario Hoppmann y Stefan Hendricks.
- 48** Ciclo del metano. Un gas de efecto invernadero, en el hielo marino y agua de mar. Christiane Uhlig, Elena Vinogradova y Ellen Damm.
- 52** Aumento de las existencias de carbono en el Océano Ártico Central. Adam Ulfsoy y Elizabeth Jones.
- 58** **NOTICIAS DE AVANCES EN CIENCIAS MARINAS**
- 60** Buscando a Dory, otra amenaza para la sobrepesca del pez cirujano regal. Airam N. Sarmiento Lezcano
- 64** El primer documento gráfico del comportamiento agregatorio de los peces bajo objetos. Ana Teresa Santana Ortega.
- 64** **AGENDA SAO.**
- 62** **BIBLIOGRAFÍA**
- 64** 2ª Edición del Proyecto *Un Mar de Ciencias*.
- 65** Galardones Océanos 2016.
- 66** Prácticas de Ciencias 2016.

Dirección: José Juan Castro

Coordinador responsable: Alexandre Redondo

Coordinadores de la sección de Artículos de divulgación: Germán Rodríguez, Aridane González, Pilar García, Juan Francisco Betancort y Jesús Martínez Martínez. **Coordinador de las secciones de Personajes/Efemérides y Agenda:** José Juan Castro. **Coordinador de la sección bibliografía y fuentes de información:** Jorge A. Liria. **Material fotográfico:** Aketza Herrero Barrencia y Yeray Pérez González. **Traducción de Inglés a Español:** Aridane G. González y José Juan Castro. **Mantenimiento web de la Revista:** Francisco José Machín Jiménez. **Maquetación y cuidado de la edición:** Jorge A. Liria.

Edición papel y online: Mercurio Editorial

Correo electrónico: sao.oceanos@gmail.com

Teléfono: (+34) 928 454 549.

Depósito Legal: GC 639 2015. **ISSN:** 2444-4758.

Editado en Las Palmas de Gran Canaria
(Islas Canarias – España)

www.mercurioeditorial.com



Foto: Mario Hoppmann.

La importancia del Océano Ártico en la especiación de los metales traza

Aridane G. González y Geraldine Sarthou

LEMAR-UMR 6539, CNRS-UBO-IRD-IFREMER, Plouzané, Francia

Los metales traza en el océano

Los metales traza, aquellos que están en muy baja concentración como el hierro (Fe) o el cobre (Cu), están principalmente unidos orgánicamente con compuestos que se pueden producir a través de la actividad fitoplanctónica. Esta fracción significa alrededor del 99% del Fe o Cu disuelto en agua de mar. Ambos metales están presentes en el agua de mar en dos estados de oxidación (Figura 1), Fe(II) y Fe(III), Cu(I) y Cu(II), donde la especie termodinámicamente más estable es la especie oxidada, que además es la más insoluble en agua de mar.

¿Cómo se puede encontrar Fe(II) y Cu(I) en agua de mar?

Generalmente, estas especies se pueden encontrar en las zonas con actividad biológica, la zona más superficial del océano, debido al papel de los ligandos orgánicos, donde, por ejemplo, el Fe(II) se puede producir a partir de la reducción de Fe(III) por medio de su reacción con los compuestos orgánicos presentes en el agua de mar. Ahora bien, la materia orgánica presente en el agua superficial, también puede sufrir foto-oxidación, produciendo radicales li-

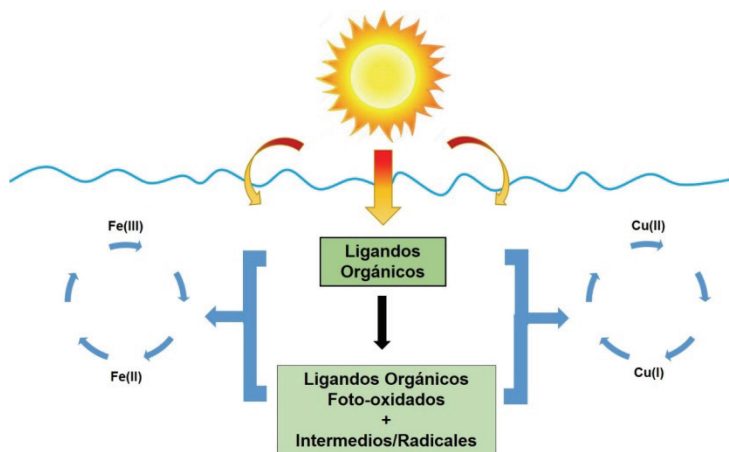


Fig. 1. Esquema simplificado del ciclo biogeoquímico del Fe y del Cu.

bres que pueden provocar la reducción del Fe(III) a Fe(II). Este mismo mecanismo ocurre para el Cu(II) y se muestra de forma resumida en la Figura 1.

¿Por qué se estudian el Fe y el Cu en agua de mar?

La diferencia más importante entre el Fe y el Cu es su papel biológico como metal esencial. El Fe, como bien se sabe, es un metal necesario para el crecimiento fitoplanctónico. El Cu, juega un doble papel,

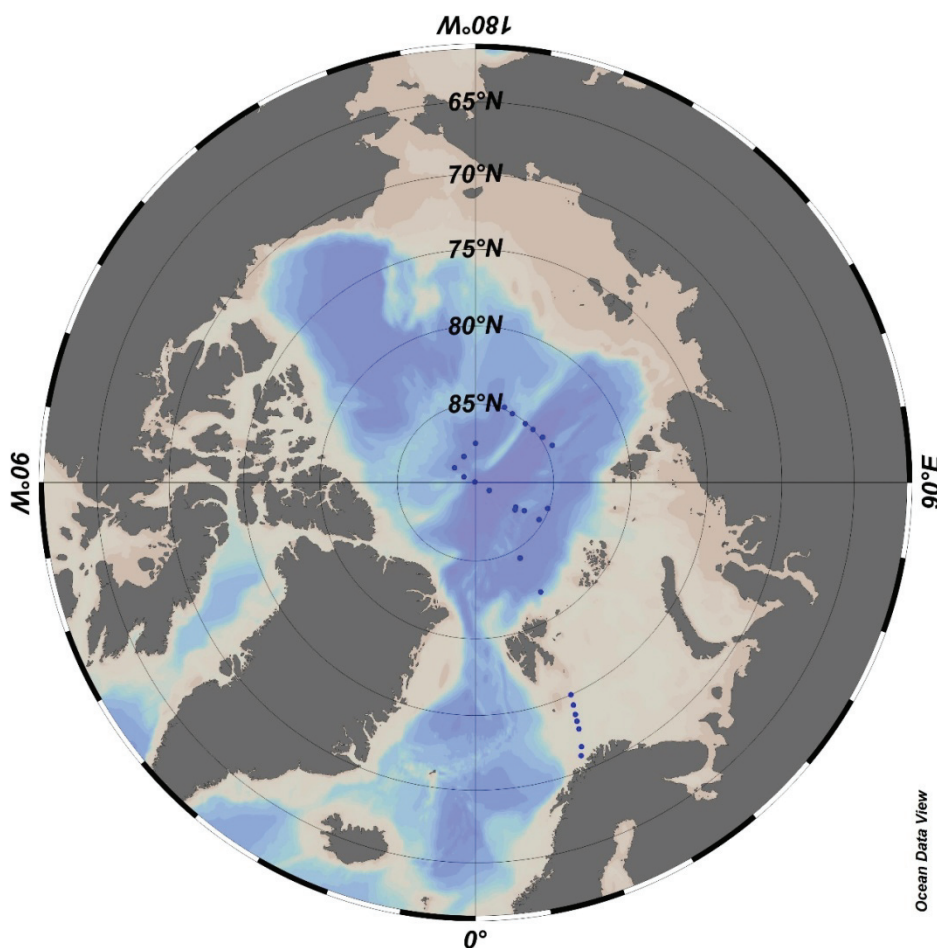


Fig. 2. Mapa de estaciones muestradas para estudiar la especiación orgánica de Cu durante la campaña TransArc II a bordo del R/V Polarstern.

La diferencia más importante entre el Fe y el Cu es su papel biológico como metal esencial. El Fe es un metal necesario para el crecimiento fitoplanctónico. El Cu, juega un doble papel, es un metal esencial ya que participa en un montón de reacciones metabólicas esenciales, pero a altas concentraciones el Cu es tóxico, especialmente cuando está libre en agua de mar.

es un metal esencial ya que participa en un montón de reacciones metabólicas esenciales, pero a altas concentraciones el Cu es tóxico, especialmente cuando está libre en agua de mar. De ahí la importancia de los ligandos orgánicos, que juegan un papel importante según el metal que necesiten. Los microorganismos pueden producir ligandos orgánicos para mantener Fe y Cu en disolución, de forma que puedan adquirirlo de forma progresiva, pero también pueden generar diversos compuestos para disminuir la toxicidad del Cu, en su caso. Recientemente, un el grupo QUIMA de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha publicado los perfiles polifenólicos de microalgas marinas expuestas a Fe y Cu^{1,2}. En esos estudios se demuestra que las células fitoplanctónicas son capaces de producir diversos tipos de compuestos que les ayuden a permanecer con vida el mayor tiempo posible. Además, en nuestro laboratorio, estamos realizando estudios de incubaciones naturales a concentraciones de Fe y Cu muy bajas, donde se demuestran los efectos de dichos metales sobre las poblaciones naturales de microorganismos, como sus efectos en la química de ambos metales.

Importancia del Ártico en la especiación de metales

El Ártico es un océano único en el mundo, con una cobertura de hielo amplia y dinámica que se forma cada invierno y que sufre un fuerte deshielo cada verano. Además, el Ártico recibe un gran aporte de aguas dulces provenientes de los ríos, principalmente de Rusia, cargada de materia orgánica. Esta materia orgánica tiene una alta capacidad de unir (complejar) metales traza, y puede ser transportada por todo el Ártico. El deshielo provoca que gran parte de esta materia orgánica se transporte en superficie, pero a su vez, como es menos densa, permanece en superficie en estado líquido lo cual hace que sufra foto-oxidación y, por lo tanto, pueda afectar a la química de los metales traza.

Por otro lado, en la masa de hielo habitan una gran variedad de microorganismos, desde algas a bacterias, generando una cantidad importante de compuestos orgánicos que una vez el hielo se derrite pasa al agua superficial y, por lo tanto, deben influir en el ciclo biogeoquímico de los metales traza.

Además de la zona central del Ártico, dada la complejidad para acceder a ella, es una de las áreas me-

nos conocidas de los océanos mundiales, por lo que es altamente necesario el estudiar perfiles y secciones de alta resolución de especiación de metales traza para conocer, y definir, los ciclos biogeoquímicos a nivel global de estos elementos. También es importante seguir la entrada y salida de metales entre el Atlántico y el Ártico. En este sentido, la influencia del deshielo, consecuencia del cambio climático producido por la actividad humana, hacen que los estudios realizados en la zona ártica sean muy importantes.

Nuestro papel en la campaña oceanográfica TransArc II

En esta campaña oceanográfica, teníamos como objetivo estudiar la especiación de Cu en la columna de agua. De esta forma, podemos conocer la concentración de Cu y la concentración de ligandos orgánicos afines al Cu, tal como las constantes de equilibrio que determinan las reacciones químicas entre el Cu y dichos ligandos orgánicos para todo el océano Ártico Central. En esta campaña oceanográfica, a bordo del R/V Polarstern, realizamos un número importante de estaciones desde el norte de Noruega hasta el Ártico central, donde todas las estaciones se pueden ver detalladas en la Figura 2.

Además, durante esta campaña, recolectamos un volumen de muestra tan importante que podremos tener perfiles y secciones de alta resolución. Por otro lado, también recogimos muestras de hielo, de hielo sucio (el sedimento congelado que deriva por el Ártico), con lo que podemos conocer la química del Cu en los distintas zonas del océano Ártico. El trabajo a bordo es importante, ya que la toma de muestras de metales traza siempre es un gran reto, debido a las bajas concentraciones en agua de mar. Una vez desembarcados comienza una ardua tarea para realizar todas las medidas y el procesamiento de datos, de tal forma que se puedan asegurar la calidad de los datos y la rigurosidad de dichos análisis. Estos análisis se están realizando en el LEMAR (Laboratoire des sciences de l'environnement marin) de Brest (Francia).

En nuestro caso, es importante agradecer a la tripulación del R/V Polarstern por su labor, a los investigadores de abordaje por la gran dedicación durante la campaña, como a los que contribuyeron a que este proyecto se llevara a cabo. En nuestro caso, queremos agradecer también al programa LabexMer (ANR-10-LABX-19-01).

Bibliografía

- (1) Rico, M., A. López, J.M. Santana-Casiano, A.G. González y M. González-Dávila, M. (2013). *Limnol. Oceanogr.*, 58(1):144-152.
- (2) López, A., M. Rico, J.M. Santana-Casiano, A.G. González y M. González-Dávila. (2015). *Env. Sci. Poll. Res.*, 22(19):14820-14828.



El día a día de OKEANOS
lo encontrarás en Facebook
(www.facebook.com/revistaokeanos)



Ya puedes descargarte gratis los
números 1 y 2 de nuestra revista
desde la página web de la editorial:
www.mercurioeditorial.com



www.oceanografialitoral.com

INNOVA

oceanografía litoral

**Suministro, instalación y mantenimiento
de instrumental de medida oceanográfico**

ALBATROS MARINE TECHNOLOGIES, AQUATEC GROUP LTD, CADDEN,
CONTROS, DATAWELL BV, HELZEL MESSTECHNIK GMBH, INNOVA,
KC-DENMARK A/S, NORTEK A/S, OCEANSCAN, RADAC BV,
ROCKLAND SCIENTIFIC, SAIV A/S, SEA&SUN TECHNOLOGY, SEAPPOINT INC,
TELEDYNE BENTHOS, TELEDYNE GAVIA, TELEDYNE WEBB RESEARCH, ZEBRA-TECH

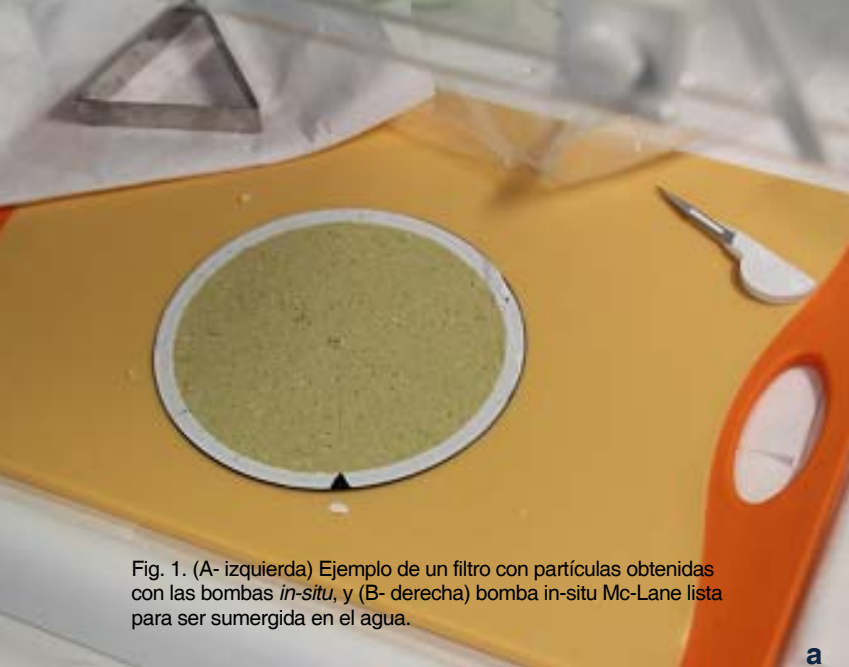


Fig. 1. (A- izquierda) Ejemplo de un filtro con partículas obtenidas con las bombas *in-situ*, y (B- derecha) bomba *in-situ* Mc-Lane lista para ser sumergida en el agua.



El uso de isótopos radiogénicos y radioactivos naturales

como trazadores de la dinámica de las partículas y biogeoquímica del Ártico

Sandra Gdaniec¹ y Ronja Paffrath²

¹Laboratorio para la Geología de Isótopos, Museo Sueco de Historia Natural, Estocolmo, Suecia.

²Grupo de Investigación en la Geoquímica de Isótopos Marinos Max Planck, Instituto para la Química y Biología del Medioambiente Marino (ICBM), Universidad de Oldenburg, Alemania.

En los próximos años, los cambios importantes que se están produciendo en la cubierta de hielo marino y en los aportes de agua dulce influirán en el ciclo y el transporte de carbono, nutrientes y elementos traza en el océano Ártico. Uno de nuestros objetivos para esta expedición de investigación fue obtener muestras que proporcionarían información sobre el transporte de partículas desde las áreas neríticas del Ártico eurasiático hacia las cuencas profundas del Ártico Central. El estudio de los procesos que controlan el destino de los elementos traza en el océano es crucial

para entender los ciclos biogeoquímicos de estos elementos tan importantes. Con la ayuda de trazadores isotópicos como el torio (Th) y neodimio (Nd), se puede responder a algunas de las preguntas que se plantean sobre las distribuciones de las partículas y los ciclos biogeoquímicos en el océano Ártico.

El papel de las partículas en la biogeoquímica del Océano Ártico

Prácticamente todos los elementos químicos de origen natural han sido detectados en el agua de mar.

Fig. 2. (A) Hielo sucio visto desde la cubierta de trabajo del R/V *Polarstern*, y (B) muestreo del hielo sucio con un cubo de plástico y una vara.



Mientras que algunos elementos se han ido acumulando con el tiempo a altas concentraciones, otros se encuentran sólo en cantidades traza. Esto es debido a las diferencias en su comportamiento biogeoquímico en los océanos. Algunos de estos elementos traza (e.g., el hierro) también son micronutrientes, necesarios para mantener sanos los ecosistemas marinos y tienen el potencial para controlar la composición de especies del plancton y la productividad. Una vez introducidos en los océanos, muchos elementos traza se eliminan del agua de mar por la adsorción a partículas que quedarán posteriormente enterradas en el sedimento, un proceso normalmente conocido como de barrido (sustracción; del inglés *scavenging*)^{1,2}.

La cubierta de hielo del océano Ártico constituye menos del 3% de la superficie del océano mundial, pero es verdaderamente única en varios aspectos. Alrededor del 10% de las aguas procedentes de los ríos mundiales se descargan en el océano Ártico y se estima que el 30% del carbono del suelo mundial están almacenados en los ecosistemas de permafrost del Ártico³. El medioambiente del océano Ártico, tal y como lo conocemos hoy en día, se cree que experimentará grandes transformaciones en el futuro debido al cambio climático, modificaciones ambientales que ya están teniendo lugar. La extensión mínima del hielo marino del Ártico ha disminuido en más del 25% durante los últimos nueve años. El 11 de septiembre de 2015, el hielo del mar cubrió un área de 4,41 millones de Km², lo que fue la extensión más reducida del año y la cuarta más pequeña de la que se tiene conocimiento desde que se usan los satélites para su seguimiento⁴.

Se piensa que el cambio climático aumenta el aporte de carbono, nutrientes y elementos traza desde las fuentes continentales hacia el océano Ártico. El deshielo, la erosión costera, la descongelación del

permafrost y el incremento de las escorrentías debido al calentamiento, aumentarán la concentración de partículas en suspensión en el Ártico. Los cambios en la cantidad de partículas en suspensión tendrá un impacto en la capacidad de penetración de la luz superficial y puede afectar a la tasa de producción primaria, el deshielo y, consecuentemente, en el ciclo global del carbono⁵. Además, afectará a la concentración de los elementos traza en la columna de agua que son sensibles a la "sustracción". Otro propósito de esta expedición fue generar una base sólida para el conocimiento de los ciclos biogeoquímicos de elementos traza, las partículas y los nutrientes en el océano Ártico.

La toma de muestras

En la campana, se muestrearon los sedimentos transportados en la capa de hielo y las partículas en la columna de agua. Para obtener suficientes partículas del agua de mar usamos lo que se conoce como bombas *in-situ* (Figura 1B). Estas bombas fueron instaladas a las profundidades previamente establecidas y se bombearon 1000 litros de agua a través de un filtro con tamaño de poro de 0,8 µm. Se usan las partículas retenidas en el filtro como muestras para su estudio (Figura 1A).

La ventaja de usar este método es que no es necesario llevar miles de litros de agua al laboratorio para ser filtrada allí, sino que en cambio con un pequeño y limpio filtro se capta la señal contenida en miles de litros de agua.

Una de las muestras que realmente se quería obtener eran sedimentos transportados por la capa de hielo, lo que se conoce como hielo sucio marino (del inglés *dirty sea ice*) (Figura 2A). Este hielo está sucio porque los sedimentos y/o las partículas en suspensión, pro-

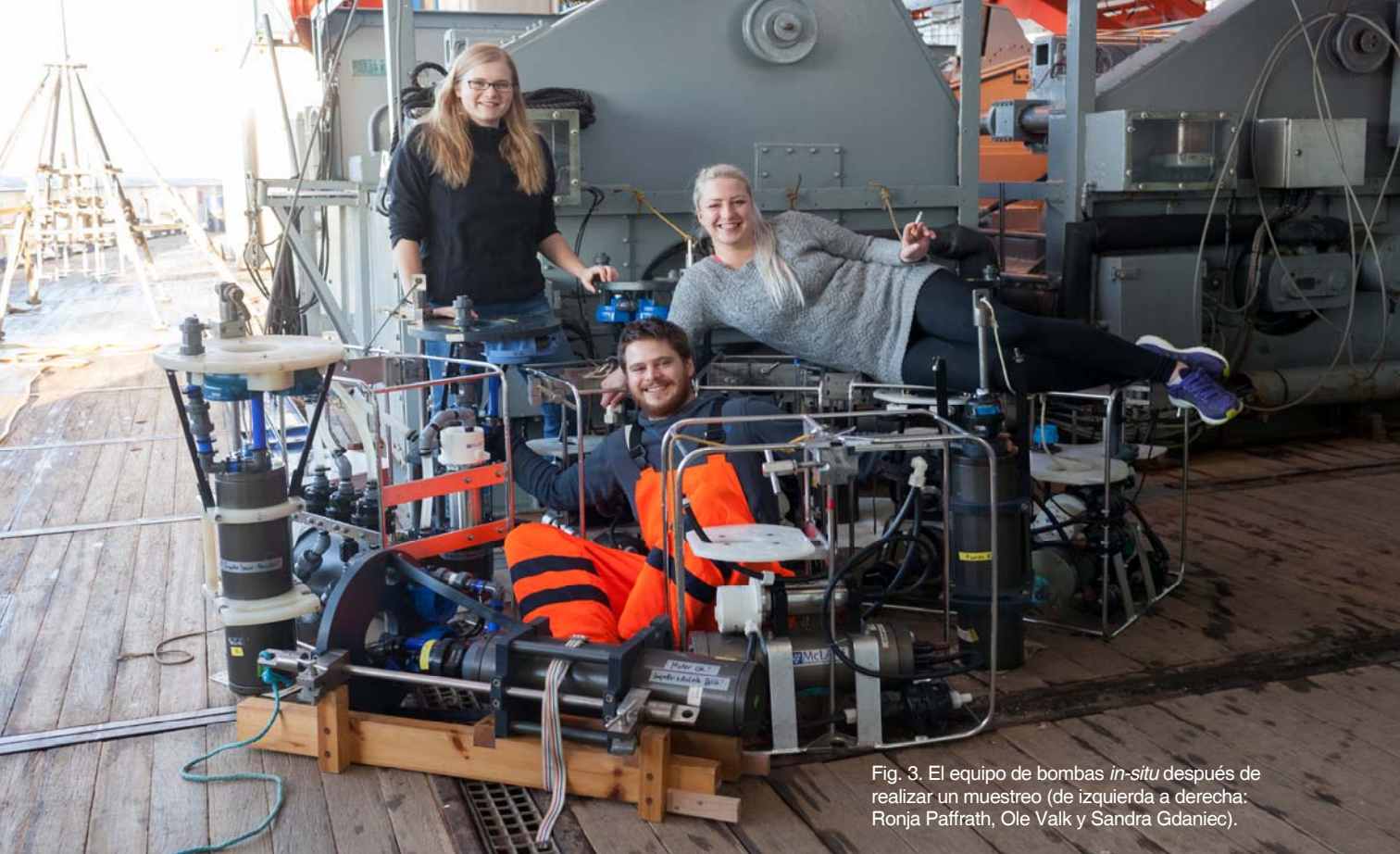


Fig. 3. El equipo de bombas *in-situ* después de realizar un muestreo (de izquierda a derecha: Ronja Paffrath, Ole Valk y Sandra Gdaniec).

Otro sistema de isótopos que se ha utilizado con éxito como trazador oceanográfico es el del neodimio (Nd).

cedentes de los ríos y aguas costeras, se han incorporado al hielo cuando éste se formó en la plataforma del Ártico. El hielo sucio es posteriormente transportado por las corrientes oceánicas hacia el Ártico Central. Las partículas atrapadas en el hielo pueden dar idea sobre el origen del hielo y el material atrapado en su interior, y cuánto material está siendo actualmente transportado desde los continentes hacia la plataforma del Ártico Central por el hielo marino.

El hielo sucio se muestreó de una forma más rústica que la realizada con las partículas en suspensión en la columna de agua. Cada vez que el buque cruzaba un campo con hielo sucio, se solicitaba al capitán que detuviera el barco para tener la oportunidad de coger algunas muestras. Al principio, se planteó la utilización de procedimientos de muestreo complicados, como usar un helicóptero para ir hacia el hielo y obtener muestras con ayuda de grandes saca-testigos de hielo, accionados a motor. Afortunadamente, la excelente tripulación del R/V *Polarstern* resolvió el problema con un simple cubo atado a una cuerda y una barra, que se utilizaba para hundir el cubo en el agua, por lo que así se pudo sacar el hielo del agua (Figura 2B).

Isótopos de torio y neodimio como trazadores de la dinámica de partículas, sustracción y los ciclos biogeoquímicos en los océanos

Los isótopos son variantes de un elemento químico. Los isótopos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones y electrones, pero pueden diferir en su número de neutrones. Esto significa que van a diferir en su peso molecular. Químicamente, su comportamiento es casi el mismo, pero los cambios en la composición de isótopos puede deberse a diferencias iniciales en la composición del material que se libera al océano (debido a las diferencias en la composición en isótopos de los distintos tipos de rocas, como por ejemplo ocurre en el caso de los isótopos de neodimio), o pueden ser fraccionados por ejemplo durante ciclos biológicos (en el caso de los isótopos ligeros como los de oxígeno o carbono). El núcleo de los isótopos radioactivos es inestable y, cuando un núcleo de un átomo inestable pierde su energía por emisión de radiación, el nucleido se transforma en un nucleido hijo que puede ser un elemento diferente⁶.

Es difícil determinar las tasas de las diversas vías potenciales de transmisión de elementos traza desde la fase disuelta al conjunto de partículas que se

hunde si tienen isótopos estables. Sin embargo, algunas de las series de radionucleidos de origen natural de uranio (U) y torio (Th) han demostrado ser muy útiles para la estimación de los tiempo que permanecen asociados a los procesos de agregación, desagregación y velocidades medias de hundimiento de las partículas. Las series U-Th, Th y Pa (protactinio) son conocidas por ser partículas altamente reactivas, es decir, son propensas a adherirse a partículas y ser sustraídas (secuestradas). Esto hace que la entrada, la producción, el transporte, y el ciclo de partículas sea un factor clave en la regulación de la abundancia y distribución de estos nucleidos en el océano². Por ejemplo, los isótopos de Th se consideran unas de las partículas más reactivas en comparación con sus padres de uranio, lo que significa que el Th se encuentra preferentemente unido a las partículas y se elimina de la columna de agua por sustracción, mientras que el U permanece en disolución, generándose una deficiencia en sus abundancias relativas respecto a lo esperable de acuerdo a su presencia por la desintegración radiactiva de ²³⁸U y ²³⁴U. El alcance de esta deficiencia y división de los nucleidos entre los diversos acúmulos de partículas, proporciona datos valiosos sobre las tasas de los diversos procesos asociados a la dinámica de las partículas y el tiempo de residencia elemental en el mar. En concreto, permite calcular la velocidad de hundimiento de estas partículas diminutas, que son del orden de sólo 1 ó 2 m por día. Gran parte del conocimiento que se tiene de la sustracción y de la dinámica de las partículas en el mar surge de la distribución de los isótopos de torio, tanto de las partículas en disolución como en acumulaciones².

Otro sistema de isótopos que se ha utilizado con éxito como trazador oceanográfico es el del neodimio (Nd). El neodimio tiene siete isótopos naturales, el ¹⁴³Nd está producido por la desintegración radiactiva del Samario (¹⁴⁷Sm). Esta desintegración ocurre constantemente a una velocidad muy lenta, de modo que la composición de isótopos de Nd (expresado como ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd; y se representa como ε_{Nd}) refleja la edad de una roca, así como la relación Sm/Nd del material de origen. Como la edad de la corteza continental es geográficamente variable, los valores de ε_{Nd} en diferentes tipos de rocas de diferentes lugares continentales son muy heterogéneos. Esta es la razón para usar la composición isotópica de Nd como trazador de las fuentes de elementos traza en el océano y su transporte dentro del mismo⁷. A medida que el Nd se introduce en el mar, a través de la erosión química de la corteza continental, la composición de isótopos de Nd del agua del mar y las parti-

culas introducidas refleja la composición de su fuente continental. Los isótopos de neodimio no están generalmente influenciados por los procesos de fraccionamiento, como los ciclos biológicos, de modo que las partículas introducidas por los ríos o hielo sucio llevan la composición isotópica de Nd característica de su región de origen. Es por ello que se pueden utilizar los isótopos de Nd para conseguir rastros sobre el transporte lateral de las partículas, así como su procedencia^{7,8}.

