

OKEANOS

Revista de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

Nº 2 enero 2016

ISSN: 2444-4758



P.V.P 4,00 €

Cuatro años de estudio multidisciplinar

El nacimiento de un volcán

Las nanopartículas de plata y su efecto en el medio acuático

Atunes y cambios climáticos

Yacimientos de interés paleontológico y arqueológico en Jinámar

Las algas de las costas de Canarias como fuente de salud

Contaminantes emergentes

Gestión y toma de decisiones en la ensenada de Las Canteras

El desastre ambiental de la bahía de Chañaral

Niveles marinos antiguos grabados en rocas volcánicas

Fotografía de portada:

Lavas penetrando en el mar y formando un delta de lava (isla baja) que gana terreno al mar (foto tomada en febrero de 2005). Observatorio Volcanológico de Hawaii, HVO, Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS).

Editorial

A nadie se le esconde que los primeros pasos son los más difíciles, pero que son necesarios darlos para que se comience a hacer camino. Por ello, y asumiendo dicha dificultad, la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos quiere dar un segundo paso con *Okeanos* y mantener la rumbo establecido desde un inicio, a pesar de las tormentas que se anuncia en el horizonte. Por ello, hemos incorporado como tripulación en este segundo viaje a personas que aportan estabilidad al proyecto, con un material científico de primera línea. Si duda, la carga que ahora trasportamos entre las cuadernas de esta nave, como a los argonautas, nos permitirá sortear con éxito los límites del conocimiento en diversos temas de gran actualidad. Así, bordearemos el cráter del volcán submarino que ha surgido al sur de la costa de la isla de El Hierro (Islas Canarias), mediremos los efectos en el medio marino de las nanopartículas de plata, un residuo consecuencia del desarrollo de nuevas tecnología aplicadas a la cosmética y medicina, y veremos cómo los cambios experimentados en el clima del Mediterráneo han condicionado significativamente a las poblaciones de atún rojo y sus pesquerías tradicionales.

También en esta travesía podremos dar una mirada a los yacimientos paleontológicos y arqueológicos de la costa este de Gran Canaria, así como entender cuáles son algunas de los beneficios para la salud de las algas presentes en las aguas del Archipiélago. A lo largo de la travesía recogeremos muestras de contaminantes emergentes, un nuevo reto para la ciencia, y haremos una parada en la Ensenada de Las Canteras para estudiar su transformación y los problemas de colmatación que está sufriendo esta emblemática playa de Gran Canaria. De aquí, y al igual que los grandes naturalistas del siglo XVIII, cruzaremos el océano hasta las costas de Chile para analizar la contaminación que sufren estas aguas del Pacífico Sur consecuencia de la minería de cobre. Y terminaremos este segundo viaje de la misma forma que empezamos, bordeando los volcanes y sus erupciones para usarlos como páginas de un libro que nos posibilitan leer los niveles que ha alcanzado el mar a los largo de los últimos millones de años en Canarias.

Como parte del equipamiento del navío, seguimos manteniendo la sección de entrevista, en esta ocasión de la mano del experto en reptiles profesor Luis Felipe López Jurado, así como recordaremos a otro insigne profesor, al Dr. Francisco López Capont, impulsor de la tecnología industrial aplicada a los productos derivados de la pesca en España. También estaremos atentos al paisaje, en este caso a través de la cámara de Daniel Montero Vitorés, y ojearemos algunos de los libros publicados recientemente sobre diversos temas relacionados con las ciencias marinas. Pero también hemos incorporado nuevas secciones, a modo de instrumental más preciso que nos permita señalar mejor el rumbo, donde recordaremos algunas de las efemérides más importante en las investigación marina, en este caso la bajada del Trieste a la Fosa de las Marianas en 1960, y rescataremos del olvido a de algunos monstruos marinos legendarios que aterraron a marineros de todos los tiempos, como los peces fraile y obispo, que esperamos despierten el interés para nuestros lectores.

En nombre del capitán y la tripulación de *Okeanos* les damos la bienvenida a bordo y les pedimos que ocupen sus puestos. Mantengan bien abiertos los ojos y despejado de prejuicios el conocimiento. ¡Suelten amarras!