Se examinan las muestras de agua mediante el uso de los isótopos de Th y Nd, para estudiar el transporte de pequeñas partículas e investigar su papel en el ciclo biogeoquímico a lo largo del océano Ártico. El análisis de laboratorio de estos isótopos resultará en una resolución detallada de su distribución de isótopos, tanto vertical como espacialmente. Estas distribuciones proporcionarían información sobre el destino de las partículas transportadas a partir de fuentes continentales hasta el Ártico y sus impactos sobre las concentraciones de elementos traza en el océano. También se espera ver cómo las condiciones únicas en el Ártico, con grandes entradas a través de escorrentías de los ríos, los procesos de intercambio con la plataforma, o la entrada de hielo sucio, afectan a las composiciones isotópicas y las concentraciones de partículas. En general, se espera mejorar la comprensión de los procesos que afectan a los elementos traza y las distribuciones de isótopos en el océano Ártico, en particular, pero también para los océanos en general. Esto también puede ayudar a determinar el impacto potencial de los cambios futuros en estas distribuciones.

Bibliografía

- (1) Elderfield, H., Holland, H.D., Turekian, K.K. (2006). *The Oceans and Marine Geochemistry, Treatise on Geochemistry, First Edition*, Elsevier.
- (2) Rutgers van der Loeff, M., Geibert, W. (2008). Radioactivity in the environment, 13:228-260.
- (3) Porcelli D., Andersson P. S., Baskaran M., Frank M., Björk G. (2009). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73:2645-2659
- (4) Perovich, D., Meier, W., Tschudi, M., Farrell, S., Gerland, S., Hendricks, S. (2015). <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>
- (5) Carmack, E., Wassmann, P. (2006). *Progress In Oceanography - Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: a pan-Arctic comparison*, 71:446-477.
- (6) Porcelli, D., Baskaran, M. (2011). *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry*, Springer.
- (7) Goldstein, S.L., Hemming, S.R. (2003). *Treatise on Geochemistry, Vol. 6*. H. Elderfield, H.D. Holland & K.K. Turekian (eds.), p.453-489.
- (8) Frank, M., (2002). *Rev. Geophys.* 40.

Fig. 1. Los doctores Aridane González González y Lars-Eric Heimbürger, expertos en metales traza, tomando muestra limpia de hielo marino.

El Puzzle del Mercurio en el Ártico

Lars-Eric Heimbürger

CNRS/INSU. Instituto Mediterráneo de Oceanografía (MIO),
UM 110 13288 Marcella, Francia

El mercurio, un elemento peligroso para la salud

El mercurio es un elemento raro, es a la vez un metal pesado y un gas. Como un gas, puede viajar largas distancias en la atmósfera e incluso alcanzar regiones tan remotas como el Ártico. El mercurio existe de forma natural en la superficie de la Tierra, principalmente liberado con las emisiones volcánicas y las fuentes hidrotermales marinas. Sin embargo, desde los inicios de la Revolución Industrial (en torno a 1850), e incluso antes, las emisiones producidas por el hombre sobrepasan a las naturales en un factor aproximado de 10. A su vez, nos hemos percatado, después de varios incidentes industriales (la enfermedad del sombrerero loco o Mad Hatter del siglo XIX, la enfermedad de Minamata en la década de 1950, o en Irak en la década de 1970) que el mercurio es una neurotoxina muy potente. Pero el mercurio, a bajas concentraciones, también provoca problemas serios de salud, especialmente para los fetos. Todos estamos expuestos al mercurio cuando

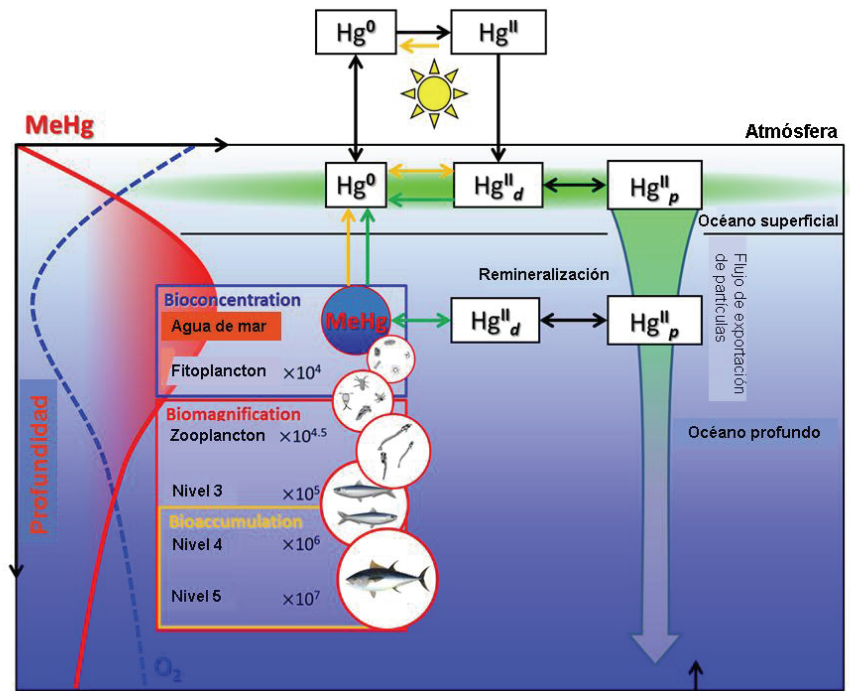
comemos pescado, especialmente los grandes depredadores como atunes y peces espada. Ellos dominan la cadena trófica marina y han acumulado todo el mercurio ingerido desde el plancton más pequeño (microalgas) y zooplancton, peces pequeños, etc. Sin embargo, sólo una especie química de mercurio es acumulada en este proceso, se denomina metilmercurio.

Las fuentes del mercurio

Las fuentes naturales y las actividades humanas no producen metilmercurio. Tampoco conocemos mucho sobre dónde y por quién es producido este toxico y es bioacumulado el metilmercurio. En las pasadas décadas se ha demostrado que el metilmercurio puede ser producido por algunas bacterias que habitan en sedimentos pobres en oxígeno. Sin embargo, las actuales campañas oceánicas a gran escala, como las del programa GEOTRACES, indican que la

Las actuales campañas oceánicas a gran escala, como GEOTRACES, indican que la producción de metilmercurio también está presente en aguas ricas en oxígeno.

Fig. 2.: Ciclo biogeoquímico del mercurio simplificado: reacciones photo-mediadas (flechas naranjas) y reacciones bio-mediadas (flechas verdes). Intenso intercambio de especies gaseosas de Hg (Hg^0) en la interfase océano-atmósfera, dinámica de especies de Hg en la superficie del océano gobernada por fotoquímica, producción de metilmercurio tóxico (MeHg) a partir de la remineralización de las partículas en hundimiento, biomagnificación a lo largo de la cadena trófica marina.



producción de metilmercurio también está presente en aguas ricas en oxígeno. Hemos encontrado que la mayor proporción de metilmercurio, frecuentemente por encima del 50%, ocurren en las aguas subsuperficiales donde las bacterias se comen a las partículas que se hunden (Figura 2). Esta profundidad varía entre los diferentes océanos y depende, en su mayor parte, de la estratificación de las masas de agua. En una reciente campaña de GEOTRACES, en el océano Atlántico Norte, encontramos que el metilmercurio se produce a bastante profundidad (sobre los 1000 m), lejos del océano superficial más productivo.

La situación es drásticamente diferente en el Ártico. Hasta hace poco, la mayor parte de las investigaciones se habían centrado en las fuentes atmosféricas de mercurio, y se pensaba que el Ártico actuaba como un sumidero global para el aumento antropogénico de las emisiones de mercurio que, desde América del Norte, Europa y ahora Asia, viajan por la atmósfera hasta el Ártico. Estas entradas de mercurio atmosférico son las responsables de los altos niveles de mercurio en los animales árticos. Sin embargo, los datos de niveles de mercurio en animales árticos, en una escala de tiempo mayor, no siempre van emparejados con un incremento de las emisiones producidas por el hombre, por lo que otros factores deben estar formando parte del juego. Los nuevos modelos numéricos sugieren que no ha sido considerada una fuente importante de mercurio en el océano Ártico^{1,2}. Las riadas primaverales de los ríos siberianos podrían ser una de estas fuentes, con lo que se hace necesario ir a Siberia durante las riadas para medir el mercurio y confirmar que es

este su origen y desde que distancia viaja en el mar. Con este propósito, hemos empezado investigando la descarga de mercurio, especialmente durante las riadas de primavera, en uno de los ríos más grandes de Siberia, el Yenisei, y también en el más pequeño y accesible río Svernaya Dvina.

En la campaña GEOTRACES, en el R/V Polars-tern, en el océano Ártico Central, se encontró un pico extremadamente poco profundo en las concentraciones de metilmercurio, confirmando algunos de nuestros resultados preliminares obtenidos en la campaña de 2011 (Figura 3)³. En el Ártico, las entradas de agua dulce, principalmente desde los ríos siberianos, dominan el balance hídrico incluso lejos de la costa. Esta agua dulce es menos densa y permanece en la superficie del océano generando una fuerte estratificación vertical. La separación del agua dulce de los ríos del agua salada con origen Atlántico, sobre los 150-200 m de profundidad, es una fuerte barrera física conocida como pycnoclina. Es exactamente aquí donde se encuentran los picos de metilmercurio, probablemente debido a que el hundimiento de partículas se ralentiza en la pycnoclina y las bacterias pueden convertir de forma más eficiente el mercurio inorgánico, transportado por las partículas, en el tóxico metilmercurio. La producción de metilmercurio cerca de la superficie, donde crecen las algas, probablemente permite una mayor absorción biológica en la base de la cadena trófica ártica. Creemos que esto es una explicación alternativa a por qué los animales árticos contienen niveles tan altos de mercurio. Por ello, y aunque podamos seleccionar nuestras dietas, los habitantes del norte que viven en el Ártico, dependen de esta vida marina para su subsistencia.

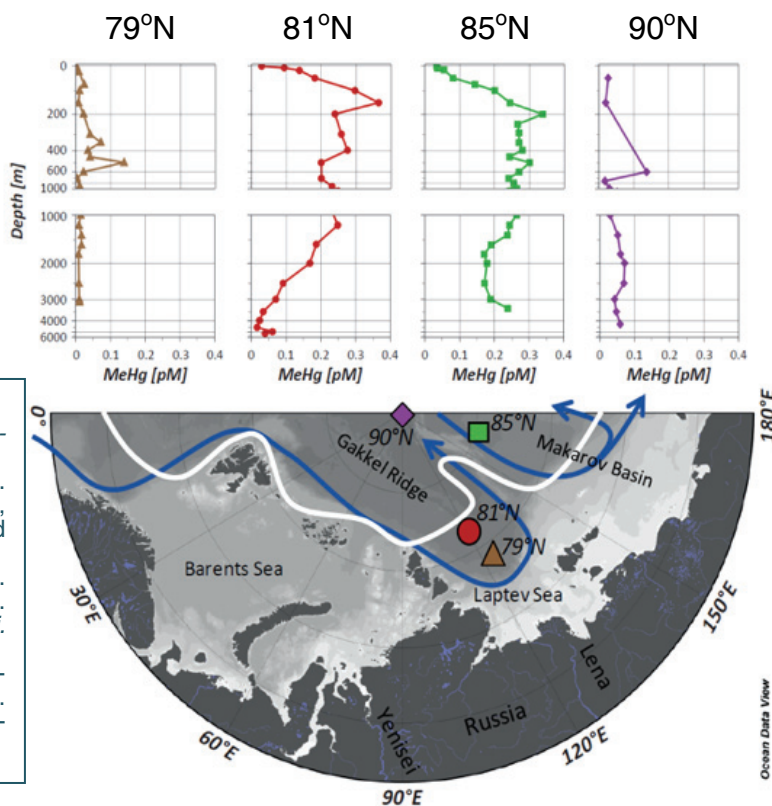


Fig. 3: Perfiles de Metilmercurio (MeHg) en picomoles por litro (pM) en la estación de aguas abiertas Laptev Sea (PS78/280:79°N; triángulos marrones) con influencia de la costa, la estación de aguas abiertas de la cuenca Amunsen en el borde de la banquisa (PS78/273:81°N; puntos rojos), la estación de la cuenca de Makarov cubierta en más de un 75% de hielo marino (PS78/245:85°N; cuadrado verdes), y en la estación del Polo Norte permanentemente cubierta de hielo (PS78/218:90°N; rombos púrpura). La línea blanca indica la extensión de la capa de hielo durante el periodo de muestreo. Las líneas azules muestran la circulación oceánica general de aguas intermedias y atlánticas.

Una combinación de datos procedentes de varias campañas GEOTRACES y otras, han mostrado que el mercurio ya ha aumentado⁴ en el océano global debido a las emisiones producidas por el hombre. A la vez, el calentamiento climático y la fusión del hielo marino están probablemente causando estragos en las algas del Ártico y metilando microbios. Pero, ¿qué significará esto en el futuro? Esta es la razón por la que este verano pasaremos, de nuevo, dos meses en otra campaña GEOTRACES investigando los cambios producidos por el mercurio en el Ártico, a bordo del rompehielos alemán *Polarstern*, navegando en el Estrecho de Fram (Figura 1), entre Groenlandia y Svalbard.

Bibliografía

- (1) Sonke, J.E. y L.E. Heimbürger (2012). *Nature Geoscience*, 5(7):447-448.
- (2) Soerensen, A.L., D.J. Jacob, A.T. Schartup, J.A. Fisher, I. Lehnher, V.L. StLouis, L.E. Heimbürger, J.E. Sonke, D.P. Krabbenhoft, E.M. Sunderland (2016). *Global Biogeochemical Cycles* 30.
- (3) Heimbürger, L.E., J.E. Sonke, D. Cossa, D. Point, C. Lagane, L. Laffont, B.T. Galfond, M. Nicolaus, B. Rabe, M. Rutgers van der Loeff (2015). *Nature Sci. Rep.*, 5:10318.
- (4) Lamborg, C.H., C.R. Hammerschmidt, K.L. Bowman, G.J. Swarr, K.M. Munson, D.C. Ohnemus, P.J. Lam, L.E. Heimbürger, M.J.A. Rijkenberg, M.A. Saito (2014). *Nature*, 512 (7512):65-68.



A photograph of Aida Fernández Ríos standing in her laboratory. She is a woman with short dark hair and glasses, wearing a dark patterned sweater and dark trousers. She is positioned next to a laboratory bench filled with various scientific instruments, including a large piece of equipment with a digital display and a red container, and several glass flasks and tubes. The background shows laboratory shelves with boxes and other equipment.

Aida Fernández Ríos

Dr. Aridane G. González

(1947-2015)

Aida Fernández Ríos ha sido y será un referente internacional sobre la investigación marina, especialmente en el campo del dióxido de carbono (CO_2) y sus efectos en la química marina. Se doctoró en Ciencias Biológicas (1992) en la Universidad de Santiago, bajo la dirección del prestigioso investigador gallego Fernando Fraga. Rápidamente, y con gran esfuerzo, ascendió en las escalas propias del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), llegando a su máximo eslabón, Profesora de Investigación. Su actividad investigadora estaba centrada en la química del dióxido de carbono de origen antropogénico en el medio marino. Publicó más de 100 artículos con un total de más de 3.000 referencias. Además, su etapa investigadora se caracterizó por una alta movilidad y colaboración con diversas instituciones internacionales, como el James Rennel Center of Ocean Circulation (Reino Unido), el Brookhaven National Laboratory Associated Universities de Long Island (Estados Unidos) o el Laboratoire de Physique des Océans en Brest (Francia).

Es importante destacar que la Dra. Fernández Ríos siempre mantuvo colaboraciones muy relevantes con profesores e investigadores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, concretamente de la Facultad de Ciencias del Mar. En ésta participó

como profesora invitada en el Máster Universitario en Oceanografía, debida a su participación en proyectos internacionales como *Carboocean* y *Carbochange*, junto a los doctores Melchor González Dávila y J. Magdalena Santana Casiano. También participa en proyectos y campañas oceanográficas con los doctores Javier Aristegui Ruiz y Santiago Hernández León. Además, Aida Fernández Ríos fue miembro del comité científico de la Plataforma Oceanográfica de Canarias (PLOCAN).

La Dra. Fernández Ríos fue la primera mujer directora del Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo (2006-2011), que pertenece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). En Junio de 2015, Aida Fernández Ríos ingresó en la Real Academia Gallega de la Ciencia (RAGC) donde realizó un discurso centrado en su actividad investigadora, destacando el efecto de la acidificación oceánica como consecuencia de las emisiones de CO_2 .

Aida Fernández Ríos nos deja como legado su cariño, su dedicación y su esfuerzo. Una extensa bibliografía y el respeto de toda la comunidad científica a nivel nacional como internacional.

Dr. Michiel van der Loeff

Holanda, 30 de agosto de 1951



Aridane G. González

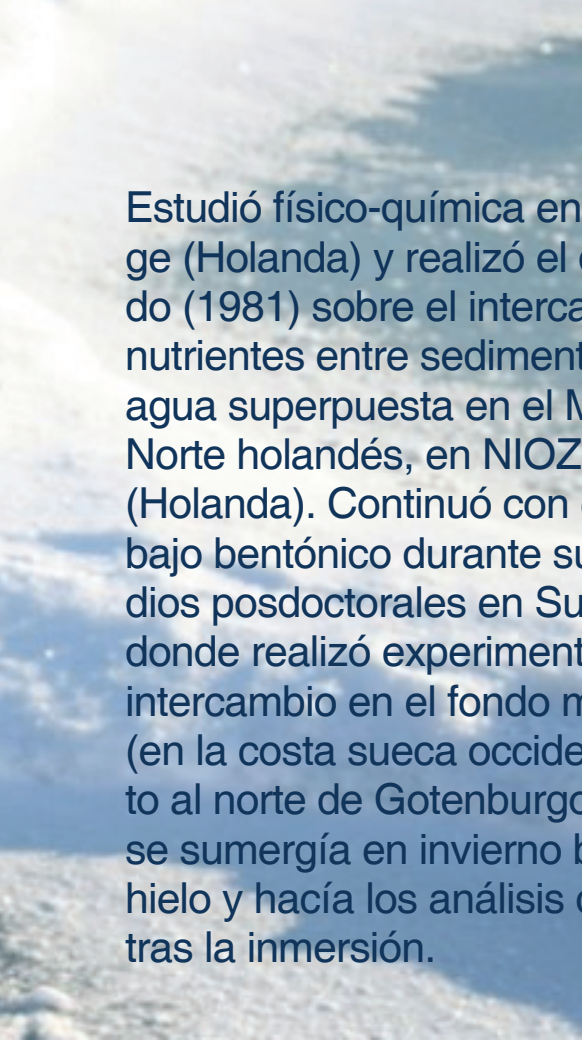
Es un investigador del Alfred Wegener Institute (AWI, Alemania) y miembro del programa internacional GEOTRACES. Antes de comenzar con las preguntas sobre este programa, me gustaría conocer algo sobre su biografía.

Estudí físico-química en Groninge (Holanda) y realicé mi doctorado (1981) sobre el intercambio de nutrientes entre sedimentos y el agua superpuesta en el Mar del Norte holandés, en NIOZ, Texel (Holanda). Continué con este trabajo bentónico durante mis estudios posdoctorales en Suecia donde realizamos experimentos de intercambio en el fondo marino (en la costa sueca occidental, justo al norte de Gotenburgo), donde nos sumergíamos en invierno bajo el hielo y hacíamos los análisis químicos tras la inmersión.

Actualmente, su investigación está centrada principalmente en la geoquímica marina y radionúclidos naturales. ¿Puede explicarnos algo al respecto y la importancia de estos elementos en la oceanografía?

En 1986, cuando llegué al Alfred Wegener Institute, en Bremerhaven, un centro nuevo y en expansión,

tuve la oportunidad de poner en marcha un grupo de trabajo en geoquímica marina. En mi trabajo anterior en medios bentónicos me había convencido de la necesidad de determinar no sólo las concentraciones sino también las tasas de las reacciones, y es por lo que decidí centrar mi nuevo grupo en la radioactividad natural. Las cadenas de descomposición de isótopos naturales del Uranio y Torio están presentes en todas partes, y el conocimiento preciso de la vida media de todos estos isótopos proporciona un reloj natural para los procesos que ocurren en el océano. Originalmente nuestro grupo estaba estrechamente vinculado a los geólogos y los nucleidos obvios eran ^{210}Pb , ^{230}Th , nucleidos que se producen a partir del radio o uranio en la columna de agua y que son muy utilizados como herramientas para determinar las tasas de acumulación de sedimentos. Para ello, inicialmente se asumía un influjo constante, pero rápidamente se descubrió que habían muchas preguntas sin respuesta sobre qué controlaba el actual influjo de estos nucleidos a través de la columna de agua. Por ello, me interesé en estudiar el ciclo de los nucleidos en el océano y qué podría decirnos su distribución sobre las tasas de resuspensión o hundimiento de las partículas, la mez-



Estudió físico-química en Groninge (Holanda) y realizó el doctorado (1981) sobre el intercambio de nutrientes entre sedimentos y el agua superpuesta en el Mar del Norte holandés, en NIOZ, Texel (Holanda). Continuó con este trabajo bentónico durante sus estudios posdoctorales en Suecia donde realizó experimentos de intercambio en el fondo marino (en la costa sueca occidental, justo al norte de Gotenburgo), donde se sumergía en invierno bajo el hielo y hacía los análisis químicos tras la inmersión.

cla y la advección en el océano. En los inicios de este trabajo, el libro de Wally Broecker, "Trazadores en el mar", fue una gran revelación y una biblia. Ese libro fue básico en el programa GEOSECS, llevado a cabo en la década de 1970, un predecesor de GEOTRACES.

Mientras que el ^{234}Th es una herramienta estándar para medir la producción de exportación, el flujo de partículas desde la capa superficial del océano, el par de trazadores más estudiado es el ^{230}Th y ^{231}Pa , ambos producidos a partir de los isótopos de uranio en el agua de mar. Su distribución nos da detalles acerca de la tasa de deposición de partículas, entradas hidrotermales y la ventilación del océano. Pero lo que las señales del ^{230}Th y ^{231}Pa almacenados en los sedimentos nos dicen sobre la circulación oceánica del pasado sigue aun siendo bastante discutido. Actualmente hay mucho interés en los isótopos del Radio (hay cuatro de ellos adecuado aplicables a escalas temporales desde días a miles de años) para estudiar los procesos de mezcla, la entrada de las aguas subterráneas submarinas y el intercambio entre la plataforma y el océano abierto.

Ha participado en varias campañas oceanográficas, particularmente en la región polar, ¿Por qué es relevante esta región?

Mi trabajo comenzó en el Océano Antártico. Había conseguido un trabajo en un instituto para la investigación polar y me sentía muy afortunado de poder trabajar en una de las zonas más remotas y no exploradas del mundo. Esta es la zona donde se forma el agua profunda que cubre el fondo marino del océano global. Por lo tanto, es un área muy importante para comprender la circulación oceánica actual. Además, este es un lugar donde era posible estudiar, junto con los geólogos que investigan los sedimentos marinos, cómo esta circulación había cambiado durante los ciclos glaciares-interglaciares. ¿Qué área sería más apropiada para estudiar la forma en que la circulación del océano ha estado funcionando durante milenios antes de la aparición de la humanidad? Así, en un principio, esta investigación no se inició con la preocupación del cambio global, pero recuerdo lo sorprendido que estaba durante los dos meses que duró mi primera expedición al Mar de Weddell con los resultados obtenidos por un colega que medía el aumento de CFCs en las aguas superficiales, liberados por los frigoríficos y los aerosoles de lacas para el pelo.

Poco a poco, también me he involucrado más y más en el trabajo Ártico. La situación ahora es radicalmente diferente. El cambio global está presente en la agenda de todos, y el Ártico es un área donde los cambios son espectacularmente rápido. La primera vez que el buque de investigación Polarstern alcanzó el Polo Norte, en 1991, lo hizo conjuntamente con el impresionante rompehielos sueco Oden, ya que el Polarstern nunca podría haber cruzado la masa de hielo de forma segura por sus propios medios. Ahora el Polarstern puede programar fácilmente una travesía al Polo Norte sin ayuda, y en 2015 nuestros colegas estadounidenses se lamentaban de que la capa de hielo fuera tan delgada, en extensas zonas del Ártico, como para dejar trabajar a las personas con seguridad. Así que no sólo es la extensión del hielo del verano lo que ha disminuido drásticamente, sino que también el hielo es más delgado y nuevo.

Según su experiencia en el Ártico, ¿cuáles son los cambios más importantes que ha observado durante estos años?

Mientras observamos los cambios, debemos tener en cuenta que no todos los cambios se deben a las acción humana. Hay fluctuaciones naturales en el clima y la circulación atmosférica sobre los que se superponen los cambios globales inducidos por el hombre y estos sólo pueden ser separados a través de estudios continuos a largo plazo. Esto pone de

relieve lo importante que es tener una referencia de base y saber cómo era el Ártico antes de que comenzaran los cambios inducidos por el hombre. Estamos luchando contra el tiempo porque está claro que el Ártico está en pleno cambio y ya no podemos medir el sistema inalterado original. Han habido muchas expediciones anteriores en las que se han medido varios elementos traza y tuvimos la campaña GEOTRACES en 2007, pero la campaña GEOTRACES de 2015 ha sido más completa que las anteriores. Lo que significa que para muchos parámetros ésta servirá de punto de referencia para comparar con estudios futuros. Mientras vemos cambios evidentes en los parámetros físicos (el tamaño y grosor de la capa de hielo, la circulación de las aguas superficiales, etc.), son pocas las series temporales de parámetros químicos que puedan decirnos en qué medida los cambios físicos han afectado a los ciclos químicos en el océano. Pero donde se dispone de tales datos más antiguos, la exploración de los cambios es sin duda uno de los objetivos de nuestra campaña de 2015.

El verano pasado, participó en la TransArc II (PS-94) como coordinador del grupo GEOTRACES. ¿Puedes decirnos el objetivo principal de ese grupo de científicos, lo que hicieron a bordo?

GEOTRACES es un programa internacional para estudiar el ciclo mundial de elementos traza e isótopos en el océano. Hay varias razones por las que estamos interesados en estos elementos traza. En primer lugar, algunos de ellos como el hierro son (micro) nutrientes, que son requeridos por el plancton y su disponibilidad puede controlar el crecimiento del plancton. En segundo lugar, estos elementos pueden decirnos mucho acerca de lo que está pasando en el océano: hundimiento de partículas al fondo del mar, la circulación oceánica, el intercambio de gases con la atmósfera, el intercambio entre el continente y el océano abierto. Y, en tercer lugar, la composición de elementos traza de las partículas que se depositan en el fondo del mar nos dan información acerca de la situación actual en el mar, el "clima oceánico", y usamos las señales registradas en los sedimentos para reconstruir como era el clima oceánico en épocas pasadas. Este campo de la ciencia se está expandiendo rápidamente. Sólo mediante el desarrollo de técnicas de muestreo ultralimpias y a través del fantástico desarrollo analítico, especialmente en la espectrometría de masas, comenzamos a ver con alta resolución las amplias distribuciones de elementos en las cuencas donde al inicio del programa, hace 13 años, nos conformábamos con un único perfil fiable en profundidad.



El programa es mundial, y el conjunto de datos se está expandiendo rápidamente. GEOTRACES ha publicado un gran conjunto de datos del océano Atlántico que se pueden ver en geotraces.org. Sin embargo, sabemos mucho menos del océano Ártico y éste es un océano muy especial, relativamente pequeño, con un 10% de las descargas de los ríos mundiales sobre amplias plataformas continentales.

El equipo GEOTRACES estuvo conformado por 18 científicos de Holanda, Alemania, Francia, Suecia, España, Suiza, Reino Unido y Dinamarca, incluyendo 6 estudiantes de doctorado. El interés principal era la recogida de muestras de la columna de agua, que a veces era superior a los 5 km de profundidad. Cuando llegábamos a una estación, se ponía en marcha el programa situando el equipo de muestreo en la borda, bajándolo a la profundidad deseada y recuperando los equipos de uno en uno. El programa podía consistir en un primer lanzamiento del sistema de botellas

“Mientras vemos cambios evidentes en los parámetros físicos (el tamaño y grosor de la capa de hielo, la circulación de las aguas superficiales, etc.), son pocas las series temporales de parámetros químicos que puedan decirnos en qué medida los cambios físicos han afectado a los ciclos químicos en el océano”.

“GEOTRACES ha publicado un gran conjunto de datos del océano Atlántico que se pueden ver en egeotraces.org. Sin embargo, sabemos mucho menos del Océano Ártico y éste es un océano muy especial, relativamente pequeño, con un 10% de las descargas de los ríos mundiales sobre amplias plataformas continentales”.

ultra-limpio, diversos muestreos con la roseta tradicional (teníamos una roseta grande con 24 botellas de agua de 25 litros cada una; estas se montan en un círculo y se pueden cerrar a la profundidad deseada) y, en medio, un equipo especial para recoger las partículas en suspensión con bombas que filtraban el agua durante horas, mientras permanecía colgada de un cable a gran profundidad, o para recoger, por ejemplo, zooplankton (no estábamos solos en el barco, GEOTRACES fue sólo uno de los varios proyectos que se realizaron simultáneamente en la campaña). Mi tarea era organizar que todos los científicos consiguieran el agua que necesitaban de la profundidad que querían. Algunas personas están satisfechas con sólo unos pocos mililitros mientras que otros necesitan hasta 50 litros para un solo análisis.

¿Cuál es la importancia de un programa internacional como GEOTRACES?

Casi desde el principio he estado involucrado en el desarrollo del programa GEOTRACES que considero un entorno científico extremadamente estimulante. Nuestro objetivo común es el de obtener una visión mundial sobre el papel de los elementos traza en el océano, una meta que un solo instituto o nación jamás podría lograr. Así que el programa vive de las muchas iniciativas entusiastas nacionales y locales bajo una coordinación internacional muy eficiente. El estudio del Ártico en 2015 fue un caso

muy especial. Queríamos lograr una visión sinóptica del océano Ártico y para ello hemos llevado a cabo tres expediciones paralelas. El encuentro de los buques Healy y Polarstern en el Polo Norte fue la máxima expresión de este enfoque internacional. No era sólo una cita con nuestros amigos y colegas en la parte superior del globo, sino que también era una estación muestreada por ambos equipos y que sirvió como una estación conjunta para calibrar nuestros métodos y garantizar que nuestras medidas eran compatibles, y podían posteriormente combinarse en una base de datos coherente.

Sobre el futuro, ¿participará en una nueva campaña?

Cuando desarrollamos el plan de muestreo de GEOTRACES para el Ártico, quisimos incluir las "puertas de entrada": las aberturas por donde el agua del Ártico se intercambia con los océanos vecinos. El estudio sinóptico de 2015 incluyó el Estrecho de Bering y el Archipiélago Canadiense. Sin embargo, la apertura más profunda y grande es el Estrecho de Fram, entre Groenlandia y Svalbard, y vamos a cerrar esta carencia en nuestras mediciones en el verano de 2016 con el Polarstern. También vamos a utilizar al amplio conjunto de correntímetros anclados actualmente en el Estrecho, y cuando combinemos nuestros datos químicos con los datos de corrientes será posible calcular las entradas y salidas de los elementos traza entre el océano Ártico y el océano Atlántico.



Profesora y doctora Ursula Schauer

Alemania, 16 de febrero de 1951

quería pasar el resto de mi vida allí. ¿No es un criterio extraño para elegir un área de trabajo?

Navegando a través de los folletos de las posibles profesiones que ofertaba la agencia alemana de trabajo, me encontré con la descripción de un Oceanógrafo Físico. Lo describían como un trabajo para hombres con la habilidad de combinar el pensamiento científico con la fuerza para cargar cajas e instrumentos pesados a bordo de un barco. Pensé que esto sonaba bastante adecuado para mí. Yo podría pensar en formulas y también podría salir al mar, trabajar en un barco con marineros y tener un montón de aire fresco. Esto sonaba suficientemente fascinante para cambiar de dirección y, entonces, me fui al Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Kiel (Alemania). Estuve en Kiel hasta que finalicé mi doctorado en corrientes erosivas profundas en la Ensenada de Kiel.

Usted es una de las científicas más importante sobre la región polar. Por favor, díganos algo sobre su trabajo en el Ártico, qué es especial para usted de esta área y por qué comenzó a trabajar ahí. ¿Cómo es la navegación en el Ártico?

Llegué a los océanos polares por mi hija pequeña. Mi marido y yo, ambos con contrato en la Universidad de Hamburgo, acordamos que, para tener un hijo, al menos uno de nosotros necesitaba un trabajo permanente. Nos desplazáramos al lugar donde el primero consiguiera la plaza. Encontré una oferta de trabajo en el Instituto Alfred Wegener en Bremerhaven y conseguí el trabajo. Entonces, mi familia se mudó a Bremerhaven (¡no fue fácil para mi marido!) y mi nuevo campo de investigación era el Océano Ártico.

Pronto participé en mi primera campaña con el R/V Polarstern en la banquiza ártica y quedé impresionada con su belleza. Y, cómo no, con el enfoque diferente. En océano abierto puedes planificar la campaña desde el primero día hasta el último y sólo tener en mente que podrá haber mal tiempo. En el hielo, puedes esperar por la siguiente estación, que está sólo a 20 millas, más de 2 horas, o 6 horas, o un día.

¿Cuáles son los principales cambios que ha observado a lo largo del tiempo?

Aridane G. González

Profesora de Investigación en el Instituto Alfred Wegener (AWI, Alemania), una de las instituciones más importantes en Europa en términos de oceanografía. Por favor, ¿podría decirnos algo sobre sus comienzos en ciencia?

Comencé en 1970 a estudiar física en Berlín y, después de un año, me traslade a Kiel para especializarme en Oceanografía Física. En aquel tiempo, el Instituto de Investigaciones Marinas de Kiel (hoy el GEOMAR) era el centro más reconocido en este campo dentro de Alemania.

¿Por qué Ciencias Marinas y por qué Oceanografía Física?

Al dejar el instituto no tenía demasiado claro mi futuro. Había pensado en periodista crítica de teatro o arquitecta (especialmente sobre la construcción de salas de conciertos), o física. Finalmente elegí física, pero buscaba más física medioambiental que la dura física experimental. Sin embargo, el Instituto de Meteorología construido en la Universidad de Berlín, parecía un poco viejo y en mal estado, por lo que decidí que no

Durante las primeras expediciones, en la década de 1990, no teníamos campañas en el océano Ártico Central, pero intentamos ir a lo largo de los márgenes continentales más al este. Esto era también muy fascinante porque era la primera vez, después de la Guerra Fría, que un barco científico alemán colaboraba a bordo con científicos rusos y que entraba en aguas rusas. Y, cuando lo intentamos, no pudimos llegar muy lejos dentro de la capa de hielo. Esto cambió completamente en el año 2007, durante el 4º Año Polar Internacional, cuando pudimos ir desde el Mar de Barents hasta bastante lejos de la Cuenca Makarov, aunque nunca nos habíamos atrevido a planificar una sección tan larga. Solo mantuvimos la navegación lo más lejos posible, bueno, lejos hacia el sureste (lo que necesita un poco de imaginación en perspectiva para entender lo que esto significa en aguas alrededor del Polo).

La última campaña en el Ártico en la que usted participó fue TransArc II (PS-94). ¿Por qué TransArc II?, digamos el origen del proyecto y algunos detalles de interés.

Si queremos medir los cambios en el Ártico necesitamos obtener series temporales del estado del océano Ártico: su cobertura de hielo, las propiedades de sus aguas, sus ecosistemas en el hielo, en el agua y en el fondo. ¿Se está calentando el océano como hacen todos los océanos? ¿Cómo afecta la disminución del hielo marino en la capa de mezcla? ¿Continúa el Océano Ártico reteniendo el agua dulce que viene de la entrada de los ríos y del Océano Pacífico?

Para responder a estas preguntas necesitamos repetir los sondeos, no sólo en ciertas regiones que podrían ser muy diferentes unas de otras, sino también a lo largo de todo el Ártico, tal y como se hizo durante TransArc II, después de TransArc en 2011, y SPACE en 2007. Por su puesto, se trata de una tarea de cooperación internacional, porque el Polarstern no puede atravesar el Ártico en su totalidad.

¿Podría decirnos como fue esta campaña y las observaciones más interesantes?

Para mí personalmente, el resultado más fascinante fue que el agua profunda y de fondo del océano Ártico se mantienen calientes, probablemente como resultado del calentamiento geotérmico. Y, aparte de eso, podría ser por las descargas hidrotermales, una de las cuales fue muestreada durante la campaña. Este es un interesante campo interdisciplinar, en la frontera entre la oceanografía geofísica, física y geoquímica, lo que es relativamente nuevo en el Ártico y nos ofrece fascinantes y nuevos conocimientos.

Ahora me gustaría hablar de algo más personal. Por favor, ¿podría contarnos algo sobre que significa ser mujer en ciencia? Sé que usted fue la primera mujer que participó como jefa científica a bordo del Polarstern. Usted es un ejemplo para esta sociedad, ¿qué siente al respecto?

Siempre lo sentí de forma natural al trabajar como científica, y dado que soy buena coordinando, también sentí de forma muy natural el ser una jefa científica, etc. Nunca pregunté si eso era lo apropiado. Debo decir que nunca me encontré ningún obstáculo o discriminación de género (quizás algunas veces alguna pequeña cuestión que felizmente ignoré). Me entristece que aún haya pocas mujeres en ciencia. Una de las cuestiones es la familia. Para mí, está claro que ante las dificultades externas (cuidados diarios, una mejor cultura del equilibrio trabajo/familia en investigación) un punto importante es que los dos padres tienen que compartir de igual forma las responsabilidades familiares. Particularmente en Alemania, muchas mujeres aún piensan que ellas son más idóneas que los hombres para cuidar a los niños. Esto es un pensamiento del siglo XIX y absolutamente anticuado. Pero todas las mujeres deben tener esto claro en sus relaciones personales. Sólo si los niños son un asunto de todos, la cultura del trabajo debe, y así será, cambiar.

¿Cuáles son sus planes de futuro?

Mis planes personales para el futuro son que me jubilaré en verano. Además, ahora mismo estoy muy implicada en impulsar la investigación sobre la interacción entre la capa de hielo de Groenlandia y el océano. Deberíamos observar el papel que el calentamiento de los océanos juega desestabilizando la salida de glaciares, y como esto influye en la pérdida de masa de Groenlandia. Estoy trabajando en una propuesta que debería permitirnos tener una gran aproximación interdisciplinar englobando a oceanógrafos, glaciólogos, observadores y matemáticos.

Sobre el futuro de la ciencia no tengo pensamientos específicos. La razón es que afortunadamente la ciencia siempre continúa con exceso de preguntas que emergen de los descubrimientos diarios.

No tengo ninguna preocupación. Nosotros (científicos de países desarrollados) debemos ser mucho más propensos a incluir personas de países en desarrollo en las ciencias marinas. El enorme continente africano, con sus inmensos mares costeros y con el inmenso potencial intelectual de sus habitantes, no está bien representado en las comunidades de ciencias marinas. Ellos tienen mucho que aportar a nuestra adquisición de conocimiento, y nosotros tenemos que eliminar los obstáculos que les impiden unirse a nosotros.

El programa de investigación internacional GEOTRACES

Elena Masferrer Dodas¹, Jordi García-Orella²
y Aridane González³

¹Oficina Internacional del Programa GEOTRACES, Francia

²Universidad Autónoma de Barcelona, España

³LEMAR-UMR 6539, CNRS-UBO-IRD-IFREMER, Plouzané, Francia

Los elementos químicos son fundamentales para los ecosistemas marinos ya que, por ejemplo, constituyen nutrientes esenciales para la vida en los océanos. Los elementos requeridos en mayor cantidad se les denomina macronutrientes o simplemente nutrientes (carbono, fósforo, nitrógeno y silicio), mientras que aquellos elementos necesarios en pequeñas cantidades se les denomina micronutrientes, como el hierro (Fe), el zinc (Zn), el cadmio (Cd), etc. Estos elementos aunque se presenten en unas concentraciones extremadamente bajas en el agua del mar, por lo que se denominan elementos traza, son vitales para la vida en los océanos. A modo de ejemplo, la escasez de hierro puede limitar procesos fundamentales como la fotosíntesis¹.

A pesar de la importancia reconocida de estos elementos traza en los océanos, nuestro conocimiento de sus ciclos biogeoquímicos es aún muy limitado. El concepto “ciclo biogeoquímico” se refiere al circuito que hacen los elementos químicos entre los seres vivos y los diferentes compartimentos terrestres (litosfera, atmósfera e hidrosfera). Debido a que estos ciclos son sensibles al clima, su comprensión es esencial para conocer los impactos que se pueden producir debido al cambio climático.

Además algunos de estos elementos traza constituyen contaminantes para el medio marino que pueden acumularse en la cadena trófica. Es el caso, por ejemplo, del mercurio (Hg) o el plomo (Pb). Mejorar el conocimiento de los ciclos de estos elementos es fundamental para proteger la vida en nuestros océanos.

GEOTRACES (www.geotraces.org) es un programa internacional de investigación que tiene como misión mejorar el conocimiento de los ciclos biogeoquímicos marinos de los elementos traza y sus isótopos en los océanos. Como los ciclos biogeoquímicos tienen lugar a escala mundial, se vio necesario emprender una iniciativa global coordinada internacio-

Este conocimiento se utiliza para desarrollar modelos climáticos y predecir los efectos del cambio climático en los océanos.

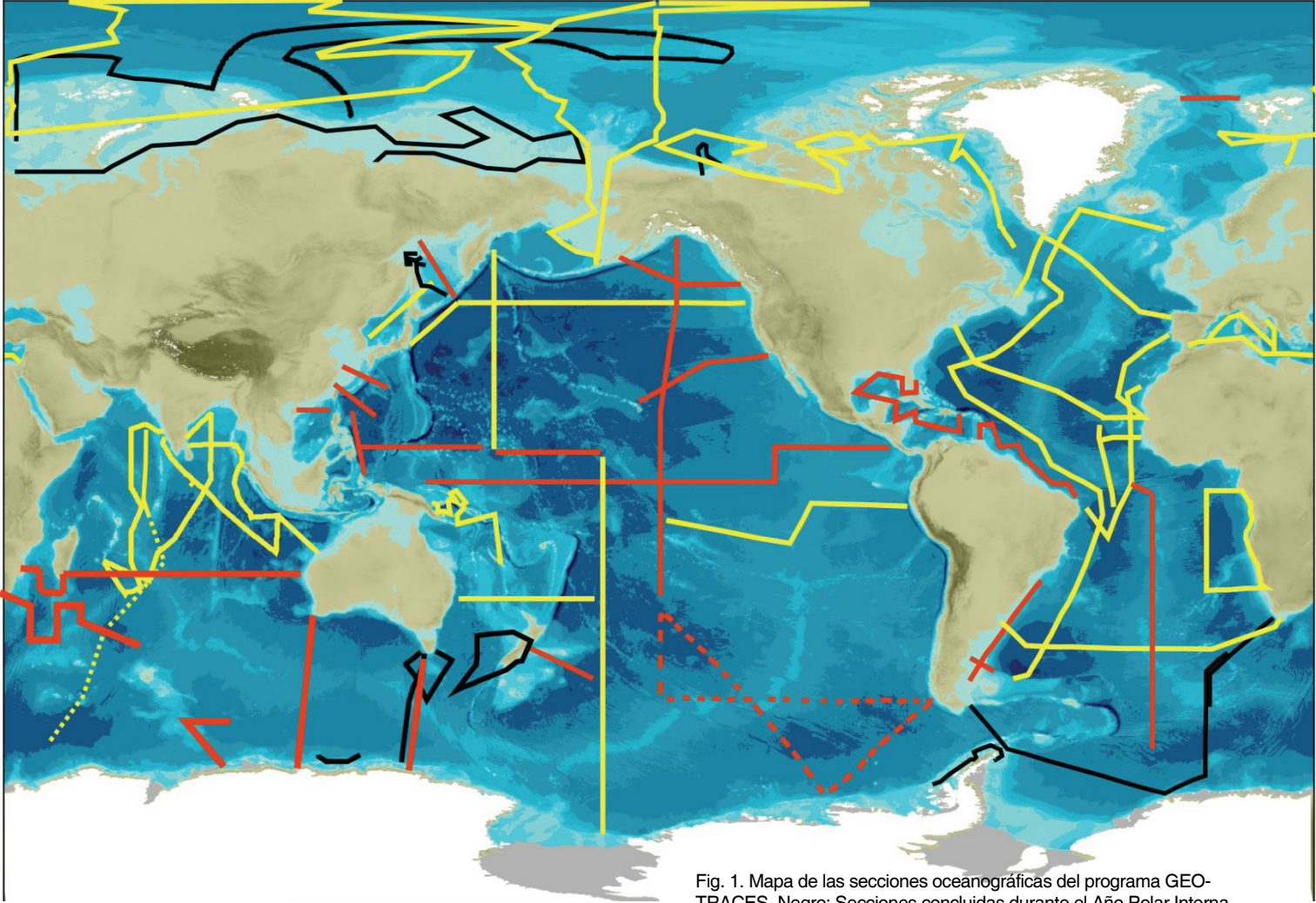
Elementos traza	Isótopos
Hierro (Fe)	Ion nitrato ($\delta^{15}\text{N}$)
Aluminio (Al)	$\delta^{13}\text{C}$
Cinc (Zn)	Torio-230 (^{230}Th)
Manganeso (Mn)	Protactinio (^{231}Pa)
Cadmio (Cd)	Isótopos del Plomo (Pb)
Cobre (Cu)	Isótopos del Neodimio (Nd)

Tabla 1: Elementos considerados clave en el programa GEOTRACES (estos parámetros son los mínimos que se deben analizar en cada sección oceanográfica, pero no representan la lista completa de parámetros de interés para el programa.)

nalmente. El programa GEOTRACES, bajo el auspicio del Comité Científico para la Investigación Oceánica (SCOR, *Scientific Committee of Oceanic Research*), coordina el esfuerzo de más de 30 países.

El estudio de los elementos traza contenidos en los reservorios marinos (sedimentos, corales, etc.) ha permitido desarrollar en gran parte el conocimiento actual sobre los procesos físicos, químicos y biológicos modernos así como, entender condiciones de los océanos en el pasado. Este conocimiento se utiliza para desarrollar modelos climáticos y predecir los efectos del cambio climático en los océanos. La ampliación del conocimiento de los ciclos de los elementos y sus isótopos mejorará nuestra capacidad para interpretar y predecir el cambio climático.

GEOTRACES se ha diseñado para: (i) determinar la distribución global de elementos traza clave y sus isótopos (ver Tabla 1), y evaluar las fuentes, sumideros y ciclos internos de estos elementos para poder caracterizar mejor los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan sus distribuciones en los océanos; y (ii) comprender la respuesta de los ciclos biogeoquímicos de los elementos traza y de sus isótopos al cambio global, para mejorar la predicción futura y mejorar las herramientas utilizadas para evaluar los cambios de los océanos en el pasado.



La distribución de los elementos traza en los océanos del mundo

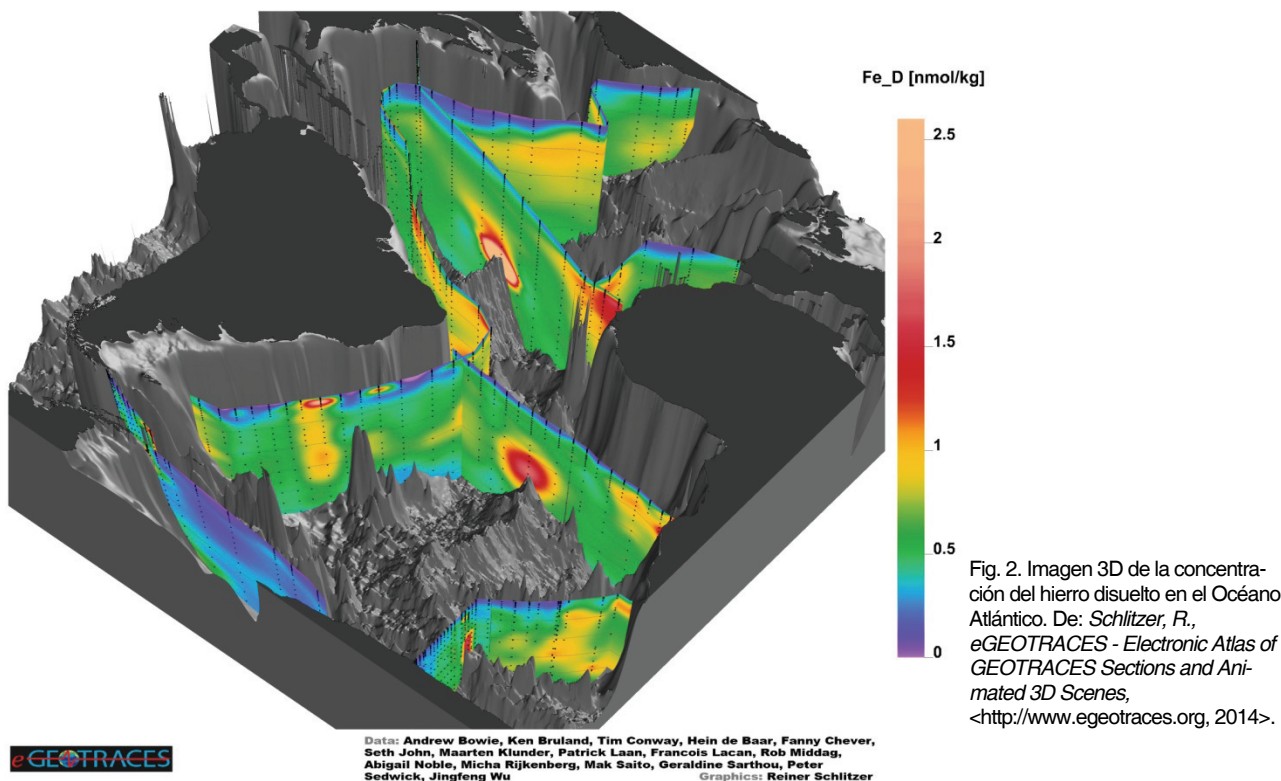
Uno de los elementos centrales del programa es un conjunto de campañas oceanográficas que cubren todos los océanos del planeta (Figura 1). Estas campañas, coordinadas internacionalmente, muestrean toda la columna de agua (desde la superficie hasta el fondo marino) a lo largo de diferentes secciones oceánicas, haciendo posible la identificación y determinación de las concentraciones de los elementos traza y sus isótopos. Así mismo, están permitiendo obtener la primera distribución a gran escala de los elementos traza en los océanos. Entender su distribución actual ayudará, en un futuro, a entender como el cambio climático modificará su distribución y, por tanto, sus efectos en los ciclos biogeoquímicos. Además, estas campañas también están haciendo posible la exploración de las relaciones entre los diferentes elementos para comprender mejor su comportamiento físico-químico, a la vez que identificar a escala global los diferentes procesos químicos, físicos y biológicos involucrados en el ciclo de los elementos traza y sus isótopos².

Fig. 1. Mapa de las secciones oceanográficas del programa GEOTRACES. Negro: Secciones concluidas durante el Año Polar Internacional (2007-2009). Amarillo: secciones concluidas en mayo 2016. Rojo: Futuras secciones. Una versión actualizada de este mapa se puede encontrar en la página web del programa GEOTRACES <<http://www.geotraces.org>>. Información de cada sección está disponible en <<http://www.bodc.ac.uk/geotraces/cruises/>>.

Las grandes secciones oceánicas se completan con campañas específicas, llamadas “procesos de estudio”, en diversas regiones para estudiar alguno de los procesos de interés dentro del programa. Así, en mayo de 2016, GEOTRACES ha realizado 84 campañas oceanográficas a lo largo de todos los océanos mundiales, que han permitido completar 31 secciones que incluyen 946 estaciones de muestreo (Figura 1).

Estandarización internacional de los métodos de medida

Obtener las concentraciones de los elementos traza en los océanos es una tarea muy difícil ya que las muestras de elementos traza, al estar estos a un nivel de concentración muy bajo (nano o picomolar) en el océano, se pueden contaminar muy fácilmente. Por ello, es muy importante contar con protocolos unificados entre los diversos investigadores que muestrean y analizan dichos elementos para tener datos consistentes y fiables.



GEOTRACES ha diseñado una iniciativa internacional de intercalibración entre los laboratorios participantes en el programa y cuenta con un Comité Internacional de Estandarización e Intercalibración (CIEI) que tiene por objetivo asegurar la calidad de los datos producidos por el programa GEOTRACES. Los protocolos unificados específicos para el muestreo y tratamiento de las muestras, actualizados periódicamente por el CIEI, están disponibles en la página web del programa GEOTRACES: <http://www.geotraces.org/libraries/documents/lnetcalibration/Cookbook.pdf>. Estos protocolos quieren ser una guía para cualquier investigador que quiera iniciarse o mejorar el análisis de cualquier de los parámetro tratados dentro del programa GEOTRACES.

Datos a disposición de la comunidad científica

Dentro de los objetivos específicos del programa existe la divulgación de los resultados de las secciones y de las campañas. Así, en lugar de esperar al final del programa para producir y poner a libre disposición los datos recogidos, GEOTRACES decidió publicar un primer producto intermedio de datos en una fase temprana del proyecto³. Con ello GEOTRACES desea compartir los datos obtenidos para que la comunidad científica oceanográfica en general, incluyendo la oceanografía física y biológica, así como los modelizadores, amplíen e intensifiquen sus colaboraciones científicas.

El primer producto intermedio de datos fue presentado en 2014 (IDP2014), y consiste en: (i) una colección de datos de elementos traza y sus isótopos, recogidos en los tres primeros años del programa, acompañados de los parámetros hidrográficos clásicos (como la temperatura, la salinidad, el oxígeno, etc.). Esta colección se puede descargar libremente en la siguiente página web: <http://www.bodc.ac.uk/geotraces/data/idp2014/>; y (ii) un atlas electrónico (*eGEOTRACES*), que presenta imágenes 3D animadas de la distribución de diferentes elementos traza y sus isótopos (Figura 2): <http://www.egeotraces.org>

El segundo producto intermedio de datos, que incluirá los datos recogidos durante los cinco primeros años del programa, será presentado en agosto de 2017, en la Conferencia Goldschmidt 2017 (13-18 Agosto 2017, París, Francia; <http://goldschmidt.info/2017/>). Este nuevo producto será construido a partir del IDP2014 y de todas las sugerencias de mejoras recibidas que pueden ser enviadas a ipo@geotraces.org.

Primeros resultados de GEOTRACES

En los cinco años de implementación del programa, GEOTRACES ha obtenido resultados sorprendentes. Por ejemplo, se ha evidenciado la presencia de plumas ricas en metales que emanan de las dorsales oceánicas.^{4,5,6} Aunque se conocía que los sistemas hidrotermales son fuentes de estas plumas, los

Para más información

- Página web:
www.geotraces.org
- Suscríbete a la lista de distribución para recibir información de todas las actividades del programa y su revista electrónica:
<http://www.geotraces.org/about-us/contact-us>
- Sigue GEOTRACES también en Twitter (@geotraces) y Facebook (<https://www.facebook.com/geotraces/>)
- Contacta con Jordi Garcia-Orellana (jordi.garcia@uab.cat) para más información sobre GEOTRACES España

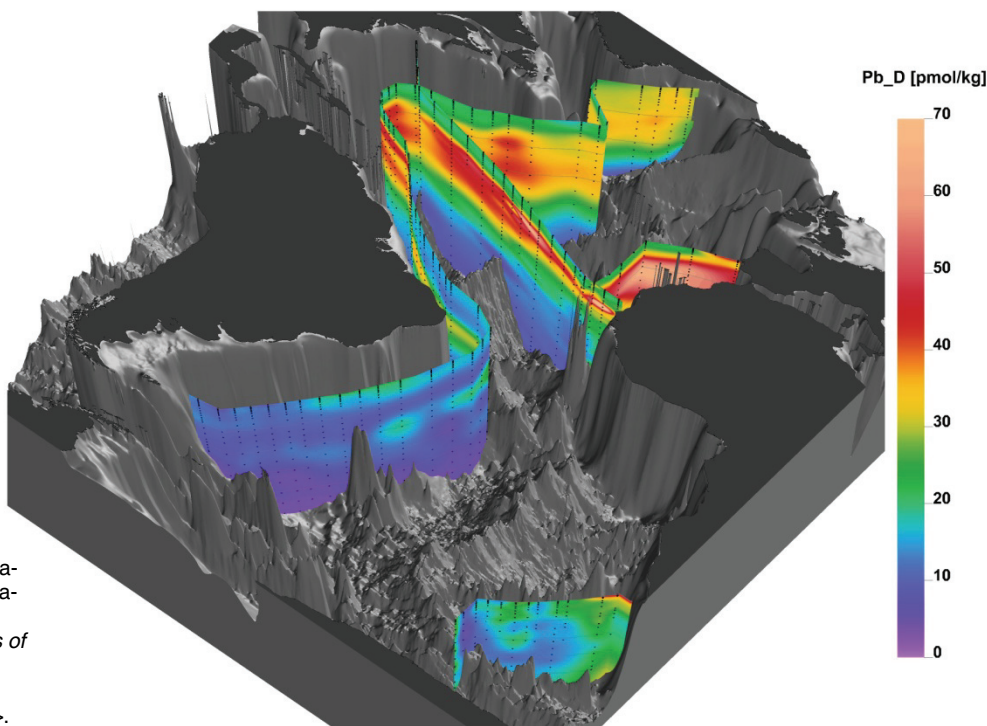


Fig. 3. Imagen 3D de la concentración de plomo disuelto en el Océano Atlántico. De: Schlitzer, R., *eGEOTRACES - Electronic Atlas of GEOTRACES Sections and Animated 3D Scenes*, <<http://www.egeotraces.org>, 2014>.



Data: Marie Boye, Edward Boyle, Ken Bruland, Hein de Baar, Yolanda Echegoyen, Rob Middag, Abigail Noble Graphics: Reiner Schlitzer

modelos biogeoquímicos actuales consideran esta contribución como despreciable. GEOTRACES ha descubierto que cada sección que atraviesa una dorsal oceánica (Figura 2) encuentra una pluma rica en metales que se extiende centenares e incluso miles de kilómetros desde la fuente. Las implicaciones en los ciclos biogeoquímicos de estos elementos se están ahora investigando.

GEOTRACES ha permitido también determinar la concentración y la distribución de metales pesados como el plomo (Pb) en los océanos. El plomo es un elemento traza de origen antropogénico (proveniente de la gasolina con plomo, antes de su prohibición en Europa y Estados Unidos). Aunque sus concentraciones en el océano son muy bajas (del orden de picomoles), GEOTRACES ha hecho posible observar la distribución de este elemento en el océano Atlántico (ver Figura 3, concentraciones más elevadas representadas en colores cálidos: rojo, naranja, rosa). Este ejemplo, permite ilustrar el papel de los océanos en conservar la memoria de la contaminación humana.

En relación a las investigaciones llevadas a cabo por científicos españoles podemos destacar, entre otros, el estudio que pone de manifiesto la importancia de la descarga de agua subterránea (SGD en inglés) en el transporte de nutrientes inorgánicos disueltos en el mar Mediterráneo⁷. En este estudio basado en la distribución de radio-288 (²⁸⁸Ra), se comprobó que los flujos medios anuales de nitrógeno, fósforo y sílice son comparables a los transportados

por ríos o por deposición atmosférica, corroborando las profundas implicaciones que puede tener la SGD en los ciclos biogeoquímicos del mar Mediterráneo.