04 PERSONAJES/EFEMÉRIDES

Federico Mayor Zaragoza (José J. Castro Hernández)

06 El nacimiento de un volcán submarino

(Eugenio Fraile Nuez, Magdalena Santana-Casiano y Melchor González-Dávila)

13 Las Nanopartículas de plata y su efecto en el medio acuático

(Lidia Fernández Rojo y Aridane G. González)

16 Atunes y cambios climáticos

(José J. Castro Hernández)

21 Monstruos marinos (1). El pez fraile y el pez obispo

(José J. Castro Hernández y Luis Felipe López Jurado)

22 Yacimientos de interés paleontológico y arqueológico de la desembocadura del barranco de Jinámar

(Juan Evaristo Armas Herrera, Clara García Fanto, Laura García Pérez, Beatriz Pestana Quintero, David Pozo Gutiérrez, Joaquín Meco Cabrera, Alejandro Lomoschitz y Juan Francisco Betancort)

24 Las algas de las costas de Canarias como fuente de salud

(Aroa López, Miguel Suárez de Tangil y Milagros Rico)

28 Entrevista al dr. Luis Felipe López Jurado

33 Contaminantes emergentes

(María Esther Torres-Padrón, Zoraida Sosa-Ferrera y José Juan Santana-Rodríguez)

37 Obituario. Francisco López Capont

38 Okeanos de fotos

(Daniel Montero)

45 Gestión y toma de decisiones sobre la ensenada de Las Canteras

(Vicente Benítez Cabrera)

50 El desastre ambiental de la bahía de Chañaral

(Joseline Tapia Zamora)

56 Niveles marinos antiguos grabados en rocas volcánicas

(Francisco José Pérez Torrado y María del Carmen Cabrera Santana)

60 Agenda SAO

62 Noticias de avances en Ciencias Marinas

64 Evaluación de calidad en Ciencias del Mar

(Milagros Rico Santos y Pilar García Jiménez)

66 Bibliografía

Dirección: José Juan Castro

Coordinador responsable: Alexandre Redondo

Coordinador de las secciones de Personajes/Efemérides y Agenda: José Juan Castro. **Coordinadores de la sección de Artículos de divulgación:** Germán Rodríguez, Aridane González, Pilar García, Fernando Tuya y Jesús Martínez Martínez.

Coordinadores de la sección bibliografía y fuentes de información: Avelina Fernández Manrique de Lara. **Material fotográfico:** Aketza Herrero Barencua y Yeray Pérez González.

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.okeanos@gmail.com. **Teléfono:** (+34) 928 451 000.

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

Editado en Las Palmas de Gran Canaria

(Islas Canarias – España)

www.mercurioeditorial.com



Escriben en este número: Lidia Fernández Rojo (Laboratoire Hydros-ciences Montpellier UMR 5569, France); Aridane G. González (Université de Bretagne Occidentale, LabexMer, Lab. des Sciences de l'Environnement Marin (LEMAR), Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), France); José J. Castro Hernández y Luis Felipe López Jurado (Instituto EcoAqua, Univ. de Las Palmas de GC, Fac. de Ciencias del Mar, I. Canarias, España); Daniel Montero (Doctor en Ciencias del Mar, depart. de Biología de la Univ. de Las Palmas de GC y fotógrafo de naturaleza de "portfolionatural"); Juan Evaristo Armas Herrera, Clara García Fanto, Laura García Pérez Beatriz Pestana Quintero, David Pozo Gutiérrez y Joaquín Meco Cabrera (Lab. de Paleontología, Fac. de Ciencias del Mar.); Alejandro Lomoschitz y Juan Francisco Betancort (Inst. de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG), de Las Palmas de GC); Aroa López, Miguel Suárez de Tangil y Milagros Rico (Dep. de Química, Univ. de Las Palmas de GC, Fac. de Ciencias del Mar, I. Canarias, España); María Esther Torres-Padrón, Zoraida Sosa-Ferrera y José Juan Santana-Rodríguez (Grupo de Análisis Químico Medioambiental (AQMA), Dep. de Química, Univ. de Las Palmas de GC, I. Canarias, España); Francisco José Pérez Torrado y María del Carmen Cabrera Santana (Grupo de investigación GEOVOL, Departamento de Física, Univ. de Las Palmas de GC, Fac. de Ciencias del Mar, I. Canarias, España); Milagros Rico Santos (Directora de Calidad de la ULPGC, Univ. de Las Palmas de GC); Pilar García Jiménez (Vicedecana de Calidad Educativa, Fac. de Ciencias del Mar, Univ. Las Palmas de G C); Joseline Tapia Zamora (Dep. de Ingeniería en Minas, Univ. de Antofagasta, Chile, e Inst. de Ciencias de la Tierra, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Región de Los Ríos, Chile); Vicente Benítez Cabrera (Sociedad Atlántica de Oceanógrafos); Eugenio Fraile Nuez (Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Canarias, Tenerife), Magdalena Santana Casiano y Melchor González Dávila (IOCAG, Univ. de Las Palmas de GC, I. Canarias, España).