GEOTRACES en España

España forma parte de los países que han contribuido desde un inicio al programa GEOTRACES. Los dos principales centros de investigación que han contribuido al desarrollo del programa desde un inicio son el *Laboratori de Radioactivitat Ambiental* de la *Universitat Autònoma de Barcelona* (LRA-UAB) y el *Instituto de Investigaciones Mariñas* (IIM-CSIC) de Vigo. El LRA-UAB ha focalizado sus estudios en la distribución y uso como trazadores de procesos ambientales actuales y del pasado de diversos isótopos radiactivos - radio-228 (²²⁸Ra), torio-234 (²³⁴Th), polonio-210 (²¹⁰Po), plomo-210 (²¹⁰Pb), uranio-236 (²³⁶U), yodo-129 (¹²⁹I), plutonio-239 (²³⁹Pu), plutonio-240 (²⁴⁰Pu), cesio-137 (¹³⁷Cs) o estroncio-90 (⁹⁰Sr) - en diversas secciones oceanográficas y en estudios de procesos a nivel local y regional. Los trabajos realizados en el IIM-CSIC de Vigo se han centrado principalmente en la distribución y comportamiento geoquímico de platino (Pt) y osmio (Os) en los océanos y sedimentos, así como intercambios tierra-océano de tierras raras (REE, Rare Earth Elements en inglés) y elementos traza. En la actualidad la comunidad científica de GEOTRACES en España se ha ampliado a otros centros como la *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria* que estudian el

comportamiento químico del Fe y Cu en el océano y su interacción con la biota; la *Universitat de les Illes Balears* estudia el efecto de la biota y las condiciones fisicoquímicas en el ciclo y la especiación química de Fe y Cu en el medio marino; la *Universitat de Barcelona* que colabora con la medida de las tierras raras y de los isótopos de neodimio (Nd) como trazadores de las mezclas de masas de agua, así como las interacciones entre el continente y el mar costero; el *Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía* (ICMAN-CSIC) realizando medidas de elementos traza - plata (Ag), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), vanadio (V) y zinc (Zn) - en estudios a nivel local, regional y global con el objetivo de entender el papel que juegan estos elementos en los ciclos biogeoquímicos marinos; y el *Centro Oceanográfico de Murcia* (IEO-Murcia) que colabora en el programa midiendo elementos traza realizando estudios para controlar las variaciones anuales de estos metales disueltos y relacionarlo con procesos costeros.

GEOTRACES España ha participado en varias campañas oceanográficas y ha organizado una de las secciones de GEOTRACES en el mar Mediterráneo. Desde GEOTRACES España también se ha contribuido al programa con campañas puntuales dentro de diversos proyectos nacionales que han tenido como principales objetivos el estudio de los flujos de carbono en los océanos, la distribución de radionúclidos artificiales en los océanos, la influencia de la descarga de agua subterránea en los ciclos biogeoquímicos costeros y los estudios de la distribuciones y ciclos biogeoquímicos de diversos elementos traza y sus isótopos. Como por el resto de países participantes en el programa GEOTRACES, las actividades científicas españolas son consultables en la página web del programa.

Bibliografía

- (1) Martin, J., Gordon, R., Fitwater, S. (1991). *Limn. Oceanog.*, 36(8):1793-1802.
- (2) Anderson, R. F., Mawji, E., Cutter, G. A., Measures, C. I., Jeandel, C. (2014). *Oceanography*, 27(1):50-61.
- (3) Mawji, E., Schlitzer, R., Dodas, E.M., Abadie, C., Abouchami, W., et al. (2015). *Mar. Chem.*, 177(1):1-8.
- (4) Resing, J. A., Sedwick, P. N., German, C. R., Jenkins, W. J., Moffett, J. W., Sohst, B. M., Tagliabue, A. (2015). *Nature*, 523(7559):200-203.
- (5) Nishioka, J., Obata, H., Tsumune, D. (2013). *Earth and Planetary Science Letters*, 361:26-33.
- (6) Saito, M. A., Noble, A. E., Tagliabue, A., Goepfert, T. J., Lamborg, C. H., Jenkins, W. J. (2013). *Nature Geoscience*, 6(9):775-770.
- (7) Rodellas V., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Feldman, M., Weinstein, Y. (2015). *PNAS*, 112(13):3926-3939.

El 12 de julio de 2016 se cumplieron 117 años de la primera expedición científica con participación española al océano Ártico. Esta expedición tuvo lugar en 1899 y fue organizada por el Príncipe Luis Amadeo de Saboya, duque de los Abruzzos. Aunque Luis Amadeo de Saboya es considerado un marino, explorador y geógrafo italiano, nació en Madrid (29 de enero de 1873) durante el breve período en que su padre gobernó como rey Amadeo I de España (1870-1873). No obstante, poco después de su nacimiento, su padre renunció a la corona de España y regresó a Italia.

En 1899, Luis Amadeo organizó una expedición al Polo Norte. En la primavera llegó a Christiania, la capital de Noruega (hoy en día Oslo) donde adquirió un barco ballenero de vapor, de 570 toneladas, al que renombrado como *Stella Polare* (*Estrella Polar*). En la tarde del 12 de julio, tras cargar a los perros a bordo, el barco partió desde el puerto de Arjángelsk (en el mar Blanco), descendiendo el río Dvina, hacia la Tierra de Francisco José (hoy Archipiélago de Fritjof Nansen tras ser anexionado por la ex-URSS, Rusia, en 1926) en pleno Océano Glaciar Ártico.

La expedición estuvo formada por veinte hombres que tenían previsto establecer un campamento en la isla Príncipe Rodolfo (Ostrov Rudolfa) y pasar el invierno, para desde allí llegar al Polo Norte con ayuda de los perros. Durante el invierno Luis Amadeo perdió dos dedos por congelación, lo que le impidió participar en la expedición en trineo, que fue dirigida por el capitán Umberto Cagni. El 25 de abril de 1900, Cagni logró llegar hasta la latitud 86°34', estableciendo un nuevo récord en la carrera por la conquista del Polo Norte y regresó al campamento el 23 de junio. El 16 de agosto el *Stella Polare* puso nuevamente rumbo a Noruega.



Príncipe Luis Amadeo de Saboya, duque de los Abruzzos (1873-1933).

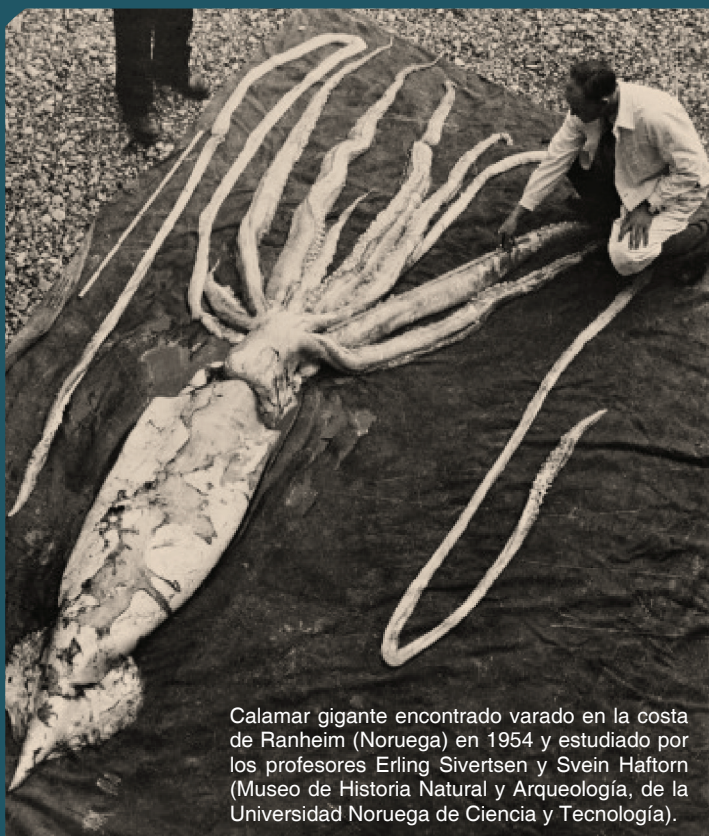


El *Stella Polare* atrapado en el hielo ártico en 1899, con la tripulación construyendo un refugio en tierra ante el riesgo de hundimiento del barco (Jason, 1881).



El Kraken

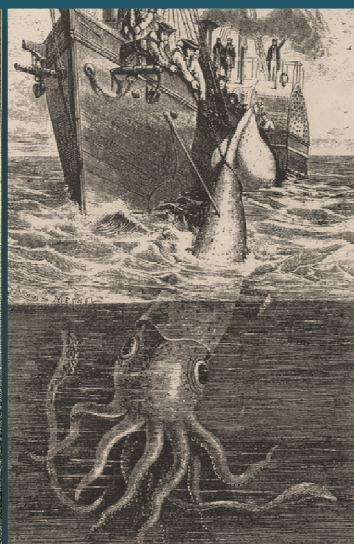
José J. Castro Hernández y
Luis Felipe López Jurado



Calamar gigante encontrado varado en la costa de Ranheim (Noruega) en 1954 y estudiado por los profesores Erling Sivertsen y Svein Haftorn (Museo de Historia Natural y Arqueología, de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología).



(Fig. Sup. Dcha.) Pintura de un Kraken, hecha por Pierre Dénys de Montfort en 1801, a partir de las descripciones de los marineros franceses que afirmaron haber sido atacados en las costas de Angola.



(Fig. Sup. Izda.) Reconstrucción del intento de izado a bordo de un calamar gigante por parte de la tripulación del buque de guerra francés Alecton en 1861 cerca de las aguas de Tenerife.

El Kraken es quizás, gracias al cine, uno de los monstruos marinos legendarios más conocidos en la actualidad, y también el que más fascinación causa entre los científicos. Aunque en el cine y en la literatura muchas veces se le asemeja a un pulpo de gran tamaño (en alemán moderno significa pulpo), los científicos se inclinan a pensar que su leyenda se basa en el avistamiento de calamares gigantes del género *Achiteuthis*. El kraken como animal legendario surge inicialmente en la mitología escandinava, aunque no con este nombre, y generalmente hacen más referencia a peces gigantescos (más bien a ballenas) que a calamares.

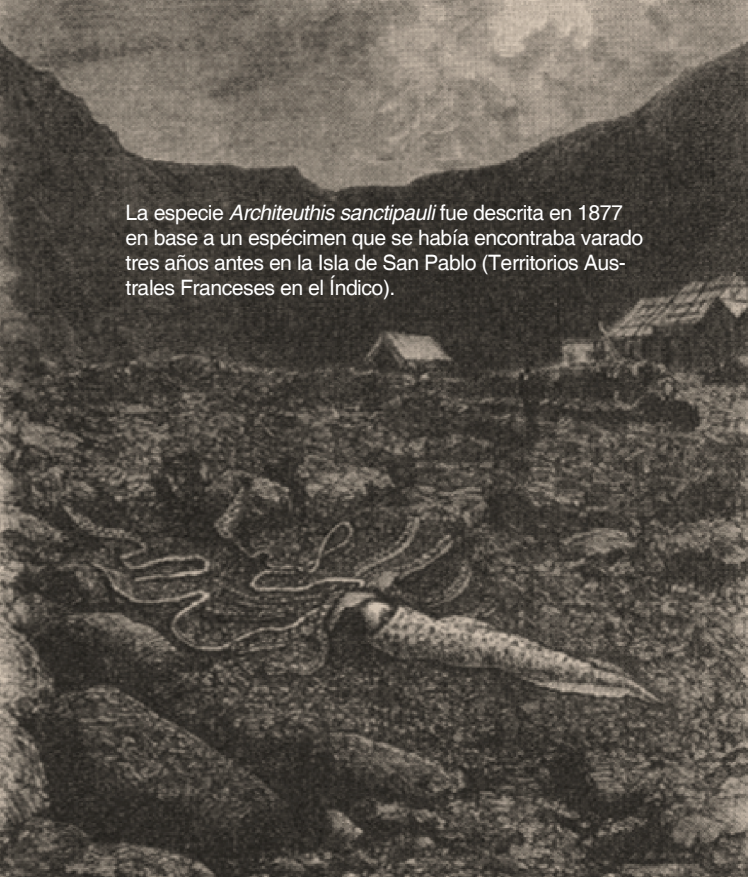
Las descripciones científicas de estos cefalópodos de gran tamaño son muy escasas y las más antiguas se basan en avistamiento hechos por marineros. En el siglo IV a.C., Aristóteles describió un calamar de gran tamaño, en torno a los 10 metros de longitud, al que denominó *teuthus* y que distingue de los calamares más pequeños o *teuthis*. Plinio el Viejo (siglo I d.C.), en su *Naturalis Historia* describe un ejemplar de 320 Kg y con unos brazo de 9,1 metros de largo. Carl von Linné (Linneo), en la primera edición de su libro *Systema Naturae* (1735), incluyó al Kraken con el nombre científico de *Microcosmus*, pero lo excluyó en las ediciones posteriores. No fue hasta 1953, y tras

encontrar un ejemplar de calamar gigante varado en una playa danesa, cuando Japetus Steenstrup clasificó la especie como *Architeuthis dux*.

En la obra del arzobispo de Bergen, Erik Pontoppidan, titulada *Historia Natural de Noruega* (publicada en 1752), se describe al Kraken como un animal "del tamaño de una isla flotante" (de más de 2,4 kilómetros de largo), y que por confusión figuran en algunos mapas. Debido al tamaño descomunal, cuando el Kraken se sumergía el remolino que generaba podía arrastrar a los barcos hacia el abismo, pero también podía aferrarse al mayor buque de guerra y tirar de él hasta el fondo. Curiosamente, Pontoppidan menciona que el Kraken se asociaba a ciertas especies de peces y medusas, de modo que cuando los pescadores noruegos pescaban cerca de un kraken la pesca era abundante, con el consecuente riesgo, pero si aparecían unos pólipos llamados *gigantopólipos resplandecientes*, era que estaban pescando sobre el lomo del Kraken y eso significaba la muerte segura.

Aunque el Kraken se asocia generalmente a un calamar gigante, o a un pulpo, es muy posible que muchos de los avistamientos relatados por marineros no fueran otra cosa que ballenas o incluso fenómenos asociados a las actividades volcánicas submarinas

La especie *Architeuthis sanctipauli* fue descrita en 1877 en base a un espécimen que se había encontrado varado tres años antes en la Isla de San Pablo (Territorios Australes Franceses en el Índico).



Grabado que representa a la tripulación del submarino Nautilus luchando contra el calamar y pulpos gigantes que tenían retenida a la nave en la novela de Julio Verne, *Veinte mil leguas de viaje submarino*.



que ocurren en las proximidades de Islandia. Así, en la descripción que se hace en el libro *Histoire Naturelle Générale et Particulière des Mollusques* (1801), Dénys de Montfort diferencia entre el pulpo Kraken, en base a textos de Plinio el Viejo y relatos de marineros nórdicos y balleneros de América, y el pulpo colosal (más grande) y cuya descripción la realiza a partir de la noticia del ataque al velero de *Saint-Malo*, frente a las costas de Angola. A esta imagen de pulpo colosal también contribuyó la novela de Julio Verne *Veinte mil leguas de viaje submarino*, publicada en 1870, aunque el cefalópodo que finalmente ataca al submarino *Nautilus* fue un calamar (en varias partes del texto también cita el ataque simultáneo de varios pulpos gigantes). Curiosamente, en esta novela de Verne se hace mención a un calamar gigante avistado por el buque de guerra francés *Alecton*, en 1861, en aguas de Tenerife.

En referencia al encuentro del *Alecton* con un calamar gigante el 30 de noviembre de 1861, el periódico *El Eco del Comercio* (de Santa Cruz de Tenerife) publicaba el 14 de diciembre una traducción hecha por José Luis Casaseca del informe redactado por Sabino Bethelot (cónsul francés en Canarias), y enviado al Gobierno Francés: "Aquel animal, por la descripción y el dibujo que de él se han hecho, tenía de 15 a 18 pies de largo, sin contar sus ocho formidables brazos que podían extenderse en derredor de su cabeza, como lo hacen los pulpos; su color era rojo de ladrillo, sus ojos nivelados con su cabeza estaban

prodigiosamente desarrollados y su fijeza era espantosa; la boca en forma de pico de papagayo, como la de los calamares y de los pulpo podía tener cerca de medio metros de ancho (más de media vara española); su cuerpo fusiforme, pero muy abultado hacia el centro, formaba una enorme masa, cuyo peso ha sido valuado en más de cincuenta quintales (cinco mil libras); las aletas, situadas en el extremo posterior, que fueron vistas y examinadas a bordo del *Alecton* por la persona a quien debemos esta relación, estaban redondeadas en forma de anchos lóbulos carnosos, glutinosos u grandísimo volumen".

Hoy en día existe muy poca información sobre la biología y ecología de estos grandes calamares, incluso continua el debate de si se trata de una única especie o si son mas (hasta 8 según algunos científicos). El más grande de los *Architeuthis* registrados alcanzó 21 metros de longitud incluyendo los tentáculos y un peso de 275 Kg (Nueva Zelanda en 1933, y no confirmado científicamente), pero la gran mayoría de los ejemplares capturados no alcanzan estas dimensiones (hasta 10 metros y 178 Kg los machos y hasta 14 m y 312 Kg las hembras). Se estima que su longevidad oscila entre 1 y 3 años, lo que implica una tasa de crecimiento de 3 a 5 cm al día. Habitan aguas profundas, que pueden superar los 1000 metros, donde se alimentan de peces y pequeños crustáceos, siendo los cachalotes uno de sus principales predadores conocidos.

Okeanos de fotos

Dr. Mario Hoppmann, oceanógrafo físico experto en hielo marino adscrito desde 2011 al Instituto Alfred Wegener en Bremerhaven, Alemania. En 2015 realizó su doctorado sobre la interacción entre el hielo marino y las barreras de hielo de la Antártida. Ahora su interés se centra en la investigación de las plataformas autónomas de hielo en el océano Ártico. Consiguió su primera buena cámara en 2008, y la fotografía se convirtió rápidamente en su pasión desde entonces. Muchas de sus fotografías tomadas durante las expediciones en las regiones polares se encuentran en páginas web, calendarios y libros.



Descifrando partículas en el Ártico

El caso de una fuente hidrotermal en la Cordillera Gakkel



Foto: Mario Hoppmann.

**Helen Planquette¹, Aridane G. González²
y Ewan Pelleter³**

1-CNRS, UMR 6539 LEMAR; 2-LabexMer, Institut Universitaire Européen de la Mer Plouzane; 3- Département Ressources physiques et Ecosystèmes de fond de Mer - REM, IFREMER - Bretagne (Francia).

Los cambios medioambientales relacionados con el cambio climático ya han impactado sobre el ecosistema marino Ártico en su totalidad¹. Debido a factores de estrés importantes como la acidificación oceánica, la estacionalidad extrema de los periodos de iluminación, los cambios de turbidez, las entradas de macro y micronutrientes, como las condiciones del hielo por las descargas de glaciares y ríos, producen que el paisaje físico-químico del Ártico esté constantemente en evolución, lo cual impacta en la estructura del fitoplancton². Esto es particularmente importante porque el fitoplancton es la base de la cadena trófica marina. Como consecuencia, la estructura, la funcionalidad y la biodiversidad del ecosistema marino del Ártico se han visto modificados. Algunos elementos, como los metales traza que están presente a niveles sub-nanomolares, ejercen un papel relevante en las células fitoplanctónicas. En particular, el hierro, cobre, manganeso, zinc, cadmio, níquel y cobalto son conocidos como las “vitaminas” del mar³. Además, como el hielo marino se está retrayendo, aumenta la transferencia de materia desde la costa hacia el océano alimentando las redes tróficas y alterando los ciclos biogeoquímicos de estos metales traza. Estos metales traza, en el océano, están presentes en diferentes formas físicas: como disueltos o partículas. Estas fracciones diferentes son operativamente definidas respecto a su tamaño (separados

En el Ártico las partículas tienen diferentes orígenes: atmosférica, ríos, hidrotermales, sedimentos, icebergs, fusión del hielo marino y, finalmente, material biogénico vivo y no vivo.

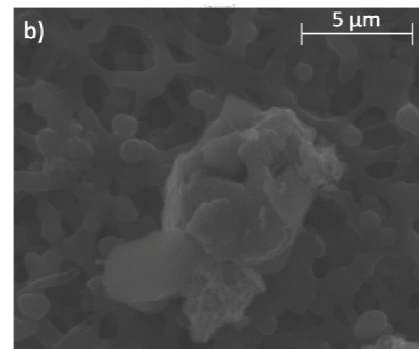
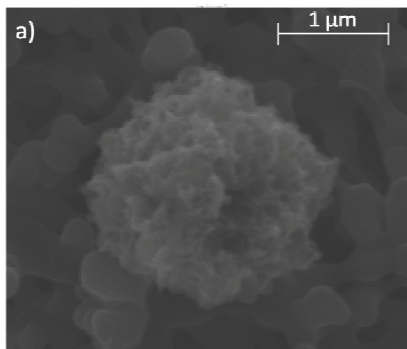
a 0,4 μm). Debido a sus bajas concentraciones en el océano y la dificultad técnica de producir análisis fiables se conoce muy poco sobre estos metales traza.

Por lo tanto, nuestro conocimiento en la distribución de elementos traza, disueltos y particulados, en la mayor parte de las provincias oceánicas sigue siendo muy limitado, incluyendo el Ártico⁴, el cual es aún más difícil de estudiar debido a la cobertura de hielo y las condiciones extremas. Por todas estas razones, se vuelve muy importante monitorizar las diversas entradas de metales traza (basal, ríos, capas sub-glaciales, icebergs, hielo marino...) y como su fuerte afectan seriamente a la distribución, especiación y bio-disponibilidad de los elementos traza que tendrán impacto en los ecosistemas.

En el Ártico, y el océano en general, las partículas tienen diferentes orígenes: atmosférica, ríos, hidrotermales, sedimentos, icebergs, fusión del hielo marino y, finalmente, material biogénico vivo y no vivo. Dependiendo de su origen, las partículas llevarán diferentes concentraciones de metales traza creando lo que se denomina científicamente “gradientes”. Por lo tanto, las partículas llevan información abundante sobre sus fuentes y transformaciones, siendo muestras preciosas para su análisis. Una vez las muestras de partículas se recolectan y se analizan, los científicos se enfrentan a todo un rompecabezas para entender la historia de estas partículas.



Fig. 2. Ejemplo de a) una partícula de óxido de Manganeso, b) una partícula de arcilla, ambas encontradas en las inmediaciones de la dorsal de Gakkel.



Bibliografía

- (1) Duarte, C.M., T.M. Lenton, P. Wadhams y P. Wassmann (2012). *Nature Climate Change*, 2(2):60-62.
- (2) Slagstad, D., P.F. Wassmann e I. Ellingsen, I. (2015). *Front. Mar. Sci.*, 2:85.
- (3) Sunda, W.G. (2012). *Front. Microbiol.*, 3(204):10-3389.
- (4) Moore, R.M. (1983). Trace metals in sea water (pp. 131-142). Springer US.
- (5) Edmonds, H.N., P.J. Michael, E.T. Baker, D.P. Connelly, J.E. Snow, C.H. Langmuir, ... y D.W. Graham, D. W. (2003). *Nature*, 421(6920): 252-256.
- (6) Tagliabue, A. (2014). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(47): 16641-16642.

En este contexto se han recolectado muestras de material disuelto y particulado durante la campaña científica TransArc II (Trans-Arctic Survey of the Arctic Ocean in Transition, a bordo del buque Polarstern, entre agosto y octubre de 2015) como parte del programa internacional GEOTRACES. En total, 400 muestras de material particulado fueron recolectadas a lo largo de la columna de agua en 32 estaciones diferentes, desde la cuenca Euroasiática hasta la cuenca Makarov. El tema central del estudio es investigar las entradas de metales traza particulados desde los grandes ríos y las amplias plataformas alrededor del Ártico, su distribución en las diferentes masas de aguas superficiales en el Ártico Central y su destino a través de la interacción con partículas, hielo y algas.

Hasta la fecha se han analizado alrededor de una quinta parte de las muestras, ya que estos análisis requieren de mucho tiempo de laboratorio y de instrumentos analíticos, tales como espectrómetro de masas y microscopio electrónico de barrido. Los primeros esfuerzos se centraron en las muestras recolectadas sobre la dorsal Gakkel (Figura 1). Esta dorsal está a 1800 km de la Dorsal Centro Oceánica localizada cerca de Groenlandia. Desde 2001 se han identificado allí fuentes hidrotermales⁵, pero se conoce muy poco sobre su química y, en particular, su papel en la liberación de metales traza. Muy recientemente, se ha mostrado que las fuentes hidrotermales podrían contribuir en más de un tercio a la cantidad global de hierro⁶, fortaleciendo la necesidad de re-evaluar la importancia de las zonas hidrotermales en los ciclos biogeoquímicos de estos metales traza esenciales. Los gradientes físicos y químicos extremos, caracterizando el ambiente hidrotermal, propician profundos cambios cuando el fluido hidrotermal contacta con el agua de mar. Sin embargo,

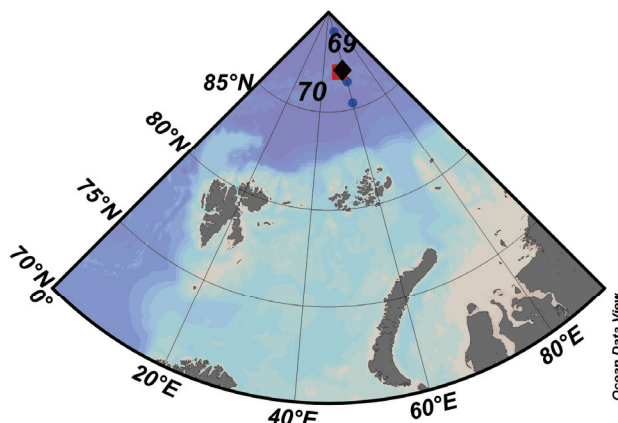


Fig. 1. Localización de las estaciones 69 y 70 sobre la dorsal de Gakkel.

los procesos que regulan el transporte de hierro desde zonas hidrotermales remotas, incluyendo la estabilización de los coloides y material disuelto por los ligandos orgánicos y los intercambios entre los compartimentos disuelto y particulado, aún son desconocidos.

Los resultados preliminares mostraron que el hierro disuelto (ver el artículo de Rijkenberg y colaboradores), así como la concentración de hierro y manganeso particulado se multiplicaron cerca de la zona de la fuente, probablemente un indicativo de la presencia de la fuente hidrotermal. Un paso hacia adelante en este estudio consistió en observar la naturaleza y la composición de estas partículas bajo el microscopio electrónico de barrido (Figura 2).

Estos análisis revelaron dos tipos de partículas: óxidos de manganeso (Figura 2a), originadas por la actividad hidrotermal, y partículas de arcilla (Figura 2b), también ricas en manganeso, pero que no son originadas por la actividad hidrotermal (es más probable que sean sedimentos resuspendidos). Por lo tanto, el aumento en la concentración de hierro y manganeso que inicialmente medimos, no fueron sólo debido a la actividad hidrotermal, sino que también está ligado a otras fuentes de origen sedimentario.

Las partículas han proporcionado una información muy útil acerca de las fuentes de metales traza sobre la dorsal de Gakkel, pero ahora, tenemos que ir un paso más allá para entender cómo estas partículas están interactuando y en qué medida proporcionan una fuente de hierro biodisponible para las comunidades fitoplanctónicas de las zonas circundantes.



Foto: Mario Hoppmann.

SISTEMA DE OBSERVACIÓN DEL HIELO Y LA ATMÓSFERA EN EL OCÉANO ÁRTICO, 2011-2019

Provost C.¹, Pelon J.², Sennéchaël N.¹, Villacieros-Robineau N.¹, Savy J.P.³, Koenig Z.¹, Mariage V.², Calzas M.⁴ y Guillot A.⁴

¹UPMC/LOCEAN, Paris; ²LATMOS, Paris; ³LEGOS, Toulouse; ⁴INSU, Brest (Francia)

IAOOS

Desde el comienzo de la era industrial, el Ártico se ha calentado el doble de rápido que el resto de regiones del mundo, lo que ha producido una disminución del 75% del volumen de hielo marino en los últimos 30 años. Esta reducción del hielo marino en el Ártico ya está afectando a los ecosistemas locales y a los patrones climáticos de las latitudes medias. De hecho, las regiones polares desempeñan un papel fundamental en la regulación y amplificación del clima global. Por ello, es de vital importancia conocer y comprender los cambios que se están produciendo en esta región aumentando el número de observaciones. El Ártico es, sin embargo, el océano con el número de observaciones relativamente más bajo de todos los océanos del planeta. La existencia de la banquisa polar (placa de hielo marino) imposibilita la entrada de los buques de investigación oceanográfica tradicionales, dejan-

do paso únicamente a un reducido número de buques rompehielos con un elevado coste por campaña. Es necesario, por tanto, remediar esta falta de observaciones en el Ártico recurriendo a los avances tecnológicos actuales, con el fin de mejorar la comprensión del sistema climático de la región y de sus vínculos con el resto del planeta.

La clave para documentar y comprender el cambio en el Ártico es el seguimiento u observación continua. El alto coste de las operaciones árticas hace de las observaciones por satélite, o las plataformas autónomas de larga duración, una solución rentable para observar continuamente los cambios en curso en tiempo casi real. En este sentido, en 2011 se puso en marcha el proyecto de observación ártica IAOOS (Ice Atmosphere Ocean Observing System, <http://www.iaoops-equipex.upmc.fr>, <http://iaoops.ipev.fr/>) (figura 1).

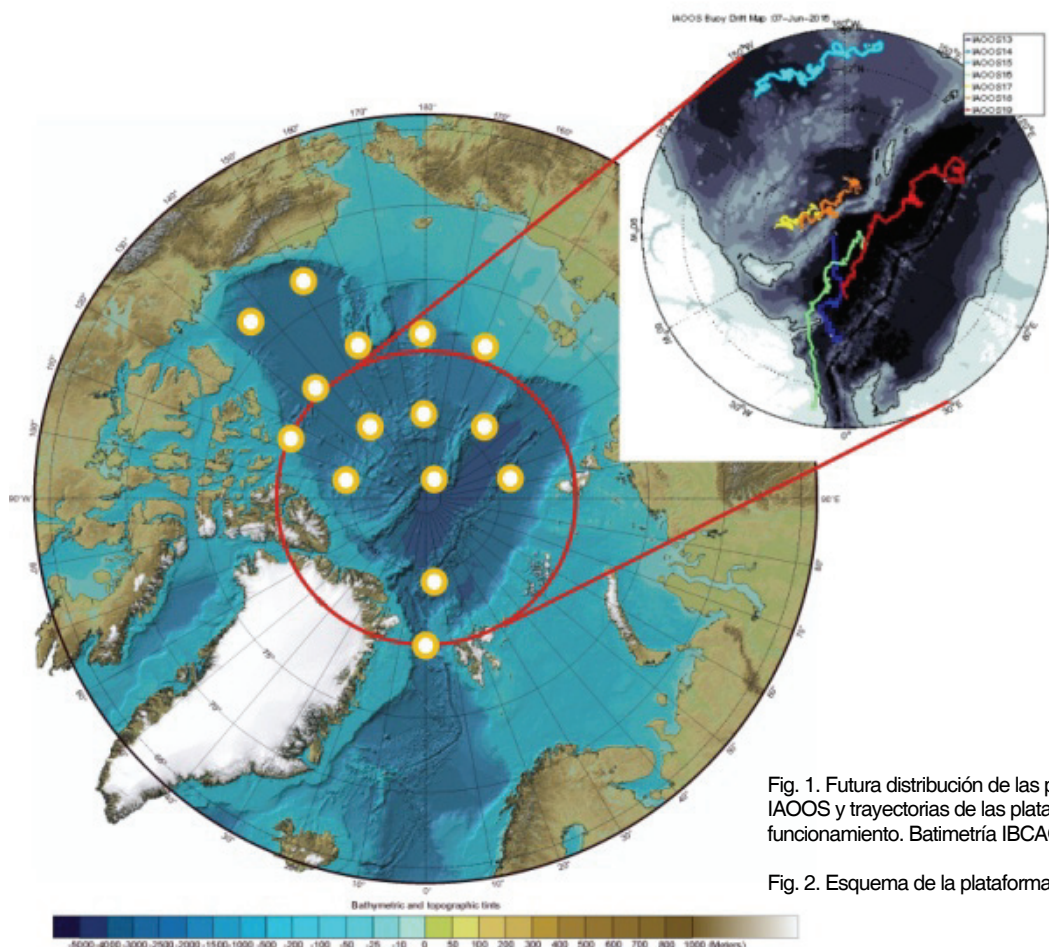


Fig. 1. Futura distribución de las plataformas IAOOS y trayectorias de las plataformas en funcionamiento. Batimetría IBCAO.



Fig. 2. Esquema de la plataforma IAOOS.

IAOOS es un proyecto financiado por Francia de nueve años de duración (2011-2019) y que tiene por objetivo desarrollar y mantener una red de plataformas de observación. Cada una de estas plataformas es un sistema integrado de observación sobre el océano Ártico que recoge información sinóptica y en tiempo casi real del estado de la atmósfera, la nieve, el hielo marino y el océano (desde los 800m de profundidad en el océano hasta los 5 primeros kilómetros de la atmósfera). El objetivo es alcanzar una sistema de 15 plataformas IAOOS autónomas que operen simultáneamente en el océano Ártico durante un período total de 4 años.

Cada plataforma se compone de 3 partes diferenciadas para la realización en la vertical de medidas del océano, el hielo marino, la nieve y la atmósfera (figura 2).

La sección marina consta principalmente de un perfilador oceánico que es una evolución de los perfiladores ARGO (<http://www.argo.ucsd.edu/>). Su funcionamiento se basa en cambiar su flotabilidad mediante un sistema de variación de su densidad interna. Estos perfiladores están adaptados para funcionar guiados por un cable a lo largo del cual se deslizan verticalmente de forma repetida entre la superficie y 800 metros de profundidad midiendo presión, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. La transmisión de

los datos a la boya de superficie se realiza mediante un sistema de comunicación inductiva.

Para la observación del hielo y la nieve y su interfase con el océano y la atmósfera, la plataforma dispone de un instrumento llamado Ice Mass Balance (IMB), que es capaz de medir el espesor del hielo marino, la profundidad de la nieve, el perfil de temperatura con una resolución vertical de 2 cm y de identificar las interfases de aire-mar-hielo-océano.

Por último, para la observación de la atmósfera se dispone de varios equipos: una estación meteorológica que mide la presión atmosférica, la temperatura y la humedad, un microlidar autónomo que permite medir la composición química de la capa inferior de la atmósfera (hasta 5 km) y un sensor óptico ODS que mide la irradiancia.

Tanto la sección marina como la atmosférica son gestionadas a su vez por un cerebro central que se comunica con los instrumentos, proporciona la posición GPS y se encarga de transmitir por comunicación satelital iridium los datos medidos a una base de recepción en Brest (Francia). Posteriormente, los datos recibidos son utilizados en nuestros laboratorios de París (LOCEAN y LATMOS) donde se procesan y analizan.

Los tres primeros años del proyecto se dedicaron al desarrollo y prueba *in situ* de los prototipos de pla-



Fig. 4. Plataforma IAOOS en una laguna de deshielo el 26 de Julio de 2013 (foto tomada desde la webcam).



Fig. 5. Plataforma IAOOS durante la campaña N-ICE en febrero de 2015.

taforma IAOOS. Desde la primera campaña de abril de 2012 en el Polo Norte (BARNEO, <http://barneo.ru/>, <https://www.facebook.com/BameoRu?fref=ts>), se fueron añadiendo más y más instrumentos hasta llegar a la configuración completa final. Estas plataformas de prueba derivaron desde su instalación en los meses de abril de 2012, 2013 y 2014 hacia el sur hasta llegar al estrecho de Fram (septiembre, octubre), proporcionando datos durante la primavera, verano y otoño (figura 3). La instalación de un sistema de cámaras permitió obtener información sobre las condiciones ambientales y fue particularmente útil para interpretar los datos medidos durante la formación y desaparición de una laguna generada por el deshielo parcial de la banquisa en julio de 2013 (Figura 4).

Una campaña en el invierno ártico

Entre enero y marzo de 2015, la IAOOS formó parte de la campaña organizada por el Instituto Polar Noruego (NPI) a bordo del Buque de investigación Lance. Esta campaña forma parte del proyecto N-ICE 2015 (#NICE2015Arctic en Instagram y Twitter y <http://www.npolar.no/en/expedition-field/n-ice2015>). El buque de investigación Lance avanzó hacia el Polo Norte quedando congelado en el hielo al norte del Archipiélago de Svalbard, en 83,25°N y 30°E, y derivó dejándose llevar por el movimiento del hielo (figura 5). La campaña N-ICE consintió en un campo de investigación sobre el propio hielo en pleno invierno ártico. Los objetivos eran estudiar los procesos e interacciones entre la capas superior del océano, el hielo marino, la nieve y la atmósfera. Más allá de la participación en los objetivos científicos de la deriva, los científicos del UPMC-LOCEAN y el CNRS-LEGOS+LATMOS llevaron a cabo pruebas completas sobre dos plataformas IAOOS y dos sistemas oceánicos, en las duras condiciones invernales con temperaturas de hasta -40°C y diversas tormentas

Desde la primera campaña de abril de 2012 en el Polo Norte se fueron añadiendo más y más instrumentos hasta llegar a la configuración completa final.

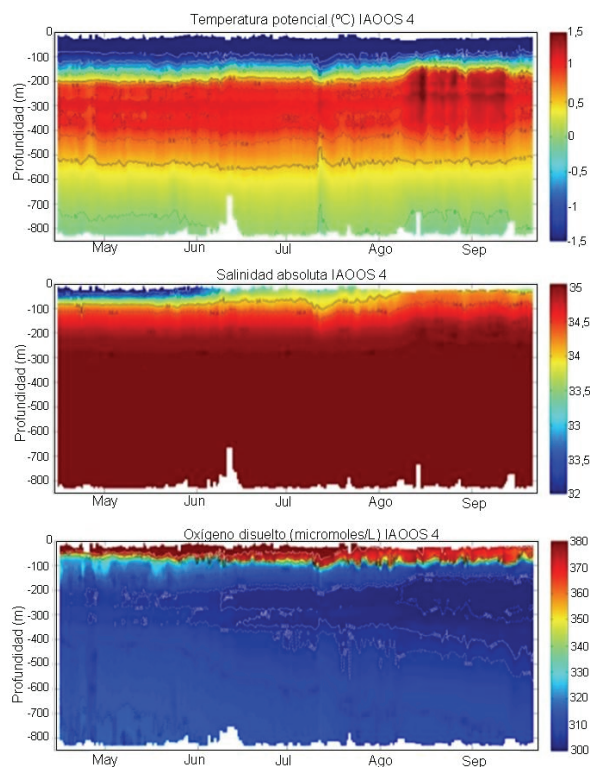


Fig. 3. Datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de la plataforma IAOOS 2013, desde abril (Polo Norte) hasta octubre (Estrecho de Fram).

Fig. 6. Instalación de una plataforma durante la campaña del Araon.



Fig. 7. Instalación de una plataforma durante la campaña del Polarstern.

polares durante la oscuridad de la noche polar (figura 5). Se prestó especial atención a los instrumentos atmosféricos probando su eficacia contra la formación de hielo en las ventanas ópticas de los aparatos y a la calibración del lidar para las mediciones de aerosoles troposféricos. N-ICE fue también una excelente oportunidad para probar nuevos sensores destinados a la observación de parámetros biogeoquímicos en el océano. Particularmente en el perfilador oceánico, se añadió un paquete instrumental RemA que incluye un radiómetro, un fluorómetro de clorofila y CDOM (materia orgánica disuelta coloreada), y un detector de retrodispersión. Además, se llevaron a cabo medidas de la dinámica del movimiento vertical de los perfiladores oceánicos y se probaron nuevos sensores de pCO_2 y pH que serán añadidos a las plataformas IAOOS próximamente.

Entre los resultados de N-ICE analizados hasta el momento destaca la observación en pleno invierno del proceso ya conocido de fusión de la capa de hielo por su parte inferior, por efecto del aumento de las temperaturas en el océano¹. Este proceso de calentamiento superficial del océano es típico en esta zona del Ártico donde la entrada de corrientes marinas provenientes del atlántico son más cálidas y aumentan la temperatura hasta rebasar los límites de fusión del hielo. Estos fenómenos se acentúan en las proximidades del talud continental donde fenómenos de afloramiento aumentan dicho efecto. También se ha constatando por primera vez la formación de hielo marino a partir de la nieve acumulada en combinación con agua marina. Este proceso había sido ampliamente observado en el océano Antártico pero nunca en el Ártico.

Después de esta última campaña de pruebas, comenzó en verano de 2015 la primera fase de puesta en marcha de la red de plataformas. El equipo IAOOS participó en dos campañas que accedieron al océano Ártico desde lados opuestos. La primera campaña de

tres semanas partió desde Nome (Alaska, EEUU) y se desarrolló a bordo del Buque de Investigación rompehielos coreano Araon (en colaboración con el instituto polar coreano KOPRI, <http://www.kopri.re.kr/>) gracias a la cual se realizó la instalación de dos plataformas (figura 6). Por otra parte, desde Tromsø (Noruega) partió el Buque de Investigación Polarstern (campaña Transarc II, Instituto Alfred Wegener AWI <https://www.awi.de/en.html>) con rumbo al Polo Norte y en cuyo transcurso, de 8 semanas, por el Ártico Central se instalaron 4 plataformas (figura 7).

En este momento están en funcionamiento 6 plataformas IAOOS (figura 1) a las que se sumarán otras dos más en verano de 2016 gracias a una nueva campaña a bordo del buque Araon.

Entre los resultados de N-ICE analizados hasta el momento destaca la observación en pleno invierno del proceso ya conocido de fusión de la capa de hielo por su parte inferior, por efecto del aumento de las temperaturas en el océano. Este proceso de calentamiento superficial del océano es típico en esta zona del Ártico.

Bibliografía

- (1) Provost C., Pelon J., Sennéchaël N., Calzas M., Blouzon F., et al. (2015). Mercator Ocean Quarterly Newsletter, Mercator Ocean, 2015, Special Issue with ICE-ARC, pp.13-15.



¿Por qué nos
importa un

Ártico dulce?

Benjamin Rabe

Instituto Alfred Wegener de Investigación Polar
y Marina (AWI), Bremerhaven, Alemania

El océano Ártico (Figura 1) tiene un marco geográfico, estacionalidad y una estructura vertical oceánica únicos. Alrededor del 11% del agua dulce transportada por los ríos de la Tierra llegan a este océano¹, que no alcanza el 5% de la superficie ocupada por todos los océanos mundiales². El hielo cubre una parte del Ártico durante todo el año, pero otras partes quedan libres de hielo a final del verano. Mientras que la mayor parte del agua superficial en el Ártico está cerca al punto de congelación, el agua relativamente cálida de origen atlántico entra al Ártico procedente de los mares nórdicos a través de la abertura del Mar de Barents y el Estrecho de Fram. Esta agua es rápidamente enfriada cerca de la superficie, intercambiando calor con la atmósfera, con la posterior congelación o fusión de la superficie del mar³. Esto, junto con la gran cantidad de entrada de agua dulce, produce una columna de agua muy estable con poca mezcla vertical a lo largo de la mayor parte del Ártico Central.

La mayor parte del agua cálida, aún presente en cientos de metros bajo la superficie, simplemente no

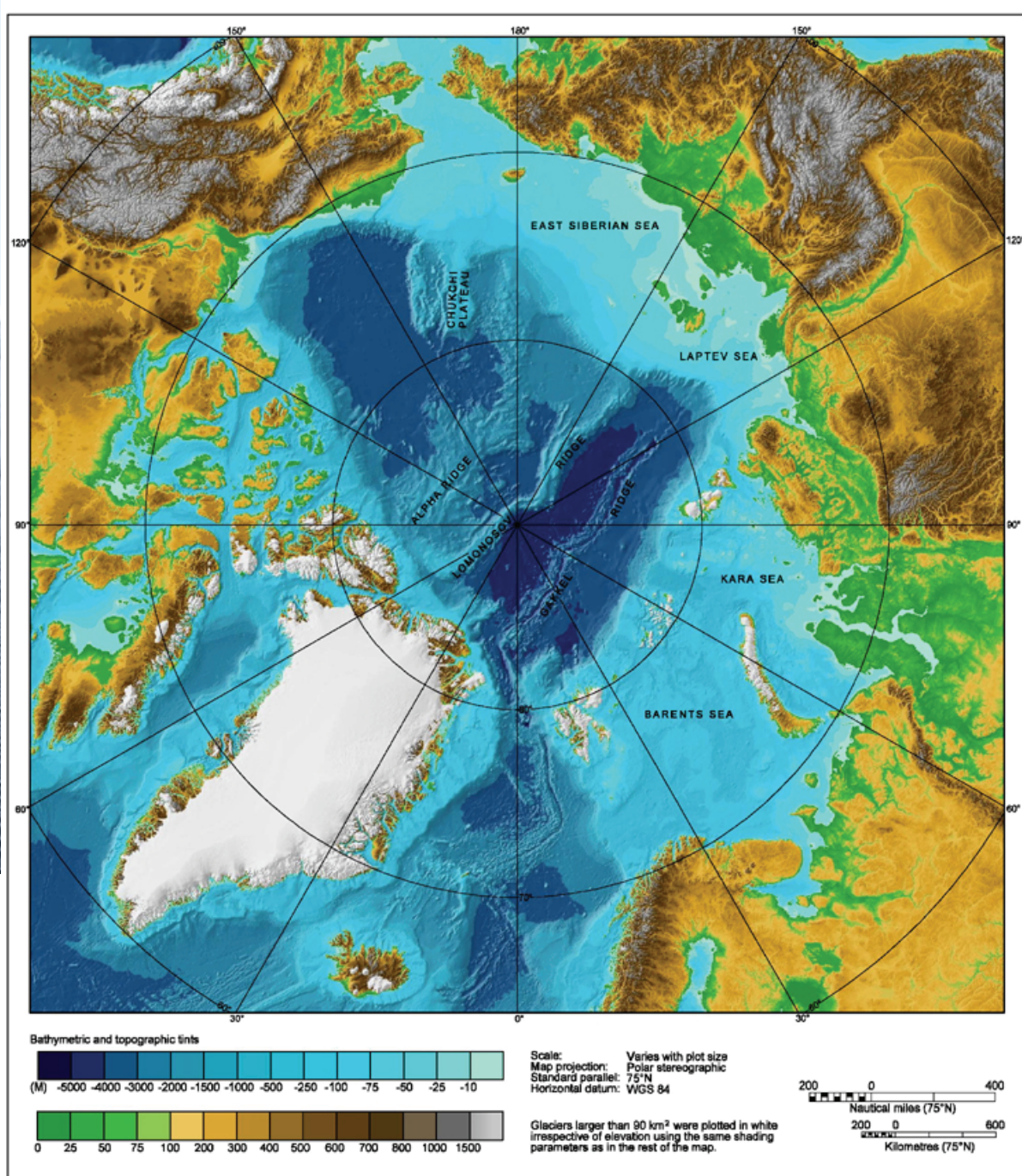
puede alcanzar la capa superficial y el hielo marino. Incluso el agua relativamente cálida procedente del océano Pacífico, que entra en el océano Ártico a través del Estrecho de Bering⁴, normalmente se encuentra más cerca de la superficie respecto al agua cálida Atlántica pero está igualmente aislada de la superficie por la columna de agua tan estable presente en las cuencas Árticas. Toda esta agua dulce en el océano Ártico es finalmente exportada a través de los pasajes a ambos lados de Groenlandia⁵. Si el sistema está en equilibrio, la cantidad de agua dulce que entra en el Ártico es igual a la cantidad que sales a través de estos pasos.

El Ártico es un ambiente duro al que es muy difícil acceder para los barcos de investigación, debido a la densa cobertura de hielo marino, en particular durante la estación invernal. Las nuevas tecnologías han permitido a los científicos estudiar el Ártico Central a través de boyas autónomas que derivan con el hielo marino. Este tipo de boya miden los perfiles de temperatura y salinidad del océano, moviéndose hacia arriba y hacia abajo en un cable fijado a una boya de



Foto: Mario Hoppmann.

Fig. 1. Mapa batimétrico del Ártico obtenido de WIKIPEDIA e IB-CAO^{13,14} con nombres de las características batimétricas. Las cuencas profundas están sombreadas en azul oscuro.



superficie en el hielo marino. Así, durante la expedición del rompehielos R/V Polarstern, entre agosto y octubre de 2015, se desplegaron varias de estas boyas. Esto fue un esfuerzo conjunto entre el Centro Helmholtz del Instituto Alfred-Wegener para la Investigación Polar y Marina (AWI, Alemania) y el Laboratorio de Oceanografía y Clima/Universidad Pierre y Marie Curie (LOCEAN / UPMC, Francia), donde se utilizaron dos tipos de boyas de investigación^{6,7}. Estas boyas han estado enviando datos de temperatura y salinidad de forma continua hasta ahora, posibilitando el uso de estas observaciones, en combinación con las medidas tomadas por barcos y seguimiento aéreos, para estimar la cantidad de agua dulce y calor en la capa más superficial del océano Ártico.

La circulación termohalina

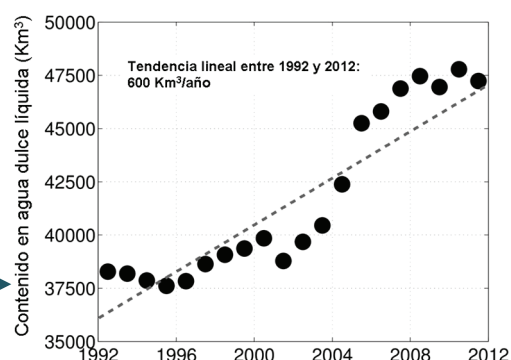
Desde 1982 se ha ido construyendo una serie temporal de medidas anuales del volumen de agua dulce líquida existente en las capas superficiales de las cuencas del océano Ártico⁸. Serie que muestra un claro incremento entre 1992 y 2012 (Figura 2).

El agua dulce líquida exportada desde el Ártico puede tener un efecto en la formación de agua profunda en el Atlántico Norte^{9,10,11}, e influir en la estructura vertical del océano Ártico más superficial. El agua profunda se forma por enfriamiento superficial en los mares de Irminger y del Labrador durante el invierno. Este proceso es parte de la conocida como "Cinta transportadora termohalina", que transporta calor entre las diferentes partes de los océanos mundiales.



Foto: Mario Hoppmann.

Fig. 2. Contenido en agua dulce líquida (relativa a una salinidad de 35) en la capa entre la superficie y la capa con salinidad 34 para el periodo 1992-2012⁸.



Se llama termohalina ya que implica la influencia de la temperatura y salinidad sobre la densidad y, por lo tanto, a la probabilidad de que la superficie se mezcle con aguas más profundas en la columna de agua. Si el agua del Atlántico Norte se convierte en agua más dulce, el agua superficial sería menos densa y, entonces, el agua profunda se formaría a una velocidad más lenta. Hace alrededor de 12000 años, durante el periodo conocido como “Dryas Reciente”, la superficie más dulce del Atlántico Norte provocó que se interrumpiera por completo la formación de agua profunda en esta región¹². Si el agua dulce líquida que se ha almacenado en el océano Ártico durante los últimos 20 años fueran parcialmente liberada, podría influir en la formación de agua profunda del Atlántico Norte y en la normal circulación de cinta transportadora global, aunque probablemente en un grado mucho menor que el ocurrido durante el Dryas Reciente.

Aunque la entrada de agua dulce y la cobertura de hielo marino muestran una tendencia a lo largo de las últimas décadas, también debería haber oscilaciones en el contenido de agua dulce del Ártico, y este es el objetivo de las futuras investigaciones.

Bibliografía

- (1) Fichtot, C. G., K. Kaiser, S. B. Hooker, R. M. W. Amon, M. Babin, S. Belanger, S. A. Walker, and R. Benner (2013). Scientific Report, 3, doi:10.1038/srep01053.
- (2) <https://www.wikipedia.org/> (visitada el 14/6/2016)
- (3) Rudels, R., E. P. Jones, U. Schauer, and P. Ericksson (2004). Polar Res., 23(2):181–208.
- (4) Woodgate, R. A., T. J. Weingartner, and R. Lindsay (2012). Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2012GL054092.
- (5) Dickson, R., B. Rudels, S. Dye, M. Karcher, J. Meincke, and I. Yashayaev (2007). Prog. Oceanogr., 73:210–230.
- (6) <http://www.whoi.edu/itp> (visitada el 14/6/2016)
- (7) <http://www.iaos-equipex.upmc.fr> (visitada el 14/6/2016)
- (8) Rabe, B., M. Karcher, F. Kauker, U. Schauer, J. M. Toole, R. A. Krishfield, S. Pisarev, T. Kikuchi, and J. Su (2014). Geophys. Res. Lett., 41(3), 961–968.
- (9) Hakkinen, S. (1999). J. Climate, 12:1781–1795.
- (10) Haak, H., U. Jungclauss, U. Mikolajewicz, and M. Latif (2003). Geophys. Res. Lett., 30:1473.
- (11) Manabe, S., and R. J. Stouffer (1999). Tellus A, 51:91–109.
- (12) https://en.wikipedia.org/wiki/Younger_Dryas (visitado el 14/6/2016)
- (13) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBCAO_betama_p.jpg (visitada el 14/6/2016)
- (14) Jakobsson, M., R. Macnab, L. Mayer, R. Anderson, M. Edwards, J. Hatzky, H. W. Schenke, and P. Johnson (2008). Geophys. Res. Lett., 35(7):L07602.

UN UNIVERSO DE PALABRAS



www.mercurioeditorial.com

MERCURIO
EDITORIAL



Metales traza Del Big Bang al Océano Ártico

**Micha J. A. Rijkenberg, Loes J. A. Gerringa
y Hans A. Slagter**

*NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research, Department of
Ocean Systems (OCS), Utrecht University, P.O. Box 59, 1790 AB
Den Burg, Texel, Holanda*

Todos los seres vivos de la Tierra necesitan de la presencia de distintos metales trazas que participan en procesos bioquímicos importantes como la fotosíntesis. Algunos ejemplos de metales traza bioesenciales son el hierro (Fe), el zinc (Zn), el níquel (Ni) y el manganeso (Mn). Otros metales traza como el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) no tienen función biológica y son tóxicos. La concentración de metales traza en los océanos es extremadamente baja, siendo el hierro uno de los más importantes.

La concentración de hierro es muy baja y limita el crecimiento del fitoplancton en aproximadamente el 40% del océano superficial. Esto es importante ya que estas células vegetales constituyen la base de las cadenas tróficas marinas y son un factor importante en el ciclo del carbono y, por tanto, afectan al cambio climático. Como parte de un gran proyecto internacional llamado GEOTRACES (www.geotraces.org) se mide la distribución de estos metales traza en el océano global incluyendo el ampliamente inexplorado océano Ártico. En el verano de 2015, nos embarcamos en el rompehielos alemán R/V Polarstern uniendo esfuerzos con los científicos que estaban a bordo de los rompehielos americanos y canadienses USCGC Healy y CCGS Amundsen, para medir la distribución de elementos traza a través del océano Ártico.

Fig. 1. Depósitos de hierro en forma de estromatolitos fosilizados encontrados en el oeste de Australia y generados por cianobacterias fotosintéticas (Foto de Loes Gerringa).

En el principio

Después del Big Bang, hace 15 mil millones de años, el universo estaba lleno de elementos ligeros como el hidrógeno, el helio y trazas de litio. Sólo con la muerte violenta de estrellas surgieron los elementos más pesados, incluyendo los componentes básicos de la vida, como el carbono, el nitrógeno y el fósforo. La abundancia de los elementos químicos en nuestro sistema solar muestra una fuerte disminución al aumentar el número atómico. Pero, los elementos con masas que son un múltiplo de ^4He se vieron favorecidos en su formación, por ejemplo el ^{12}C , el ^{16}O y también el ^{56}Fe .

Durante la evolución del planeta Tierra, las primeras formas de vida, los procariotas (bacterias), comenzaron a desarrollarse en los océanos. En aquel momento la atmósfera y los océanos sólo contenían pequeñas trazas de oxígeno. Durante la evolución biológica de las procariotas, y más tarde también los eucariotas, en los océanos anóxicos que aquella Tierra antigua, varios metales fueron utilizados como componentes esenciales de las células, más o menos en el mismo orden que su abundancia en el planeta. En los océanos anóxicos, el hierro estaba presente en altas concentraciones en su forma reducida y altamente soluble Fe (II). Es en este ambiente en el que Fe fue

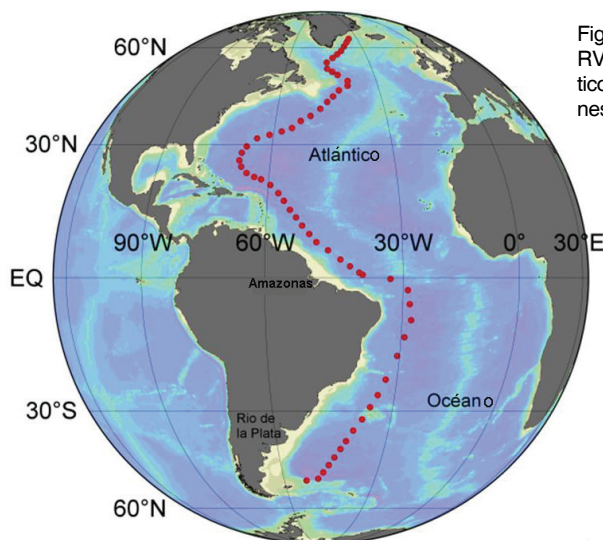


Fig. 2A. Trayectoria de los barcos de investigación RV *Pelagia* y RRS *James Cook*, en el Océano Atlántico Occidental. Los puntos rojos indican las estaciones donde hemos muestreado.

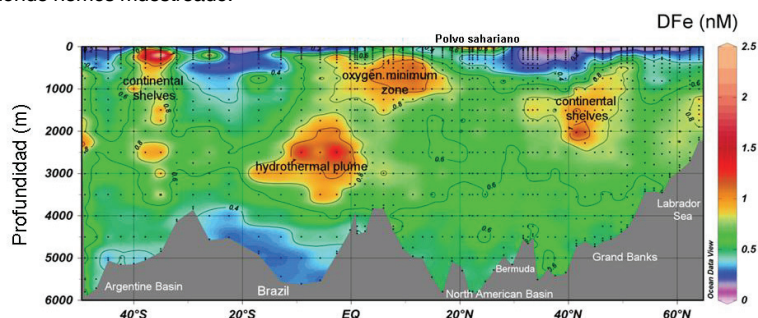


Fig. 2B. Sección vertical de la distribución del Fe disuelto (DFe) en el Océano Atlántico Occidental entre Islandia y el extremo meridional de América del Sur. El color representa la concentración de Fe disuelto en nanomoles·L⁻¹ y cada punto representa un lugar de muestreo⁹.

incorporado a muchos procesos bioquímicos y se convirtió en uno de los elementos traza bio-esenciales más importantes. Sin embargo, el inicio de la fotosíntesis cambiaría esta fácil accesibilidad al hierro. La fotosíntesis ha existido en la Tierra durante al menos 3500 millones de años, como indica el registro fósil de los estromatolitos producidos por cianobacterias fotosintéticas. Con el inicio de la fotosíntesis, en la que se utiliza la luz para transformar el agua y el dióxido de carbono en biomasa y oxígeno, el oxígeno comenzó a ser liberado en los océanos, oxidando el Fe(II), muy soluble, a Fe(III), insoluble, que inmediatamente formó herrumbre y se hundió hasta el fondo del océano formando depósitos de Fe que, por ejemplo, se extraen actualmente en el oeste de Australia (Figura 1).