Federico Mayor Zaragoza

José J. Castro Hernández

El Profesor Federico Mayor Zaragoza (Barcelona, 27 de enero de 1934) ha sido una de las personalidades más destacadas en la socio-política internacional, como Director General de la UNESCO durante 12 años.

En 1958 se doctoró en Farmacia por la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid, tras lo cual inició su carrera académica en la Universidad de Granada, en la cual fue catedrático en bioquímica y de Rector entre 1968 y 1972. También fue catedrático de bioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, cargo que ocupó hasta 2004. Fue nombrado Vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en 1971 y posteriormente Presidente en Funciones (1972-1973). Fue cofundador del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa (CBMSO), en 1974, siendo director del mismo hasta 1978.

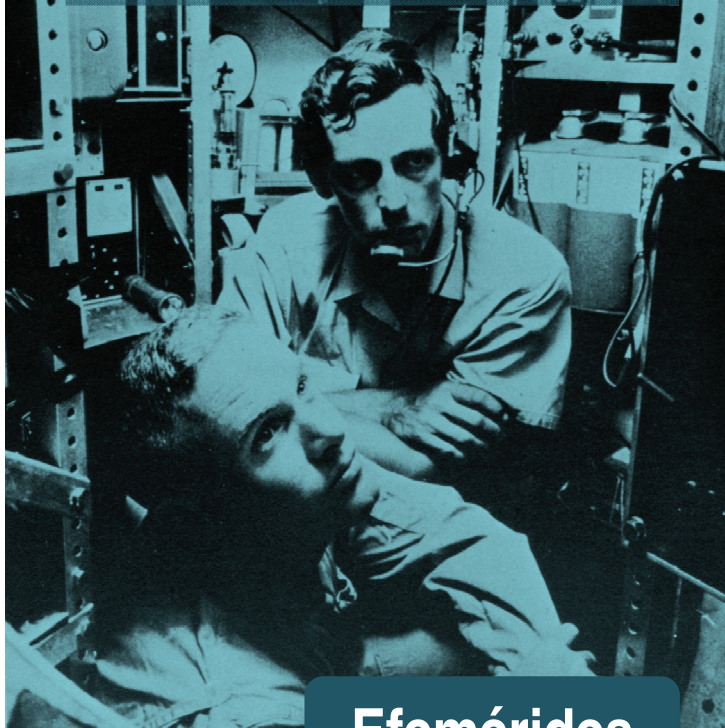
Aparte de por su intensa labor científica como profesor de bioquímica, también tuvo una notable representatividad política, como Subsecretario de Educación y Ciencia del gobierno presidido por Carlos Arias Navarro, entre 1974-1975, en plena dictadura franquista, y posteriormente como Ministro de Educación y Ciencia, durante el gobierno de Leopoldo Calvo Sotelo, tras la dimisión de Adolfo Suárez. Además, ha desempeñado otros múltiples cargos en la alta política española, tanto como diputado al Congreso por UCD, y en el Parlamento Europeo en representación del CDS. Recientemente ha destacado también su labor al frente de la Fundación por una Cultura de Paz, en la presidencia de ISE (Initiative for Science in Europe), así como en la representación de otras instituciones de corte social de gran importancia nacional como internacional.



La Sociedad Atlántica de Oceanógrafos le otorgó en 2014 el Galardón Océanos por su impulso a los estudios en Ciencias del Mar

En 2014, la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos le otorgó el Galardón Océanos en reconocimiento a su decisivo papel en la implantación de los estudios de Ciencias del Mar en España, concretamente en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Esto fue una apuesta importante para alcanzar, en nuestro país, un mayor desarrollo de las ciencias marinas, en todas sus vertientes, y poner de relieve el valor crucial de los océanos en el desarrollo social e industrial de España. También en 2014, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria le nombró doctor honoris causa.