La distribución de los metales traza afecta a la vida en los océanos

Los metales traza son importantes para la vida y, consecuentemente, cuando las concentraciones de estos metales traza son extremadamente bajas en el océano, la vida se hace más difícil. En la actualidad se han identificado diversas extensiones oceánicas donde existen altas concentraciones de macronutrientes como el nitrato (NO₃⁻), fosfato (PO₄³⁻) y silicato (SiO₄⁴⁻), pero donde la concentración de Fe es tan baja que limita el crecimiento del fitoplancton. Estas áreas se denominan zonas de “Alta concentración de nutrientes y baja clorofila” (del inglés High Nutrient Low Chlorophyll) y se localizan en el Pacífico Noreste, Pacífico Ecuatorial y océano Austral. La limitación de Fe en estas áreas se confirmó con experimentos de fertilización con Fe a gran escala, donde se añadió Fe al mar y el fitoplancton comenzó a crecer¹. Recientemente, se ha planteado la hipótesis de que el Mn pueden colimitar el crecimiento del fitoplancton en el océano Austral², mientras que el Zn puede afectar a la población de fitoplancton en el océano Atlántico Sur³.

En las zonas subtropicales y tropicales pobres en nutrientes del océano Atlántico donde el nitrógeno (N) está en forma de amonio (NH₃), nitrato (NO₃⁻) o nitrito (NO₂⁻), es difícil de encontrar cianobacterias especialistas capaces de utilizar el nitrógeno disuelto en forma gaseosa (N₂) para crecer. El nitrógeno fijado biológicamente es incorporado a la biomasa celular, que tras la muerte de la célula y su degradación retorna al océano en forma de amonio, nitrato y nitrito, disponible para ser utilizado en el crecimiento de otros organismos del fitoplancton. Las rutas bioquímicas implicadas en la fijación de N₂ involucra proteínas que incluyen Fe y Ni. En las concentraciones que se encuentran en el Atlántico tropical y subtropical, el Fe, y tal vez de Ni, son lo suficientemente bajo como para limitar la fijación de N₂ como se ha descrito^{4,5}.

Estos son algunos ejemplos de metales traza que afectan al crecimiento del fitoplancton. Como el fitoplancton constituye la base de la cadena alimenticia, esto también debería regular la dinámica de los ecosistemas marinos y los ciclos biogeoquímicos de otros elementos biológicamente importantes como el carbono, el nitrógeno y el fósforo.

¿Qué hacemos para estudiar los metales traza?

Desde el comienzo de GEOTRACES nuestro conocimiento sobre la distribución de los metales traza, determinada por sus fuentes y sumideros, aumentó enormemente. Por ejemplo, la distribución a gran escala de Fe y Mn disuelto en el océano Atlántico nos ha mostrado la importancia de fuentes como la de polvo Sahariano, las fuentes hidrotermales, las plataformas continentales y de la circulación de las corrientes oceánicas y las masas de aguas profundas (Figura 2). La degradación de las células muertas de fitoplancton al hundirse libera nutrientes como el nitrato, fosfato y silicato, pero también metales trazas como Fe. Donde la degradación es alta y rápida, cerca del

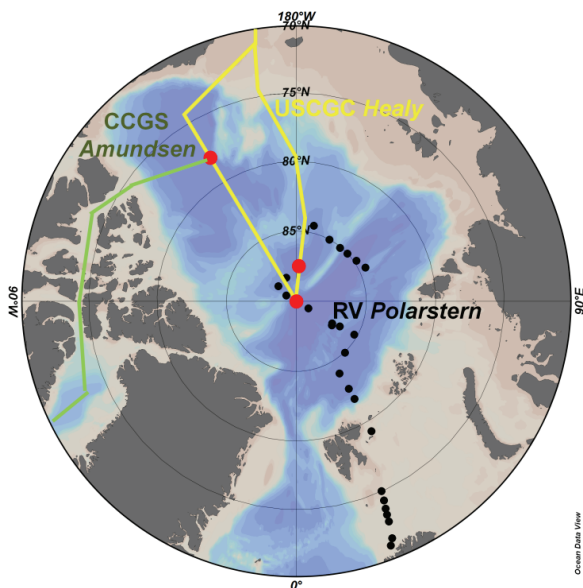


Fig. 3. Localización geográfica de las rutas seguidas por los diferentes buques de investigación durante la campaña en el Océano Ártico - *RV Polarstern* (puntos negros), *USCGC Healy* (línea amarilla) y *CCGS Amundsen* (línea verde). Los puntos rojos identifican lugares de coincidencia, donde los científicos de los diferentes barcos tomaron muestras con el objetivo de que las mediciones puedan ser comparadas y comprobar su exactitud.



ecuador, la concentración de oxígeno usada para la degradación disminuye, y la concentración de Fe disuelto puede llegar a aumentar, como puede verse en la Figura 2. Por el contrario, la distribución de Ni y Zn está fuertemente regulada por el ciclo biogeoquímico del silicato. El Ni y el Zn no se utilizan sólo biológicamente dentro de las células de fitoplancton, sino también incorporados en las paredes de sílice (pared celular externa) de las diatomeas^{3,6}.

Las regiones polares son las partes del océano menos investigadas. Algunas investigaciones sobre metales traza se han llevado a cabo en el océano Ártico durante el Año Internacional Polar (IPY) en 2007. Los resultados de la campaña realizada a bordo del *R/V Polarstern* mostraron que las fuentes hidrotermales y las plataformas continentales son fuentes importantes de Fe y Mn en el océano Ártico profundo^{7,8}. A diferencia de otros océanos y mares, las entradas fluviales resultaron ser una importante fuente de Fe y Mn al océano Ártico superficial. No se sabe casi nada de otros metales traza en el océano Ártico. Tampoco se conoce cómo el cambio climático global puede cambiar los procesos que son importantes para la distribución de los metales traza. Este calentamiento global inducido por el hombre está cambiando rápidamente el océano Ártico. Durante la última década, el hielo del Ártico se redujo en extensión y espesor, pasando de ser un hielo marino de varios años a un hielo anual que estimula las floraciones de fitoplancton. El calentamiento de las áreas terrestres del Ártico ha causado un aumento de las descargas de los ríos lo que, combinado con la pérdida neta de la capa de

hielo de Groenlandia y la fusión del hielo marino, se ha traducido en un endulzamiento de las aguas superficiales. Estos cambios climáticos inducidos cambiarán el ciclo biogeoquímico y, por lo tanto, la distribución de muchos metales traza que pueden afectar el ecosistema marino del Ártico.

El Océano Ártico

Para tener un mejor conocimiento de los ciclos biogeoquímicos de los metales traza en el océano Ártico y de cómo pueden cambiar como consecuencia del calentamiento de la Tierra, en el verano de 2015 se organizó un primer esfuerzo pan-Ártico con el proyecto GEOTRACES. Los científicos del rompehielos alemán *R/V Polarstern*, junto con científicos a bordo de los guardacostas-rompehielos estadounidenses y canadienses *USCGC Healy* y *CCGS Amundsen*, muestrearon una gran parte del océano Ártico (Figura 3). Debido a que las concentraciones de estos metales en los océanos son muy bajas, la toma de muestras de agua de mar es muy sensible a la contaminación. Especialmente el hierro es difícil, ya que se muestrea a bordo de buques hechos de este metal. Por lo tanto, para muestrear sin contaminación usamos un equipo desarrollado específicamente para ello¹⁰ y la figura 4 muestra el que usamos en el *R/V Polarstern*. Todas las partes metálicas de la estructura están hechas de titanio en lugar de acero y las 24 botellas de toma de muestras están hechas de plástico muy limpio con una capacidad de 24 L de agua de mar, que se abren y cierran mediante un sistema hidráulico usando agua de mar. Una vez a bordo, la

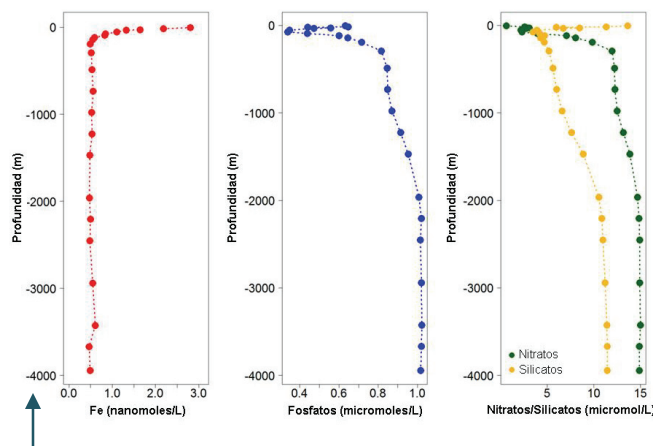


Fig 6. Perfiles en profundidad de Fe (M. Rijkenberg), fosfato, nitrato y silicato (J. van Ooijen) disueltos el agua del Ártico en la estación ubicada en el Polo Norte geográfico obtenida en la campaña PS94 a bordo del RV *Polarstern*.

Fig. 4. Estructura de titanio, limpia de metales traza, equipada con botellas de muestreo y sensores de salinidad, temperatura y presión, diseñada por el NIOZ para su uso en el Océano Ártico por parte del RV *Polarstern* (foto de M. Rijkenberg).

Fig. 5. Sistema de muestreo limpio de metales traza instalado dentro de contenedor limpio (foto de M. Rijkenberg).



estructura se aloja en un laboratorio limpio construido a partir de un contenedor. Cuando el barco llega a una estación de muestreo previamente planificada, se coloca la estructura en la cubierta y con un torno se puede introducir en el agua. Para evitar la contaminación debida al barco, todas las botellas de toma de muestras solamente se abren a 30 m de profundidad y entonces la estructura desciende hasta 50 m por encima del fondo del océano. Mientras viaja hacia el fondo, diversos sensores especiales miden la salinidad, la temperatura, la presión y muchas otras variables. En su camino de regreso, detenemos el sistema a ciertas profundidades para cerrar una botella de muestreo. De esta manera se toman sucesivamente 24 muestras a diferentes profundidades en la columna de agua. Cuando el sistema es izado hasta la cubierta del barco es transportado inmediatamente al contenedor limpio donde cada una de las botellas es muestreada (Figura 5).

Medida de Fe y nutrientes disueltos a bordo

Las muestras se miden directamente a bordo o se trasladan de vuelta al laboratorio del instituto para medirlas. La Figura 6 muestra los resultados de la medición, realizadas a bordo, de Fe y los macronutrientes fosfato, nitrato y silicato en el Polo Norte geográfico. Las concentraciones superficiales elevadas en los perfiles verticales muestran claramente como los aportes desde los ríos se distribuyen a lo largo de grandes distancias e incluso sobre el Polo Norte gracias a la corriente superficial conocida como Deriva

Transpolar, la cual es la mayor corriente oceánica del océano Ártico, transportando hielo marino y una cantidad relativamente grande de agua de ríos de Siberia desde el mar de Laptev y el mar de Siberia Oriental hacia el Estrecho de Fram. La concentración de nutrientes en la Deriva Transpolar alcanza un mínimo a los 80 m de profundidad debido a su uso por parte del fitoplancton. La degradación por parte de bacterias heterótrofas de las células muertas de fitoplancton que se hunden libera nutrientes y también metales traza de nuevo al agua de mar. Esa es la razón por lo que las concentraciones de nutrientes aumentan con la profundidad. En general, en otros océanos se aprecia un efecto similar en el Fe disuelto hasta aproximadamente 1200 m de profundidad, la remineralización a gran profundidad. La remineralización de la biomasa a mayores profundidades libera menos Fe disuelto al agua de mar en comparación con la cantidad de Fe adsorbido por las partículas que se hunden en la columna de agua. En el Polo Norte, la concentración de Fe disuelto se mantiene bastante homogénea a lo largo de la columna de agua por debajo de 300 m, lo que sugiere que la cantidad de Fe disuelto liberado durante la remineralización de la biomasa del fitoplancton es igual a la cantidad de Fe adsorbido a las partículas que se hunden.

Después de la campaña de investigación

Después de dos meses en el mar y en el hielo, dos meses de trabajo extremadamente duro pero tam-

bién dos meses de buena comida y dos meses de avistamiento de osos polares y auroras boreales, regresamos a Bremerhaven, en Alemania. La campaña está finalizada, pero ahora comienza el trabajo más duro. La calidad de las medidas necesita un control mediante la comparación de nuestros resultados con los obtenidos por los científicos de los EE.UU. y Canadá. Nuestros datos necesitan ser unificados en bases de datos de acceso público e interpretarlos. Necesitamos escribir publicaciones científicas sobre nuestros descubrimientos e inevitablemente responder a más cuestiones que irán surgiendo. Estas preguntas serán la que den inicio a nuevas campañas en el Ártico y con los esfuerzos combinados, esperamos empezar a entender que procesos son importantes para dar soporte a la vida en el Océano Ártico y cómo estos procesos pueden afectar a nuestro cambiante planeta.

Bibliografía

- (1) de Baar, H. J. W., P. W. Boyd, K. H. Coale, M. R. Landry, A. Tsuda, P. Assmy, D. C. E. Bakker, Y. Bozec, R. T. Barber, M. A. Brzezinski, K. O. Buesseler, M. Boye, P. L. Croot, F. Gervais, M. Y. Gorbunov, P. J. Harrison, W. T. Hiscock, P. Laan, C. Lancelot, C. S. Law, M. Levassieur, A. Marchetti, F. J. Millero, J. Nishioka, Y. Nojiri, T. van Oijen, U. Riebesell, M. J. A. Rijkenberg, H. Saito, S. Takeda, K. R. Timmermans, M. J. W. Veldhuis, A. M. Waite, y C. S. Wong (2005). *J. Geophys. Res. -Oceans*, 110(C9), C09S16.
- (2) Middag, R., H. J. W. de Baar, M. B. Klunder, y P. Laan (2013). *Limnol. Oceanogr.*, 58(1), 287-300.
- (3) Wyatt, N. J., A. Milne, E. M. S. Woodward, A. P. Rees, T. J. Browning, H. A. Bouman, P. J. Worsfold, and M. C. Lohan (2014). *Global Biogeochemical Cycles*, 2013GB004637.
- (4) Ho, T.-Y. (2013). *Limn. Oceanogr.*, 58(1), 112-120.
- (5) Mills, M. M., C. Ridame, M. Davey, J. La Roche, y R. J. Geider (2004). *Nature*, 429(6989), 292-294.
- (6) Twining, B. S., S. B. Baines, S. Vogt, y D. M. Nelson (2012). *Global Biogeochemical Cycles*, 26(4), n/a-n/a.
- (7) Klunder, M. B., P. Laan, R. Middag, H. J. W. de Baar, y K. Bakker (2012). *J. Geophys. Res.*, 117(C4), C04014.
- (8) Middag, R., H. J. W. de Baar, P. Laan, y M. B. Klunder (2011). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75(9), 2393-2408.
- (9) Rijkenberg, M. J. A., R. Middag, P. Laan, L. J. A. Gerringa, H. M. van Aken, V. Schoemann, J. T. M. de Jong, y H. J. W. de Baar (2014). *PLoS ONE*, 9(6), e101323.
- (10) Rijkenberg, M. J. A., H. J. W. de Baar, K. Bakker, L. J. A. Gerringa, E. Keijzer, M. Laan, P. Laan, R. Middag, S. Ober, J. van Ooijen, S. Ossebaar, E. M. van Weerlee, y M. G. Smit (2015). *Mar. Chem.*, 177, 501-509.

Boletín para suscriptores de OKEANOS

Tarifas	Suscripción anual	Número suelto
Particulares	8,00 €	4,00 €
Centros	7,80 €	3,90 €
Gastos de envío	1,68 €	0,84 €

La suscripción se hará de forma anual y se proroga automáticamente si no hay una comunicación en sentido contrario por parte del suscriptor.

El acceso al boletín de suscripción lo encontrará en la siguiente dirección:

www.mercurioeditorial.com/Revista-Okeanos/

Los nuevos suscriptores recibirán de forma excepcional el número 1 gratis.



Dr. Mario Hoppmann (biografía en página 29) y **Dr. Stefan Hendricks**, físico del hielo marino perteneciente, desde 2005, al Instituto Alfred Wegener en Bremerhaven, Alemania. En 2009 recibió su doctorado en ciencias naturales en la Universidad de Bremen. Su investigación se centra en el equilibrio de las masas de hielo marino del Ártico y Antártico a través del uso de los satélites, pero también con las mediciones de campo. En 2007 comenzó con la fotografía y desde entonces lleva su cámara a todas las expediciones a los helados mares polares. Muchas de sus fotografías tomadas durante las expediciones en las regiones polares se encuentran en páginas web, calendarios y libros.

Okeanos de fotos



Foto: Mario Hoppmann



Foto: Stefan Hendricks



Foto: Stefan Hendricks

Foto: Mario Hoppmann





Foto: Mario Hoppmann

Foto: Stefan Hendricks



A person in a red winter suit is bent over, using a power drill to create a hole in the ice. In the background, another person in a red suit is standing near some equipment. The scene is set in a snowy, icy environment.

Ciclo del metano

Un gas de efecto invernadero, en el hielo marino y agua de mar

**Christiane Uhlig¹, Elena Vinogradova²
y Ellen Damm¹**

¹Instituto Alfred-Wegener - Centro Helmholtz para Investigación Polar y Marina, 27515 Bremerhaven, Alemania

²Instituto Shirshov de Oceanografía, Moscú, 117997, Rusia

Además del dióxido de carbono, el metano es uno de los gases de efecto invernadero más importantes en la atmósfera y que también contribuye al calentamiento climático. La mayor parte del metano que es emitido a la atmósfera se produce en procesos biológicos en ausencia estricta de oxígeno. En los últimos años, se ha observado que el metano se encuentra sorprendentemente en concentraciones muy elevadas en las aguas superficiales del océano Ártico, a pesar de la presencia de oxígeno. Este fenómeno se denomina “La paradoja del Metano” y fue descubierto por primera vez, en 1977, por científicos

que estudiaban el metano en el océano Atlántico Norte subtropical¹. Es probable que el metano se produzca en las aguas ricas en oxígeno por la acción de los microorganismos, pero el proceso exacto sigue sin ser aun bien entendido. Este artículo explica el concepto de la producción de metano en aguas ricas en oxígeno en el Ártico Central, cubierto de hielo, en el marco de las investigaciones que se han llevado a cabo en la expedición científica TRANSARC II, con el rompehielos de investigación alemán Polarstern, en el verano de 2015.

Metano y Microbios

El metano es un gas con un fuerte efecto invernadero que contribuye muy significativamente, al igual que otros gases, al actual proceso de calentamiento de la



Foto: Stefan Hendricks.



Fig. 3. Banquisa de hielo con alta bioactividad. El color pardo esta provocado por la alta densidad de microalgas en el interior del hielo, los cuales son solo visibles cuando la capa de hielo se voltea (Foto cortesía de Stefan Hendricks).

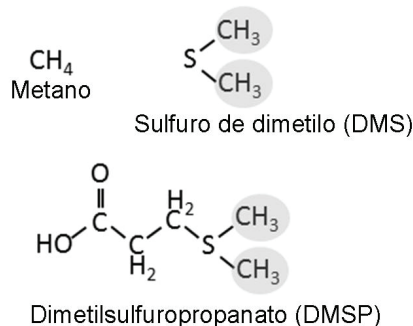


Fig. 1. Estructuras químicas del metano, sulfuro de dimetilo (DMS) y dimetilsulfuropropanato (DMSP). Los grupos metilo en DMS y DMSP se indican en fondo gris.



Fig. 2. Fotografías de los testigos de hielo marino: (A) muestra una sección de un testigo de hielo, de 9 cm de diámetro, donde los canales verticales de salmuera son visibles en el hielo superficial; (B) un corte vertical, de aproximadamente 2 mm de grosor, de una sección fina de un testigo de hielo donde se observan los canales y los poros dentro de la matriz sólida del hielo. La barra negra indica la dirección vertical en el interior del testigo de hielo y tiene un longitud de 5 cm (fotos cortesía de Stefan Hendricks).

atmósfera terrestre. La concentración de metano en la atmósfera aumenta de forma constante y esto amplifica paulatinamente el calentamiento global². El metano se produce por la *metanogénesis* anaeróbica llevada a cabo por un grupo de pequeños organismos (<0,01 mm), que sólo puede ser observados al microscopio. Dichos organismos pueden producir metano en condiciones anaeróbicas estrictas, lo cual significa que no hay presencia de oxígeno. Este proceso ocurre en muchos lugares, por ejemplo en suelos terrestres, en los campos de arroz o en los intestinos animales, y también en los sedimentos marinos. Otros organismos microscópicos, también llamados *metanotrofos*, pueden usar el metano como fuente de alimento y, por lo tanto, reducir la cantidad de metano que se libera a la atmósfera.

Metano en el Ártico Central

En el Ártico Central, el metano se encontró en las aguas ricas en oxígeno, en la superficie del mar, en

altas concentraciones³. Las concentraciones son mayores de lo que se esperarían solamente a partir de la disolución del metano atmosférico en el océano. Pero, la mayor parte del agua de mar por si misma ya contiene demasiado oxígeno para impedir la producción anaeróbica de metano y anular la diferencia entre las concentraciones de metano observadas y esperadas. Otra fuente potencial podría ser el metano producido en los sedimentos oceánicos en el Ártico Central por metanogénesis. Pero en su recorrido hacia la superficie este metano se disolvería en las aguas oceánicas profundas o se consumiría por los metanotrofos. También, debido a la gran distancia existente entre el Océano Ártico Central y los continentes próximos, la introducción de metano desde los suelos (e.g. permafrost) es improbable.

Esto significa que el metano tiene que ser producido en aguas superficiales ricas en oxígeno, al contrario de lo que se pensaba previamente. Y de hecho,



Fig. 4. Equipo de laboratorio a bordo: (A) muestras de hielo en viales impermeables al gas de 20 mL para el análisis de DMS y DMSP; (B) muestras de hielo en bolsas impermeables al gas para el análisis de metano; (C) cromatógrafo de gases en el laboratorio del barco para el análisis de metano, DMS y DMSP a bordo; (D) botes impermeables a gases para los experimentos de incubación.

en los últimos años, los investigadores han aprendido que el metano podría ser producido por microorganismos, incluso si el oxígeno está presente en el medio. Estos organismos usan sustancias con grupos metilos (Figura 1) como fuente de alimento y liberan metano en un proceso que se conoce como *metanogénesis metilotrófica*^{3,4}.

El papel del hielo marino

La presencia de hielo marino es la característica que define al océano Ártico Central y que afecta a numerosos procesos físicos, biológicos y químicos en latitudes altas. El hielo marino es agua de mar helada que se diferencia del hielo que se encuentra en lagos. Mientras el hielo en agua dulce es una estructura muy compacta, el hielo marino es poroso debido a la salmuera que se libera constantemente en el proceso de congelación. Cuando el agua de mar se congela, solo los cristales de agua forman una estructura sólida y la salmuera liberada, con-

tenido en sales, permanece en bolsas y poros dentro de la matriz del hielo. La figura 2A muestra un testigo de hielo con multitud de canales verticales de salmuera. Debido a dichas salmueras y las intrusionas de aire, el hielo es opaco y no transparente como los cubitos de hielo en una bebida. La figura 2B muestra una sección fina, un corte en dirección vertical, del testigo de hielo el que también muestra la estructura porosa y los canales verticales. Esas bolsas y poros son espacios para la vida de una multitud de organismos pequeños. Pueden ser bacterias y microalgas o, incluso, animales pequeños⁵. Las microalgas son organismos microscópicos que hacen la fotosíntesis de forma similar a las plantas terrestres o macroalgas. Un gran número de esos organismos se pueden encontrar en el hielo marino, y frecuentemente son suficientes para dar un aparente color parduzco al hielo. La figura 3 muestra un ejemplo de banquisas de hielo con alta bioactividad.

La presencia de hielo marino es la característica que define al océano Ártico Central y que afecta a numerosos procesos físicos, biológicos y químicos en latitudes altas.

Sin embargo, a pesar de que muchos organismos viven en el fondo del hielo, son visibles solamente si estas banquisas de hielo se rompen y se dan la vuelta, como cuando pasa el rompehielos.

A final del año, cuando el agua y la atmosfera se calientan a lo largo de la primavera y el verano, el hielo marino comienza a derretirse. Las estructuras sólidas se disuelven, los canales y los poros se hacen más largos y todos los líquidos y partículas previamente atrapados en el hielo se liberan al océano. Diversos compuestos químicos, los cuales están producidos por microalgas se liberan al agua de mar durante este proceso. Dos de ellos son el sulfuro de dimetilo y el dimetilsulfopropanato, también llamados DMS y DMSP. Ambos compuestos contienen dos grupos metilos (Figura 1), que son uno de los candidatos para la producción de metano por metanogénesis metilotrófica. Este proceso se observó por primera vez recientemente y la importancia para el ciclo del metano en el Ártico es aún un campo activo de investigación.

El trabajo durante TRANSARC II

La expedición del rompehielos de investigación alemán R/V Polarstern, a finales del verano de 2015, (TRANSARC II) nos brindó la oportunidad de estudiar los procesos anteriormente descritos y que permiten la acumulación de metano en las aguas aeróbicas superficiales del océano Ártico Central. A bordo, muestreamos agua de mar y hielo marino para analizar la concentración de metano, DMS y DMSP. El muestreo para el análisis de gases es una tarea desafiante para obtener la exactitud necesaria: (i) las muestras de agua tienen que tomarse cuidadosamente en botellas de muestreo sin que burbujas y turbulencias pudieran permitir un intercambio de gases disueltos entre el agua y el aire; y (ii) el contenido en gas en el hielo sólo se puede medir cuando el hielo se derrite, ya que los gases están atrapados en el interior de bolsas en forma de burbujas o disueltos en las salmueras. Entonces, los testigos de hielo tienen que ser cortados en piezas más pequeñas en un laboratorio congelador a una temperatura de -20°C y traspasado a bolsas herméticas al gas o a botellas de muestreo. Solo ahí el hielo es derretido para prevenir algún posible intercambio de gases con el aire circundante. En la figura 4 se pueden observar algunas de las botellas de muestra y los instrumentos que usamos durante la expedición para analizarlas.

También recolectamos muestras para investigar el proceso microbiano de metanogénesis metilotrófica y la oxidación de metano. El agua de mar se introdujo cuidadosamente en botes herméticos a los gases (ver figura 4D) y en algunas botellas se fertilizaban con el sustrato DMSP para comprobar si serían utilizados por los microbios para producir metano. La concentración de metano en el agua, en función del tiempo, se determinó durante 10 días. Los primeros resultados mostraron un incremento del metano en uno de los experimentos, indicando producción de metano. Por el contrario, en un segundo experimento la concentración de metano disminuyó, indicando un mayor impacto de los metanotrofos, que pueden consumir metano en estos estudios. Estos resultados preliminares indican que la interacción entre los diferentes tipos de bacterias presentes en el agua de mar es compleja y necesitan de más investigación en el futuro, para distinguir entre los diversos procesos de producción y consumo de metano. Nuestro próximo objetivo en esta cuestión será analizar qué tipos de bacterias estaban presentes en los diferentes experimentos. Esto nos ayudará a aprender que bacterias son importantes para el ciclo del metano y como afectan a la liberación de metano desde el océano Ártico a la atmosfera.

Nos gustaría agradecer a la tripulación del R/V Polarstern por su ayuda durante TRANSARC II. Gracias a Gerhard Dieckmann, Andreas Krell y Erika Allhusen que nos ayudaron con el muestreo en el hielo y a Stefan Hendricks por las fotografías y las valiosas sugerencias a este artículo.

Bibliografía

- (1) Scranton, M.I., P.G. Brewer. *Deep-Sea Res.*, 24, 127-138, 1977.
- (2) Stocker, T., et al. (Eds.) (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- (3) Damm, E., E. Helmke, S. Thoms, U. Schauer, E. Nöthig, K. Bakker, and R. P. Kiene. Methane production in aerobic oligotrophic surface water in the central Arctic Ocean. *Biogeosciences*, 7, 1099–1108, 2010.
- (4) Karl, D. M., L. Beversdorf, K. M. Bjorkman, M. J. Church, A. Martinez, and E. F. Delong, Aerobic production of methane in the sea, *Nature Geosciences*, 1, 473–478, 2008.
- (5) Thomas, D. N. and G. S. Dieckmann (2002). *Science* 295(5555):641.

Aumento de las existencias de carbono en el Océano Ártico Central

Adam Ulfsbo¹ y Elizabeth Jones²

¹Universidad de Gothenburg. Suecia.

² Universidad de Groningen. Holanda.

El medioambiente del Ártico es único y rico en biodiversidad y es el hogar de muchas especies de importancia mundial. Al mismo tiempo, esta región es muy sensible a las perturbaciones y está fuertemente afectada por el actual cambio climático junto con el aumento de las actividades comerciales. El cambio climático es más rápido en el Ártico que en cualquier otra parte del mundo y los efectos son evidentes. En el verano de 2012, la extensión del hielo marino en el Ártico fue la más pequeña de los tiempos modernos, mientras que la temperatura media en el Ártico ha aumentado el doble que la temperatura media global durante los últimos 100 años. Esto ya expone a las sociedades y a los ecosistemas a un gran estrés. Los rápidos efectos sobre el Ártico también pueden afectar el clima global. El océano Ártico sólo representa el 3% de la superficie de la Tierra y el 1% del volumen global de los océanos. Pero a pesar de ello, el océano Ártico recibe el 10% del suministro mundial de agua dulce procedente de ríos. Grandes cantidades de materia orgánica (carbono) son transportados por los ríos a los mares someros y de aquí a las más lejanas cuencas profundas centrales. En las aguas neríticas una gran parte del carbono orgánico se degrada por procesos microbianos a dióxido de carbono (CO_2), que o bien se libera a la atmósfera o se transporta hacia las cuencas profundas previamente cubiertas de hielo. El ciclo del carbono en el océano Ártico es un componente importante del ecosistema marino y es, debido a su interacción con el dióxido de carbono atmosférico, de importancia fundamental para el clima de la Tierra. En la situación actual, la reducción de las emisiones de gases contaminantes de larga vida, principalmente CO_2 , puede ser la medida más importante para limitar el calentamiento del Ártico.

En las aguas neríticas una gran parte del carbono orgánico se degrada por procesos microbianos a dióxido de carbono (CO_2), que o bien se libera a la atmósfera o se transporta hacia las cuencas profundas previamente cubiertas de hielo.

Se ha dicho que la absorción de CO_2 de la atmósfera por el océano Ártico supera el 10% de la captación total de la atmósfera, pero esta estimación es incierta. También hay una gran incertidumbre en saber si el océano Ártico actuará como una fuente o sumidero de CO_2 , cuando se encuentre libre de hielo durante los meses de verano. El resultado dependerá en gran medida de los cambios que ocurran en la producción primaria futura, al absorber y convertir el fitoplancton el CO_2 en carbono orgánico a través de la fotosíntesis. La transferencia posterior del carbono de las capas superficiales, la bomba biológica, está directamente ligada a la producción neta de la comunidad. La mayoría de los estudios científicos de la producción primaria y la producción neta de la comunidad en el océano Ártico se han centrado en la productividad de las aguas neríticas. Esto es en parte debido a que el Ártico Central es normalmente de difícil acceso al comienzo de la temporada productiva.

El objetivo general de este proyecto es investigar el ciclo del carbono en un océano Ártico más cálido, con una capa de hielo en disminución. El proyecto se centra en la variabilidad espacial y temporal de los



Foto: Mario Hoppmann.

flujos de carbono y la producción neta biológica mediante la aplicación de métodos continuos de alta resolución en estudios de campo internacionales trans-Árticos a bordo de buques rompehielos de investigación. Las repeticiones de campañas en el Ártico Central son extremadamente raras, y este proyecto representa una oportunidad única para estudiar y determinar los procesos relacionados con el ciclo del carbono en un océano Ártico que cambia rápidamente. El proyecto tiene como objetivo aumentar el conocimiento de los mecanismos de retroalimentación en los procesos físicos y biogeoquímicos relacionados con el sistema marino del CO_2 .

El sistema marino de CO_2

"En la composición del agua de mar el ácido carbónico, a causa de sus relaciones íntimas con la vida, constituye un elemento de especial interés". John Murray, uno de los naturalistas de la expedición, en el *Informe de los resultados científicos del viaje del H.M.S. Challenger durante los años 1873-76* (1884).

La disolución de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) por el agua de mar y las posteriores reacciones

de equilibrio con este medio iónico dan lugar a un sistema químico complejo, a menudo referenciado como Sistema de Carbonato Marino (también conocido como Sistema del CO_2 marino o Sistema CO_2 -carbonato). Este sistema está influenciado por procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos (i.e. los procesos físicos y biogeoquímicos) que ocurren en el océano. El sistema de carbonato marino es un principal componente del ciclo global del carbono y es, en virtud de su interacción con el CO_2 atmosférico, de importancia fundamental para el clima de la Tierra. El reservorio oceánico de carbono inorgánico es aproximadamente 60 veces mayor que el de la atmósfera. Por lo tanto, incluso pequeños cambios en los componentes naturales del ciclo del carbono marino tienen el potencial de retroalimentar de manera significativa al sistema climático de la Tierra.

Aproximadamente una cuarta parte de las emisiones humanas totales de CO_2 (CO_2 antropogénico) a la atmósfera se está acumulando en el océano. La absorción de CO_2 por el océano cambia el equilibrio químico del agua de mar a través del equilibrio termodinámico del CO_2 con agua de mar, con implica-

ciones para la química de la superficie del océano, propiedades físicas, organismos marinos y los ecosistemas oceánicos. La absorción de CO_2 se debe a que la superficie del océano intenta igualar su contenido de CO_2 disuelto con la presión parcial del CO_2 atmosférico, que ha aumentado desde las 280 partes por millón (ppm) a principios de la Revolución Industrial (1850), hasta los 400 ppm actuales (<https://www.co2.earth/> para valores recientes y diarios). El CO_2 disuelto forma el débil ácido carbónico (H_2CO_3), que se disocia parcialmente para liberar iones de hidrógeno (H^+), lo que aumenta la acidez del océano. Debido a que la concentración de iones H^+ en soluciones acuosas puede variar en muchos órdenes de magnitud, los químicos utilizan el término pH para describir la acidez del agua, donde el pH se define como el menos logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno. A medida que aumenta el CO_2 en el agua de mar, el pH, los iones de carbonato (CO_3^{2-}) y carbonato de calcio (CaCO_3) en estado de saturación del agua de mar disminuye, mientras el ión bicarbonato (HCO_3^-) aumenta. La absorción de CO_2 por el océano da como resultado una acidificación gradual de agua del mar en un proceso conocido como *acidificación de los océanos*.

El CO_2 en el Océano Ártico

El océano Ártico tiene un gran potencial para absorber CO_2 de la atmósfera debido a la alta producción biológica en sus grandes zonas marginales y también por el enfriamiento de las aguas cálidas entrantes. El Ártico se considera como la zona de la Tierra más sensible a los cambios climáticos, con una acidificación más pronunciada que en cualquier otro océano. El deshielo en el océano Ártico ha aumentado más o menos constantemente durante las últimas décadas, de forma más rápida que lo que estiman las predicciones dadas por cualquier modelo. Incluso se ha propuesto que un océano Ártico sin hielo podría permitir una mayor captación de CO_2 de la atmósfera, aunque en este aspecto existen puntos de vista contrarios.

Hay dos posibles mecanismos principales impulsores de la absorción de CO_2 atmosférico en el océano Ártico Central, uno es que las aguas superficiales que entra desde los mares adyacentes tengan una baja presión parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) como resultado del enfriamiento y la producción primaria antes de entrar, y el otro es la producción primaria local. Para esto último, es importante que el CO_2 retenido en sedimentos de materia orgánica producidos en la capa superficial de mezcla del invierno no sea retornado nuevamente a la capa de mezcla superficial en el siguiente verano.

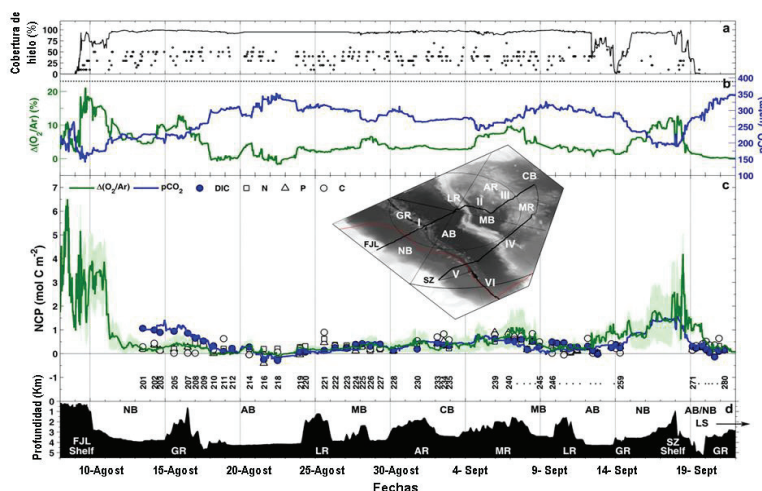


Fig. 1. Estimaciones de Producción Neta de la Comunidad (PNC) en el Océano Ártico Central a lo largo de la ruta seguida por la expedición TransArc 2011. El hielo marino de la zona marginal es un típico "punto caliente" para la productividad biológica y la exportación de carbono en el océano Ártico: a) la concentración de hielo marino (línea) y cobertura de las lagunas de deshielo (puntos); b) Sobresaturación de oxígeno biológico, $\Delta(\text{O}_2/\text{Ar})$, y $p\text{CO}_2$; c) Estimaciones de PNC por diferentes aproximaciones; d) batimetría y cuencas a lo largo de la ruta seguida por el buque. La figura ha sido adaptada de artículo de acceso abierto de Ulfsbo et al. (2014)¹ y se remite al lector al artículo para más información.

La plataforma marina del Ártico incluye zonas de alta producción primaria, grandes flujos de CO_2 atmósfera-océano y de formación de aguas profundas, por ejemplo en los mares de Barents y Chukchi. Mientras que algunos de las aguas neríticas actúan como sumideros de CO_2 , por ejemplo el mar de Barents suministra al océano Ártico aproximadamente un tercio de la absorción atmosférica, otras regiones experimentan altas cargas de materia orgánica procedente de los ríos, que cuando es remineralizada se convierte en una fuente de CO_2 a la atmósfera. Por el contrario, el papel del océano Ártico Central en el secuestro de carbono sigue siendo algo controvertido. Una primera aproximación fue que el océano Ártico Central es una de las regiones menos productivas del mundo, debido principalmente a la gran capa de hielo marino y la falta de luz durante el largo invierno polar. Sin embargo, en la última década los niveles de producción primaria asignados al océano Ártico ha aumentado considerablemente a medida que los muestreos espacial y temporal han mejorado. En general, es difícil obtener estimaciones razonables de la producción primaria debido a la heterogeneidad de la región, los fuertes cambios estacionales, la mala calidad de muchos de los datos y el limitado acceso al océano Ártico Central. Sin embargo, teniendo en cuenta el sistema del océano Ártico al completo, incluyendo las vastas zonas de la plataforma del Ártico, la producción primaria rivaliza

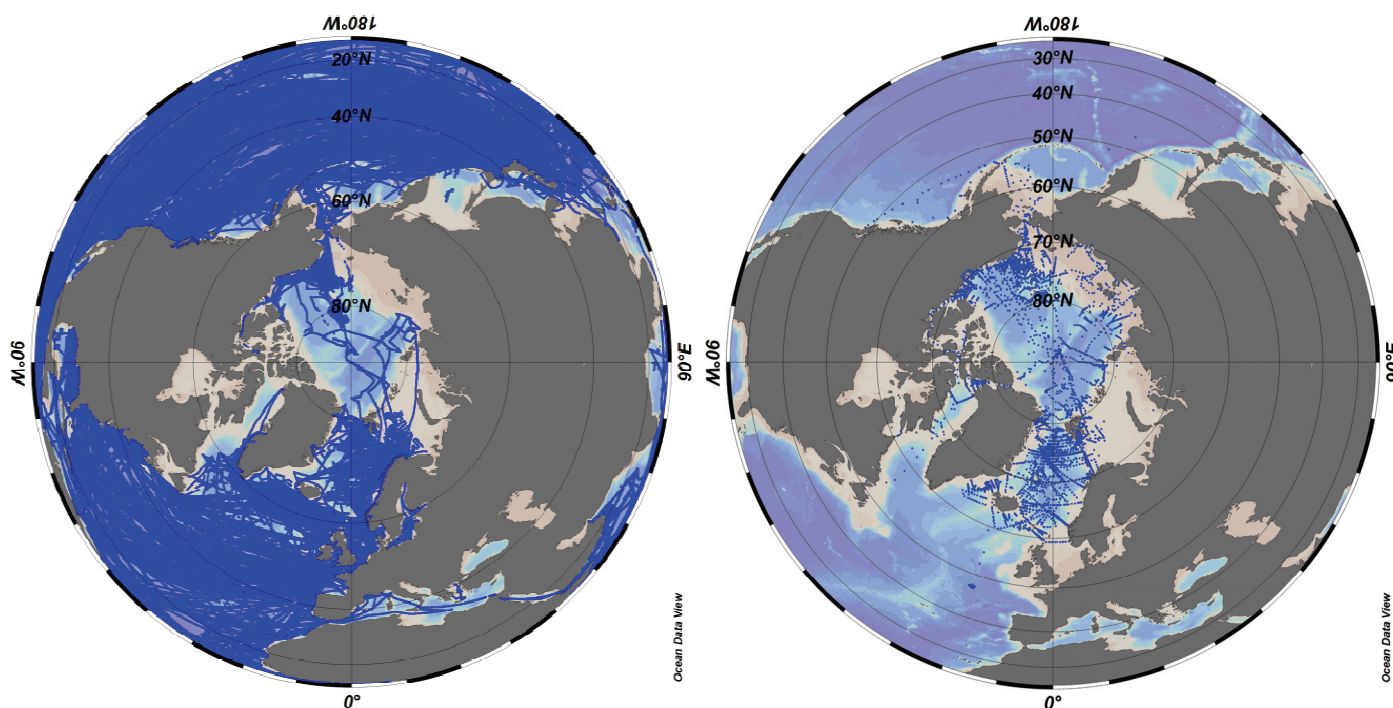


Fig. 2. Esta figura muestra al todavía poco muestreado océano Ártico Central: a) todos los puntos con datos disponibles de mediciones de $p\text{CO}_2$ en los 10 metros más superficiales procedentes de la reciente 3ª versión del Atlas de datos de CO_2 superficial del océano^{2,3}; b) todas las medidas discretas disponibles en el océano Ártico desde la 2ª versión del Proyecto de Análisis de Datos^{4,5}.

con la que se puede encontrar en el resto de los océanos del mundo. La primavera y el verano han sido reconocidos como períodos de alta productividad biológica en la mayoría de las aguas neríticas del océano Ártico, impulsada en las redes tróficas pelágicas y bentónicas. En comparación, las cuencas del océano Ártico Central sustentan mucha menos producción, pero están lejos de ser el desierto biológico que se sugirió hace décadas.

Exportación de Carbono

La Exportación de carbono orgánico desde la capa superficial depende de la producción neta de la comunidad (PNC). La PNC es la diferencia entre la producción primaria bruta y la respiración autótrofa y heterótrofa de la comunidad combinadas. Dado que es probable que el almacenamiento de carbono orgánico en la capa de mezcla sea moderado respecto al PNC en grandes escalas espaciales y temporales, la PNC se aproxima a la producción de carbono exportado. En este estudio, se ensayan varios enfoques con el fin de estimar el PNC, a través de mediciones continuas de la relación entre las proporciones de oxígeno y argón en las aguas superficiales, de medidas en curso de la $p\text{CO}_2$ en la superficie, y de muestras discretas de carbono inorgánico disuelto y de nutrientes tales como nitrato y fosfato. Los resultados preliminares de PNC muestran una elevada productividad biológica en la

zona de hielo marginal y de baja a moderada en las cuencas profundas cubiertas de hielo, con una variabilidad espacial dependiendo de la región y de la cuenca (Figura 1). Durante los períodos de deshielo, los márgenes son generalmente áreas de aumento de la actividad biológica. Las condiciones son favorables debido a la estabilización vertical de la columna de agua mezclada y la suficiente luz.

Mientras que ciertas zonas de plataforma responden a la disminución de la capa de hielo con un aumento de la producción primaria y la producción exportada, otras no lo hacen. Los procesos en las zonas neríticas no pueden ser fácilmente extrapolables a las aguas profundas del océano Ártico. No obstante, el potencial de retención de carbono sigue la estela de la contracción de la cobertura de la capa de hielo marino debido a los cambios en la producción primaria, aunque esto es muy incierto y dependerá de la disponibilidad de luz, la estratificación, el suministro de nutrientes y las comunidades planctónicas. Un aumento de la exportación de la producción se reflejará en las propiedades del agua profunda por una acumulación de las concentraciones de nutrientes y carbono inorgánico disuelto, así como una disminución en la concentración de oxígeno por la degradación microbiana.

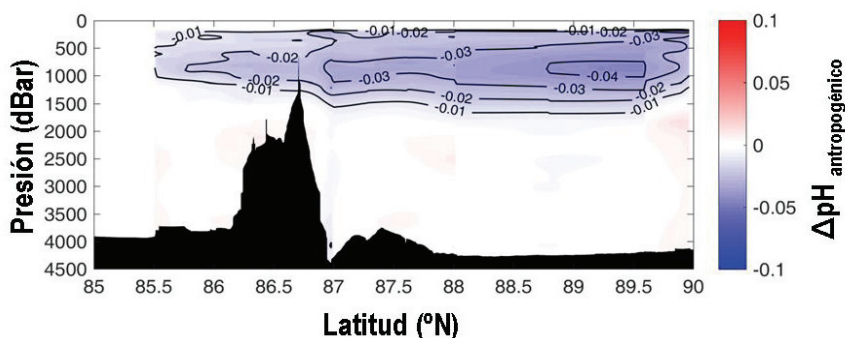


Fig. 3. Cambio en el pH entre 1996 y 2011 en las cuencas Nansen y Amundsen, a partir de 85°N y hasta el Polo Norte. Los cambios se derivan de las estimaciones del aumento de CO₂ antropogénico e indican una pronunciada acidificación de las capas de aguas intermedias del océano Ártico.

La acidificación del océano afectará a las poblaciones de peces, los ecosistemas marinos y las pesquerías comerciales, de subsistencia y recreativas del Ártico. Sin embargo, muchos aspectos de este problema son todavía desconocidos.

El CO₂ antropogénico y acidificación del océano

Con el fin de predecir el futuro sumidero de carbono oceánico y, finalmente, la evolución del clima, es necesario comprender la tasa de absorción de CO₂ antropogénico, así como saber dónde y cómo se distribuye dentro del océano. Estos procesos están gobernados por las respuestas física y química al aumento de CO₂ en la atmósfera. Los procesos biológicos en el océano participan en la distribución natural de carbono, pero no hay una clara evidencia de que estos afecten a la absorción de CO₂ antropogénico actual y a su almacenamiento. Hay relativamente poca información sobre las existencias y la tasa de absorción de CO₂ antropogénico en el océano Ártico. Esto se debe principalmente al hecho de que el océano Ártico ha sido escasamente muestreado con respecto al ciclo del carbono y la falta de datos del sistema de carbonato, a partir de los cuales determinar las tasas de almacenamiento y captación de CO₂ antropogénicos. Como consecuencia de esto, el océano Ártico no ha sido considerado por lo general en las estimaciones globales de CO₂ antropogénico.

En la Figura 2^a (en la página anterior) se muestra, en azul, todos los puntos disponibles con datos públicos de mediciones de pCO₂ en los 10 metros más superficiales, mientras que en la figura 2b se muestra todos los puntos de muestreo discretos del sistema de CO₂ (e.g.: pH, alcalinidad total, carbono inorgánico disuelto) desde la superficie hasta el fondo. Como puede verse en la 2a, el océano Ártico está todavía poco muestreada en comparación con los océanos Pacífico y Atlántico.

Es la primera vez que estamos en condiciones de comenzar a analizar los cambios y tendencias del sistema de CO₂ con respecto a las emisiones de CO₂ antropogénico y la acidificación de los océanos.

Se ha observado que las capas intermedias (~400-1500 metros de profundidad) del océano Ártico experimentan un mayor acumulo de CO₂ antropogénico y en la figura 3 se visualiza este efecto relacionándolo con la acidificación de los océanos, es decir, la disminución en el pH del océano Ártico Central entre 1996 y 2011. Las capas intermedias han experimentado una fuerte disminución en el pH, mientras que el agua muy por debajo de 1500 metros se ha mantenido bastante constante. Esto es consistente con el complejo patrón de circulación del océano en las cuencas centrales y la noción de que el CO₂ antropogénico se recoge en el Atlántico Norte y luego entra en estas profundidades intermedias del océano Ártico a través del estrecho de Fram, y a lo largo del mar de Barents.

Conclusiones

Se espera que la acidificación del océano afecte a las poblaciones de peces, los ecosistemas marinos y las pesquerías comerciales, de subsistencia y recreativas del Ártico. Sin embargo, muchos aspectos de este problema son todavía desconocidos. La acidificación del océano también afecta a la disponibilidad de algunos nutrientes y micronutrientes para la producción biológica y puede cambiar la biodisponibilidad de algunos metales traza. El océano Ártico ya ha sobrepasado los umbrales geoquímicos que siguen a la acidificación del océano, y sin una reducción significativa en las concentraciones del CO₂ atmosférico ocurrirá la desaturación del aragonito en todo el océano (uno de los dos formas minerales de carbonato de calcio biogénicos más comunes en los océanos). Estos cambios serán de larga duración con altos niveles de acidificación de los océanos que persistirán durante muchos miles de años a no ser que se reduzcan las emisiones de CO₂. Incluso si las emisiones actuales des-

cendieran, el sistema no volverá a los niveles del periodo preindustrial en decenas de miles de años. La acidificación del océano es sólo uno de los factores de estrés en el sistema del océano Ártico. Conjuntamente con el actual calentamiento del océano y el endulzamiento del agua del mar, se producen cambios en la productividad del océano y heterotrofismo que, junto con el aumento del suministro de carbono orgánico, están cambiando rápidamente la distribución del oxígeno en el Ártico. Los cambios de la capa de hielo están modificando los regímenes de luz y de turbulencias y, por consiguiente, impactan sobre los flujos atmósfera-océano y la productividad del océano. Todos estos procesos interactúan con el ciclo del carbono y, por tanto, cualquiera de ellos puede agravar o aliviar la acidificación del océano. Más información se puede encontrar en el informe de la Acidificación del Océano Ártico realizado por el Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico desde 2013⁶.

Bibliografía

- (1) Ulfsbo, A., Cassar, N., Korhonen, M., van Heuven, S., Hoppema, M., Kattner, G. y Anderson, L.G. (2014). Global Biogeochemical Cycles, 28, 1129-1148.
- (2) Bakker, D. C. E. y 87 autores más (2016). High quality data in version 3 of the Surface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT). Earth System Science Data (en preparación).
- (3) Bakker, D. C. E. y 80 autores más (2014). Earth Syst. Sci. Data, 6, 69-90.
- (4) Key, R. M., A. Olsen, S. van Heuven, S. K. Lauvset, A. Velo, X. Lin, C. Schirnack, A. Kozyr, T. Tanhua, M. Hoppema, S. Jutterström, R. Steinfeldt, E. Jeansson, M. Ishii, F.F. Perez, y T. Suzuki (2015), Global Ocean Data Analysis Project, Version 2 (GLODAPv2), ORNL/CDIAC-162, NDP-093, 14 pp.
- (5) Olsen, A., R. M. Key, S. van Heuven, S. K. Lauvset, A. Velo, X. Lin, C. C. Schirnack, A. Kozyr, T. Tanhua, M. Hoppema, S. Jutterström, R. Steinfeldt, E. Jeansson, M. Ishii, F.F. Perez y T. Suzuki (2016). Earth Sys. Sci. Data Discussions, submitted.
- (6) AMAP (2013). Arctic Ocean Acidification. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.

Es nuestra casa de acogida de niñas huérfanas. Un lugar especial donde niñas y cuidadoras viven en familia, asumiendo las distintas labores de casa, cuidándose unas a otras y dejando que sea el amor y el respeto quienes reinen.

Hogar de Paz



Educanepal

No es tarea fácil crear este ambiente tan especial, los niños son niños, y aún más complicado es cuando provienen de ambientes hostiles o donde no han sido educados con patrones claros. Pero es un reto precioso cuando vemos el fruto de sus sonrisas y alegría. Las sonrisas son fruto de muchos años de trabajo para aplicar un método basado en la empatía, y son nuestras cuidadoras quienes tienen el mayor mérito al estar a diario con ellas: atendiéndolas cuando se ponen malas, apoyándolas en sus estudios, creando espacios para escuchar a las niñas, evaluando su labor diariamente y tratando de ofertar mucho cariño y amor. Recientemente plantaron arroz en el huerto, aprovechando también para jugar con el fango. Todo el personal de campo también ayudó. Menuda familia. Gracias por tener este maravilloso equipo. Y gracias a todos ustedes por ayudarnos a dibujar sonrisas.



Noticias de avances en Ciencias Marinas



Foto: Andrew Beeham

Un ligero aumento en la temperatura puede poner en riesgo la Gran Barrera de Coral australiana

Los episodios de blanqueo del coral ocurridos durante las últimas tres décadas en la Gran Barrera australiana se han atenuado gracias a la inducción a una mayor tolerancia térmica en los corales formadores de arrecifes, pero es probable que este mecanismo de autoprotección se pierda en los escenarios de condiciones climáticas previstas para un futuro próximo. Ainsworth y colaboradores (Science, 2016(6283):338-342) han demostrado que el 75% de los episodios de estrés térmico que han tenido lugar en el pasado se han caracterizado por una tendencia en la temperatura que ha forzado a los corales a adoptar una estrategia protectora, de subblanqueo, antes de que se alcanzaran temperaturas que provocan la decoloración total. Estas condiciones confieren a los corales cierta tolerancia térmica, con una disminución de la mortalidad celular y pérdida de simbioses durante el blanqueo superior al 50%. Sin embargo, el aumento futuro de la temperatura local en poco más de 0,5 °C tendría como resultado la pérdida de este mecanismo de protección, lo que puede aumentar la velocidad de degradación de la Gran Barrera de Coral.

El calentamiento producido por El Niño está devastando los arrecifes coralinos de todo el mundo

En marzo, la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral de Australia informó que se habían localizado grandes extensiones de coral blanqueado (con pérdida de sus algas simbioses) y muerto en las zonas remotas del norte del arrecife. Esta desastrosa situación ha sido confirmada tanto con inspecciones realizadas con buzos como en campañas de sobrevuelo. Sólo cuatro de los 520 arrecifes aparece ileso. De este modo, la Gran Barrera de Coral se une a una larga lista de arrecifes blanqueados por el fenómeno de El Niño que comenzó a finales de 2014, convirtiéndose en el acontecimiento de blanqueamiento y mortalidad coralina con mayor dimensión de los conocidos.

Santuarios para orcas y delfines

La histórica decisión de Sea-World de marzo de 2016, de poner fin al confinamiento de sus 29 orcas ha puesto en marchas a la comunidad de científicos para buscarles un refugio adecuado, un santuario. Desgraciadamente, este santuario aun no existe, por lo que unos 40 científicos, veterinarios e ingenieros están estudiando su viabilidad y localización a lo largo de la costa de Norteamérica, lo cual espera conseguir en los próximos 3 ó 5 años. No obstante, esta no es una tarea sencilla, y los precedentes no son buenos (la orca Keiko participante en la película "Liberar a Willy"), ya que liberar a una orca, que ha pasado toda su vida en un tanque, en un océano llenos de criaturas y condiciones que nunca ha experimentado puede ser peligroso para estos cetáceos y para el ecosistema que las acoge. Sin olvidar los costes económicos que implica su traslado y posterior mantenimiento.

También el Acuario Nacional de Baltimore (Maryland, EE.UU.), como con secuencia de la presión ejercida por el público, grupos conservacionistas y comunidad científica, tiene previsto trasladar sus ocho delfines a un santuario marino en 2020.

Peces que vencen a la muerte

Los peces cyprinodontiformes habitan las charcas estacionales que se forman durante la temporada de lluvias (e.g. guppies) y que a menudo desaparecen



antes de que los peces pueden completar su ciclo de vida. Los huevos de algunas especies de este orden pueden permanecer aislados en el barro anóxico, durante semanas o meses, hasta que vuelvan las lluvias. Según J Podrabsky (Portland State University, Oregón), son los cambios en la temperatura los que desencadenan que los embriones entren en "diapausa", o en letargo. Durante la estación de lluvias, cuando las lagunas se llenan de agua cálida, los cyprinodontiformes progresan, pero cuando se enfría a los embriones a 25 °C estos detienen el desarrollo y entran en diapausa. En ese momento, el corazón de estos peces se detiene en cuestión de horas, y las mitocondrias celulares reducen su producción de ATP y el metabolismo se detiene.

Parece ser que esta capacidad viene codificada por sectores del ARN aportado por la madre y el producido por el propio embrión. Ambos ARNs parecen luchar por el control sobre la diapausa, de modo que el ARN materno lleva las instrucciones para iniciar la diapausa, pero las altas temperaturas, que implican condiciones de humedad, parecen estimular la producción de ARNs no-codificantes en el embrión que la contrarresta.

Los científicos han identificado otras dos especies de vertebrados que pueden sobrevivir sin oxígeno, al igual que estos cyprinodontiformes, como son el car-

pín europeo (*Carassius carassius*) y la tortuga pintada norteamericana occidental (*Chrysemys picta*). Pero estos dos organismos experimentan anoxia cuando los lagos donde viven se congelan, y el frío ayuda a sobrevivir al disminuir su metabolismo. Sin embargo, los peces de la familia Cyprinodontidae (conocidos como cachorritos) sobreviven a temperaturas tropicales, una situación mucho más compleja. Así, en el caso de las tortugas sigue habiendo actividad metabólica, sólo que la producción del ATP toma rutas anaeróbicas, con una importante producción de ácido láctico que es neutralizado con carbonatos procedentes del caparazón y los huesos. Además su corazón se mantiene latiendo a un ritmo muy lento. Contrariamente, el carpín europeo mantiene un ritmo cardíaco fuerte, incluso después de 5 días sin oxígeno, pero sólo genera energía de forma anóxica dando finalmente alcohol, en vez de ácido láctico, al tiempo que obtiene oxígeno del entorno al aumentar siete veces la superficie de sus branquias. No obstante, en los tres casos, ocurre un aumento de ácido γ -aminobutírico (GABA) a nivel cerebral durante la anoxia, lo que reduce el consumo energético del cerebro. El GABA es el principal neurotransmisor inhibitor en el sistema nervioso central de los mamíferos, y los embriones de cyprinodontiformes mueren si no pueden formar GABA durante la anoxia.

Fig. 1. *Paracanthurus hepatus* (Dory).



Bibliografía

- (1) Moe, M.A. (1973). Salt Water Aquarium Magazine, 9(2).
- (2) Rhyne, A.L. y M.F. Tlustý (2012). Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation., 5(2): 99-102.

Buscando a Dory,

otra amenaza para la sobrepesca del pez cirujano regal (*Paracanthurus hepatus*)

Airam N. Sarmiento Lezcano

Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

A lo largo de los años, ciertas películas de animación han creado un efecto secundario sobre algunas poblaciones de animales, donde en algunos casos han aumentado o disminuido según la demanda. Películas como “101 Dálmatas (1961), Tortugas Ninjas (1989) y Stuart Little (1999)” dispararon la demanda de las distintas especies con el fin de obtenerlas como mascotas para los niños. Este efecto también se ha trasladado al ámbito marino, con la llegada de la película *La Sirenita*, en el año 1990, y actualmente con la saga de películas *Buscando a Nemo* (2003) y *Buscando a Dory* (2016).

El mercado internacional de especies ornamentales produce una media de 20 millones de peces tropicales, principalmente machos de especies de arrecifes de coral debido a su llamativa coloración corporal, destacando de forma importante los peces payaso (familia *Pomacentridae*). Según FAO, el valor del mercado de estos peces e invertebrados ornamentales se eleva a aproximadamente a los 278 millones de dólares, de los cuales entre 22 y 44 millones se obtiene del comercio de peces. El 85% de estas especies proceden de capturas obtenidas en países tropicales y subtropicales de Sudamérica, Sudeste Asiático y África, aunque los mayores exportadores son Maldivas, Vietnam, Sri Lanka, Hawaii y Singapur.

La sobreexplotación de especies ornamentales

Con el estreno de *Buscando a Nemo*, en 2003, las ventas de peces payaso (*Amphiprion ocellaris*) ascendieron hasta un 40%, aumentando las capturas de forma insostenible en países como Filipinas e Indonesia, conduciendo así a la disminución de algunas poblaciones. Además, la captura masiva de estas especies afecta consecuentemente a otras especies que viven en mutualismo con el animal, como es el caso de las anémonas. No obstante, tras

el cierre en 1973 del ciclo de *Amphiprion ocellaris* en cautividad¹, la fuerte demanda de estas especies ha permitido que se dediquen esfuerzos a su producción en acuicultura, lo que seguramente ayudará a disminuir la presión sobre las poblaciones salvajes.

Sólo el 5% de los peces marinos ornamentales son producidos en acuicultura, en contraposición al 90% de los peces de agua dulce. En el caso del pez cirujano regal (*Paracanthurus hepatus*), solo se obtiene a través de la pesca de animales salvajes, lo que provoca una fuerte presión sobre sus poblaciones naturales (Fig. 1). Efecto que probablemente se acentuará con la película de *Buscando a Dory*, expuesta en todas las pantallas cinematográficas del mundo este verano, al igual que ocurrió con los peces payasos.

A diferencia de lo ocurrido con los peces payaso, es que *Paracanthurus hepatus*, llamado comúnmente como pez cirujano regal o globalmente como *Dory*, es casi imposible su cría en cautividad. Esta especie, tarda mucho tiempo en alcanzar la madurez sexual y además desovan en grupo y sus larvas requieren de una alimentación muy compleja, a base de plancton, durante varios meses. Por lo que todos los peces de esta especie que se comercializan en tiendas de acuariología han sido capturados en su hábitat natural y recolectados son juveniles y han sido criados en cautividad. No hay que olvidar que un gran porcentaje de estos peces, entre el 10 y 51%, mueren como consecuencia de la captura, transporte y almacenamiento, antes de ser expuestos en los comercios.

Del total de las especies marinas que encontramos en los acuarios, el 95% han sido capturadas de su medio natural. Hasta 30 millones de personas se suministran desde unos 45 países, siendo los Estados Unidos el mayor importador mundial de especies marinas ornamentales, representando el 80% del comercio mundial, seguida de Europa y Japón². Se estima que alrededor de 400.000 cirujanos regal se capturan cada año para ser destinados a acuarios domésticos.

El primer documento gráfico del comportamiento agregatorio de los peces bajo objetos



Ana Teresa Santana Ortega

La primera observación sobre el comportamiento agregatorio que muestran los peces entorno a objetos flotantes de la que se tienen noticias se remonta al siglo VIII a.C., y está registrada en los fragmentos de una cratera griega encontrada en la isla de Isquia, al suroeste de Italia. En ella se representa la historia del naufragio de un barco y el ahogamiento de su tripulación (El naufragio de Pitecusa). Curiosamente, en la narración de esta desgracia, también se puede observar como entorno a los cadáveres de los naufragos se agregan multitud de peces, pudiéndose identificar lo que parecen ser peces piloto (*Naucrates ductor*) y atunes (*Thunnus* spp.), con la características pequeñas aletas en el pedúnculo caudal (las pinnulas). Este comportamiento agregatorio bajo objetos flotantes a la deriva ha sido descrito para más de 300 especies de peces.

La agregaciones de peces bajo objetos flotantes naturales como cadáveres, ramas de árboles, masas flotantes de algas a la deriva, etc., o artificiales como basuras, pallets o los llamados DAPs (siglas de Dispositivo de Agregación de Peces), es la base de una de las actuales pesquerías industriales más ren-

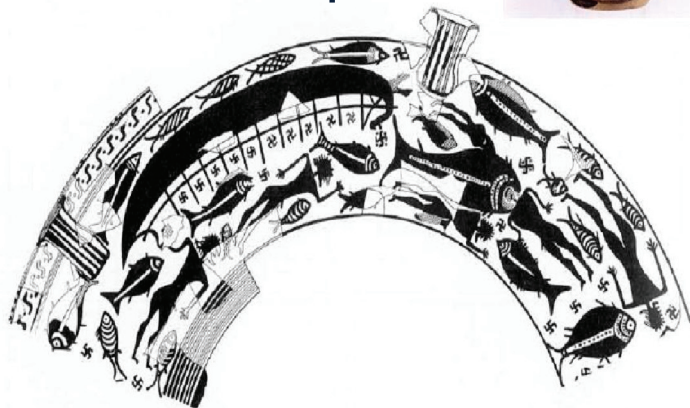


Fig. 1. El naufragio de Pitecusa. Grabado realizado sobre una cratera griega encontrada en la isla de Isquia (Italia). En el margen derecho se observan lo que parecen ser peces piloto y atunes agregados bajo un cadáver flotante.

tables y controvertidas. La captura de túnidos asociados a DAPs están en torno a los dos millones de toneladas anuales (alrededor del 60% de la captura mundial total de atunes realizada con cerco), pero una gran proporción de los ejemplares pescados son juveniles. Además, también se capturan anualmente aproximadamente otras 100 mil toneladas de especies sin interés comercial, que son mayoritariamente descartadas (principalmente tiburones, balistidos, dorados, etc.).

Julio

- V Simposio Internacional de Ciencias del Mar. Seminario Ibérico de Química Marina y Encuentro de la Oceanografía Física Española 2016. Alicante (España) (20-22/07/2016)

Agosto

- Joint Satellite Meteorology, Oceanography and Climatology Conference and Conference on Air-Sea Interaction (EE.UU.) (15-19/08/2016).

Septiembre

- ECSA 56- Coastal systems in transition. Bremen (Alemania) (04-07/09/2016).
- CLEO - Colour and Light in the Ocean from Earth Observation. Frascati (Italia) (06-08/09/2016).
- CLIVAR Open Science Conference. Qingdao (China) (18-25/09/2016).
- OCEANS 2016, Monterey, California (EE.UU.) (19-22/09/2016).
- IX Congreso Geológico de España. Huelva (España) (12-14/09/2016)
- III Simposio Iberoamericano de Química Orgánica SIBEAQO-3. Porto (Portugal) (23-26/09/2016).
- I Congreso de Biodiversidad y Conservación de la Naturaleza: Divulgación y transferencia del conocimiento entre distintos sectores de la sociedad. Universidad de Almería (España) (29-30/09/2016). <http://www.facebook.com/infoconserbio/>

Octubre

- I Congreso Científico Profesional de Bioquímica. Córdoba (Argentina) (05-08/10/2016).
- VII Congreso Colombiano de Acuicultura (CCA 2016). Universidad de Nariño, Pasto (Colombia) (19-21/10/2016). <http://ccacuicultura.udenar.edu.co/>
- Planet Ocean. Trobades Científiques de la Mediterrània, Menorca (España) (5-7/10/2016) <http://planeta-ocea.icm.csic.es>
- 7th International Workshop on Marine Technology - Martech 2016. Barcelona (España) (27-28/10/2016). www.martech-workshop.org

Noviembre

- IV Semana por la biodiversidad Marina. Sociedad Atlántica de Oceanógrafos. Museo Elder- Las Palmas de Gran Canaria (España) (7-11/11/2016).
- www.sociedadatlanticadeoceanografos.org
- ICOPMAS - International Conference on Ports, Coasts and Marine Structures. Teheran (Iran) (07-09/11/2016).
- LXI Sesión Científica de la SGE, Zaragoza (España) (25/11/2016)

Diciembre

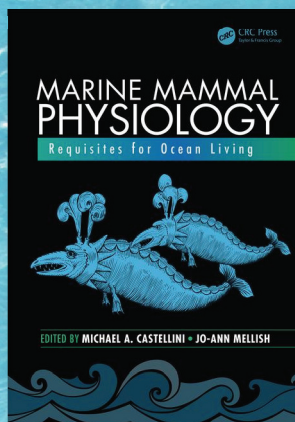
- 1er Congreso Internacional de Cine e Imagen Científicos / BICC 2016 Ronda-Madrid (España) (30/11/2016-02/12/2016).

Reseñas bibliográficas



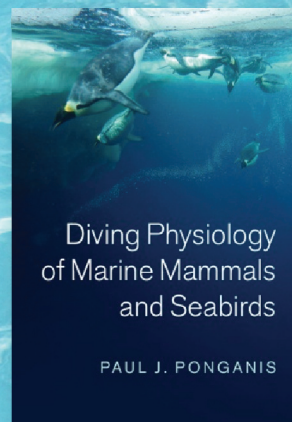
Icebergs. Their Science and Links to Global Change.
Grant R. Bigg
Cambridge University Press, 2016
ISBN: 9781107067097

Los icebergs son un buen ejemplo de un fenómeno ambiental que reúne varias disciplinas de las ciencias polares, desde la física de la fractura y el derretimiento a la geología de sus depósitos sólidos y la interacción con el fondo marino. Los icebergs también se consideran cada vez más que juegan un papel clave en el pasado y presente del cambio climático. Este libro proporciona una visión global y multidisciplinar de los icebergs y su interacción con el sistema de la Tierra, desde la interacción física y biológica con el océano y el clima, y como los detritos de los icebergs nos informan sobre el pasado de la historia de la Tierra. También se examinan los aspectos sociales y culturales de los icebergs, en relación a los riesgos y oportunidades que plantean los icebergs en el mundo moderno, así como estos podrían desarrollarse en el futuro.



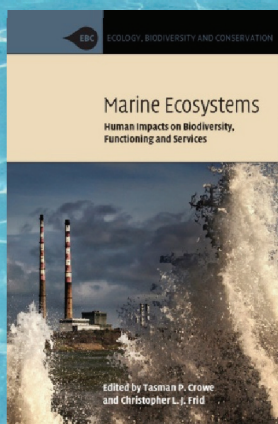
Marine Mammal Physiology: Requisites for Ocean Living
Michael A. Castellini y
Jo-Ann Mellish
CRC Press, 2015
ISBN: 9781482242676

En este libro se estudian los aspectos esenciales que diferencian a un mamífero marino de los mamíferos terrestres, más allá de su entorno. A diferencia de muchas publicaciones que describen estas especies desde casi todos los puntos de vista, aquí se tratan las características fisiológicas y bioquímicas que han permitido que estos mamíferos exploten eficazmente el medio marino. Los capítulos se agrupan en grandes temas: el buceo y la locomoción, la nutrición y la energética, la reproducción, los sistemas sensoriales y las interacciones medio-ambientales. Cada capítulo está organizado alrededor de una perspectiva común y lo que se conoce específicamente de cada orden. Además, y a modo de ayuda para profundizar en el conocimiento, los autores han incluido una sección en cada capítulo denominada "caja de herramientas", en la que se analizan los métodos más novedosos para comprender y trabajar en la fisiología de los mamíferos marinos.



Introductory Fisheries Analyses with R
Derek H. Ogle
CRC Press, 2015
ISBN: 9781482235203

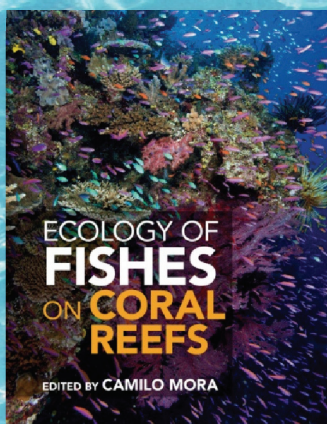
Este libro proporciona instrucciones detalladas sobre cómo realizar la evaluación de stock básica en pesquerías en un entorno R. Accesible tanto a científicos pesqueros como a estudiantes universitarios, el libro demuestra la flexibilidad y potencia de R, ofreciendo información sobre la reproducibilidad de los análisis basados en scripts, y cómo el uso de R hace el trabajo más eficiente y productivo en esta disciplina de la ciencia. Los tres primeros capítulos presentan una introducción mínima al entorno R, que constituirá la base para aplicarlo específicamente al análisis pesquero en el resto del libro. Estos capítulos ayudan a familiarizarse con R en análisis pesqueros básicos y gráficos. Los capítulos siguientes se centran en métodos para analizar las comparaciones de edad, claves edad-talla, estructura de tallas, relaciones peso-talla, índices de condición, abundancia (a partir de datos de captura-recaptura y depleción), las tasas de mortalidad, crecimiento y la relación stock-reclutamiento. Los métodos estadísticos fundamentales de regresión lineal, análisis de varianza (ANOVA) y la regresión no lineal se desarrollan en los contextos de estos análisis pesqueros. Para cada análisis, el autor explica por completo las funciones de investigación y proporciona suficiente información básica para que cada método pueda aplicarse con confianza.



Marine Ecosystem

Tasman P. Crowe y Christopher L.J. Frid
Cambridge University Press, 2015
ISBN: 9781139794763

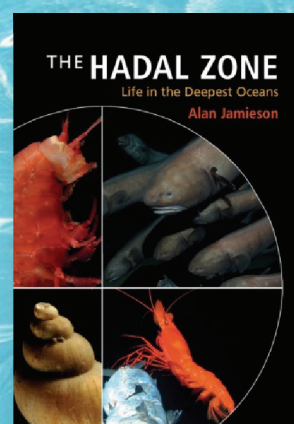
Los servicios de los ecosistemas se están convirtiendo en un factor clave de la política de conservación y gestión del medio ambiente. La prestación de los servicios de los ecosistemas depende del funcionamiento eficiente de los ecosistemas, que a su vez dependen de la biodiversidad y de las condiciones ambientales. Muchos ecosistemas marinos son extremadamente productivos y de gran valor, pero están cada vez más amenazados por las actividades humanas. Con las contribuciones de destacados investigadores, este libro sintetiza el conocimiento actual sobre los efectos que una variedad de actividades humanas y presiones sobre los ecosistemas marinos costeros tienen sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Los autores examinan las posibles consecuencias que tienen temas clave como la pesca, la acuicultura, las infraestructuras, nutrientes, contaminantes químicos, los desechos marinos y las especies invasoras.



Ecology of Fishes on Coral Reef

Camilo Mora (Editor)
Cambridge University Press, 2015
ISBN: 9781316105412

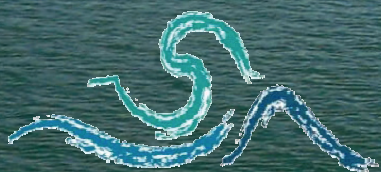
La diversidad local y la riqueza global de peces de arrecifes de coral, junto con la diversidad manifiesta en su morfología, comportamiento y ecología, ofrece oportunidades fascinantes y diversas para su estudio. Como reflejo de las más recientes investigaciones en un campo amplio y en constante crecimiento, este libro se convierte en lectura obligada para cualquier persona interesada en la ecología de los peces en los arrecifes de coral. Los 36 capítulos que conforma el libro cubren todo el espectro actual de investigación en este campo, separados en cinco partes, analizando los peces de arrecife de coral en el contexto de la ecología, patrones y procesos, la intervención humana y sus impactos, las estrategias de conservación y los debates pasados y actuales.



The Hadal Zone. Life in the Deepest Oceans.

Alan Jamieson
Cambridge University Press, 2015
ISBN: 9781139061384

La zona hadal es una de las últimas grandes fronteras en las ciencias del mar, y representa el 45% de las aguas del océano. A pesar del muy poco esfuerzo de investigación que se ha realizado desde la década de 1950, en los últimos diez años se ha visto un renacimiento en la exploración de la zona hadal casi seguro como consecuencia de los avances tecnológicos que han permitido hacer más viable su investigación. El libro proporciona una visión general de los procesos geológicos involucrados en la formación de fosas, la hidrografía y el suministro de alimentos a profundidad, detallando todo lo que se sabe actualmente sobre los organismos que habitan la zona hadal y los vínculos que se establecen con las profundidades abisales y batiales mejor conocidas. Se proporcionan nuevos conocimientos sobre cómo, dónde y lo que es lo que realmente sobrevive y prospera en la biozona más profunda, haciendo hincapié en la sostenibilidad y conservación de estos vulnerables hábitats marino.



**SOCIEDAD ATLÁNTICA
De Oceanógrafos**

2º Edición del Proyecto

Un Mar de Ciencias



Alumnos participantes en la fase final del Proyecto Un Mar de Ciencias en el Paraninfo Universitario de la ULPGC.

UN MAR DE CIENCIAS 2016

Proyecto de Ciencias para estudiantes de Primaria, Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional

Gobierno de Canarias
Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información

elittoral
Proyecto de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información

tb Diagnóst s. a.

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Obra Social "la Caixa"

FRED OLSEN Express

GOBIERNO DE CANARIAS
Consejería de Educación y Universidades

LORO PARQUE
Plan de Educación, Investigación e Innovación

MERCURIO EDITORIAL

Un Mar de Ciencias es un programa de ciencias centrados en el mar y las Ciencias del Mar, promovido por la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos abierto hacia la comunidad escolar de Canarias, desde primaria a formación profesional. Este concurso presenta cinco categorías de acuerdo a su nivel y con el nombre de personalidades científicas relevantes en el conocimiento de los océanos: Jacques Cousteau (5º y 6º curso de primaria), Ramón Margalef (1º y 2º de E.S.O.) Charles Darwin (3º y 4º de E.S.O.), Alexander von Humboldt (1º y 2º de Bachillerato) y Jacques Piccard (Formación Profesional).

En la edición 2016 han participado en la fase inicial más de 20 centros de todo el Archipiélago Canario. Sólo 10 centros pasaron a la fase final, celebrada el 16 de Mayo de 2016 en el Paraninfo de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

En la edición de 2016 se proclamó ganador de la Modalidad Jacques Cousteau al CEIP Fernando III el Santo (Santa Cruz de Tenerife), en la Modalidad Ramón Margalef al Colegio Salesianos San Isidro (La Orotava), en la Modalidad Charles Darwin al Colegio María Auxiliadora (Las Palmas de Gran Canaria), en la categoría Alexander von Humboldt al IES Nelson Mandela-Tafira (Las Palmas de Gran Canaria), mientras que en la modalidad Jacques Piccard el ganador fue el IES Profesor Antonio Cabrera Pérez (Telde).

Desde la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos, queremos agradecer la participación de todos los centros, recalando el altísimo nivel de los trabajos presentados. Estos trabajos han sido fruto de la curiosidad científica y el trabajo de grupos de alumnos, así como del esfuerzo de profesores muy implicados. El alto nivel de los trabajos, su calidad y originalidad debe ser motivo de orgullo para todos los participantes. Asimismo queremos agradecer a las diferentes instituciones y empresas colaboradoras su inestimable apoyo (Consejería de Educación y Universidades del Gobierno de Canarias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, elittoral S.L., TB Diagnost, Fundación Loro Parque, Obra social La Caixa, Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información, Fred Olsen Express y Mercurio Editorial).



Galardones Océanos 2016

Con objeto de favorecer el estudio y/o conservación de la vida en los océanos, la Sociedad Atlántica de Oceanógrafo (SAO) ha establecido el galardón *Océanos* para reconocer la labor individual de personas, empresas y comunidades, asociaciones o instituciones, realizada en favor de la promoción de las ciencias marinas y/o la protección de los mares y océanos y de la vida que estos soportan, a lo largo de toda una trayectoria vital o profesional.

En ediciones anteriores se ha distinguido a científicos de la talla del profesor Federico Mayor Zaragoza, el Prof. Francisco Rubio Royo, el Prof. Carlos Bas Peired y, a título póstumo, al Prof. Guillermo García Reina, así como a entidades reconocidas internacionalmente como el Instituto Español de Oceanografía, el Comité Oceanográfico Intergubernamental, la organización Oceana, The Marine Stewardship Council (MSC), Salvamento Marítimo, el Servicio Aéreo de Rescate o el Buque Hospital Esperanza del Mar. También ha sido distinguida con este galardón la Cofradía de Pescadores de la Restinga, en el Hierro.

En su cuarta edición, celebrada el 8 de junio, día Internacional de los Océanos, se ha reconocido labor del Dr. Luis Felipe López Jurado, por sus trabajos para la recuperación de las poblaciones de tortuga boba (*Caretta caretta*) y foca monje, a World Wildlife Fundation (WWF) -ADENA en su demarcación española, por su programa marino orientado a la protección de especies, y a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) por sus esfuerzos en la protección de la fauna en peligro de extinción con su Lista Roja de Especies Amenazadas. El nexo entre estas entidades y personas es su trabajo por promover la conservación de los océanos, ya sea aportado conocimiento como trabajando directamente para protegerlos.

Desde la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos, queremos agradecer al colaboración del Real Club Victoria, la Fundación Cajamar- Canarias - Cajarural, y Mercurio Editorial.



(De izquierda a derecha) D. José Luis García Varas (responsable del programa marino de WWF España) Dña. Beatriz Ayala Bonal (Técnico del programa marino de WWF-Adena en Canarias), D. Tony Gallardo (Director de la Reserva de la Biosfera de Fuerteventura que recogió el Galardón en nombre del Dr. Luis Felipe López Jurado), y el Dr. Ricardo Haroun Tabraue (Profesor de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Miembro de la Comisión sobre Gestión de Ecosistemas de IUCN).

Nuestro objetivo es iniciar un foro de discusión en el que todos aportemos nuestra experiencia personal en los distintos ámbitos en los que desarrollamos nuestra actividad profesional (académica, empresarial, etc.). Pretendemos ser referencia en los asuntos relacionados con el mar, no únicamente los relacionados con la Oceanografía, sino también en todos aquellos aspectos relativos a nuestra formación académica, que cada vez tiene más repercusión mediática en nuestro entorno geográfico.

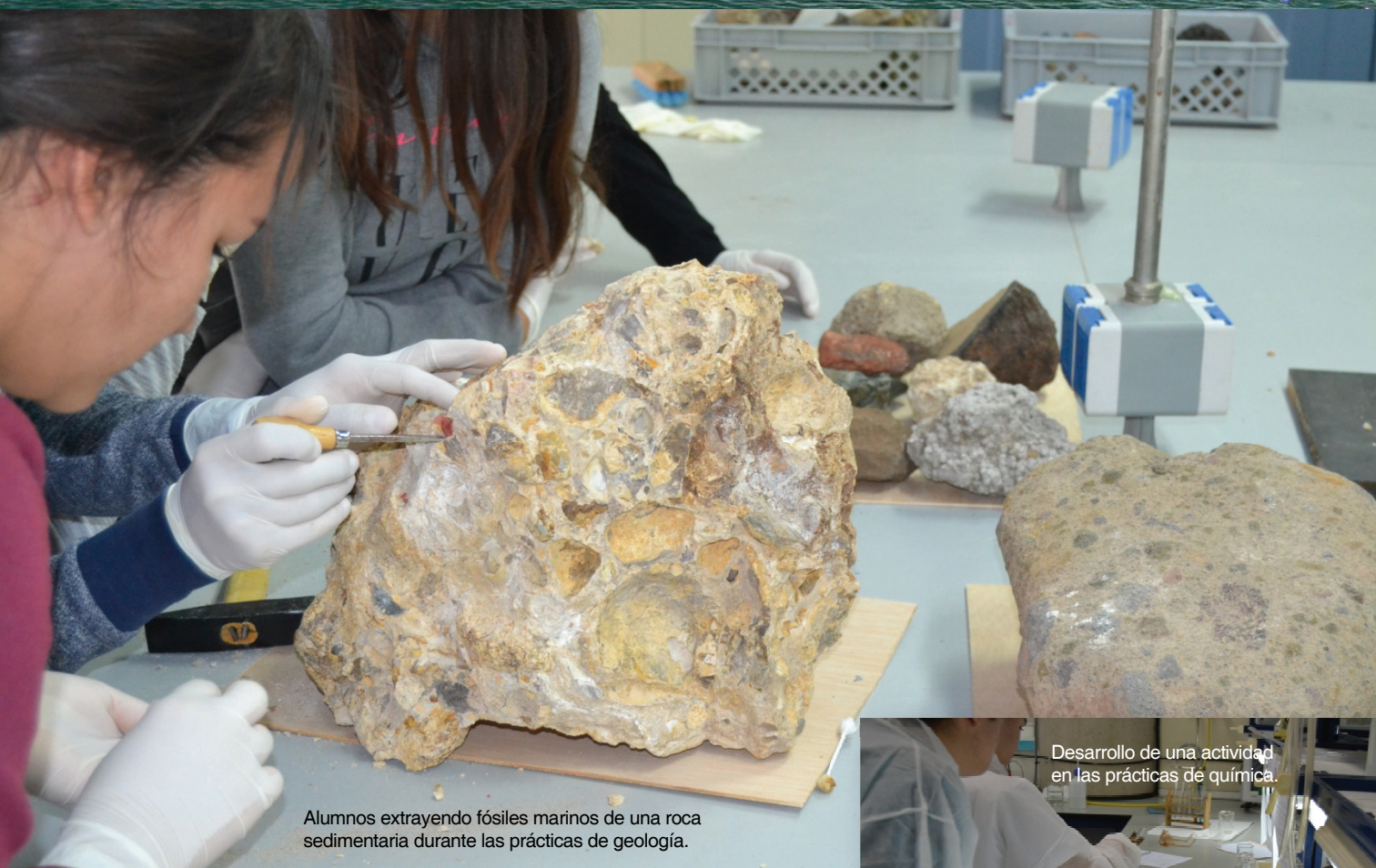
Asóciate

Si lo deseas, puedes formar parte de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos. Para conocer más a fondo la SAO puedes consultar nuestro compromiso con la Sociedad.

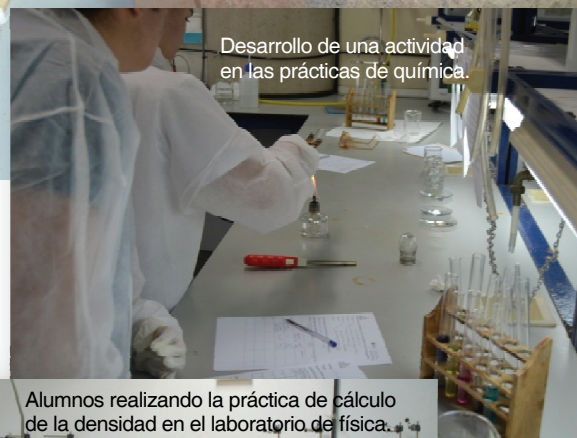
Para asociarte simplemente rellena el formulario de inscripción y una vez firmado remítelo a info@sociedadatlanticadeoceanografos.org. La cuota anual es de 60 €, que puedes abonar de una sola vez o bien fraccionarla en pagos trimestrales o semestrales.

La información la puedes encontrar en: www.sociedadatlanticadeoceanografos.org/asociate

Prácticas de Ciencias 2016



Alumnos extrayendo fósiles marinos de una roca sedimentaria durante las prácticas de geología.



Desarrollo de una actividad en las prácticas de química.

En enero de 2016 se desarrolló el Programa de Prácticas de Ciencias (biología, geología, física y química) para alumnos de 4º de ESO, promovido por la sociedad Atlántica de Oceanógrafos. Este proyecto, financiado por la Consejería de Educación y Juventud del Cabildo de Gran Canaria, se celebró en los laboratorios e instalaciones del edificio de Ciencias Básicas y Facultad de Ciencias del Mar, en el Campus Universitario de Tafira, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

En su segunda edición han participado más de 600 alumnos de 20 centros de toda Gran Canaria. Estas prácticas pretenden apoyar y complementar el currículum de ciencias de estos alumnos, acercándolos a los laboratorios y profesionales de la Universidad y que, durante dos días, sean protagonistas de actividades destinadas a promover las ciencias y las vocaciones científicas.



Alumnos realizando la práctica de cálculo de la densidad en el laboratorio de física.



**ALDEAS
INFANTILES SOS**
Un hogar para cada niño

*Centro Integral de Infancia
y Familia*

VISÍTANOS EN TELDE

Calle Lic. Calderín, 24, 35200, Las Palmas. Teléfono: 928 69 64 15

**UN HOGAR PARA
CADA NIÑO**



**ALDEAS
INFANTILES SOS**

Los mejores precios de Canarias

Informática



Caninfo
Comunicaciones

www.caninfo.es