El pasado 23 de enero se cumplieron 55 años del descenso del batiscafo *Trieste* al punto más profundo de la superficie de la corteza terrestre, la fosa de las Marianas, al suroeste de las Islas Marianas, cerca de Guam (Pacífico Noroccidental). En 1960, Jacques Piccard y Donal Walsh alcanzaron la máxima profundidad marina en este batiscafo diseñado por el ingeniero suizo Auguste Piccard, padre de Jacques.



Efemérides



El batiscafo Trieste diseñado por Auguste Piccard (Suiza), de construcción italiana, fue botado por primera vez en agosto de 1953 cerca de Nápoles. Su construcción fue financiada en gran parte por el Consejo de la ciudad italiana de Trieste, de la que recibió el nombre (foto: U.S. Naval Historical Center).

4 años de estudio multidisciplinar

El nacimiento de un

volcán submarino



Eugenio Fraile Nuez, Magdalena Santana-Casiano y Melchor González-Dávila

La historia geológica del archipiélago canario empezó hace más de 20 millones de años con erupciones volcánicas periódicas que dieron lugar a siete islas principales cerca del margen continental africano. De acuerdo con dataciones recientes, la isla más occidental, El Hierro, surgió aproximadamente hace 1 millón de años, convirtiéndose en la más joven de las siete. La última erupción volcánica subaérea registrada en las Islas Canarias fue hace más de 40 años en la isla de La Palma (volcán de Teneguía, 1971), sin embargo, no se había registrado ningún proceso eruptivo submarino en los últimos 500 años.

El pasado mes de julio de 2011, la isla canaria de El Hierro, comenzó a temblar de manera inusual. En menos de tres meses, el organismo encargado de controlar la actividad sísmica en España, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) registró, a través de su red sísmica, más de doce mil terremotos de baja magnitud que atravesaban la isla de norte a sur prácticamente por su mitad. Estos terremotos tenían magnitudes que variaban entre 2 y 4,4 en la escala de Richter y la deformación del terreno superó los 5 cm en su componente vertical. Finalmente, el día 10 de octubre de 2011, la corteza terrestre rompió a 1,8 km al sur del

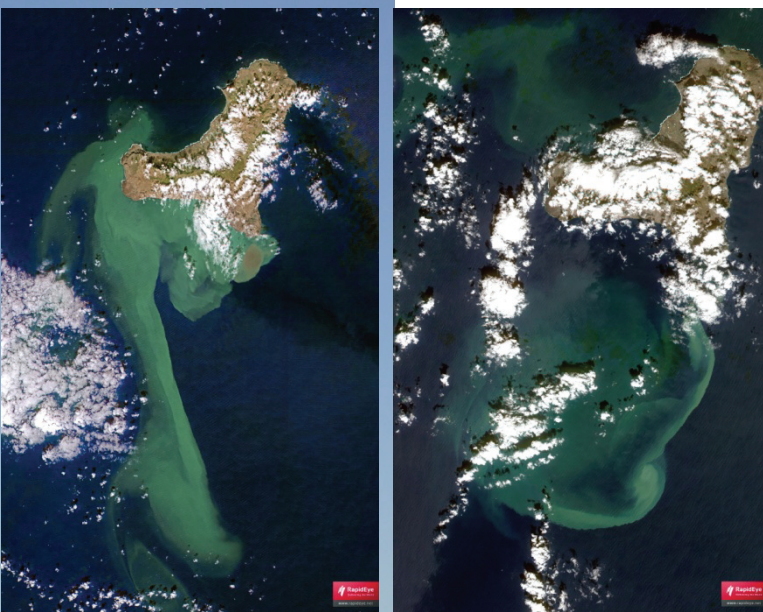


Fig. 1. Perturbación mancha volcánica vista desde satélite (Rapideye).



En julio de 2011 la isla canaria de El Hierro comenzó a temblar de manera inusual. En menos de tres meses se registraron más de doce mil terremotos de baja magnitud que atravesaban la isla de norte a sur prácticamente por su mitad.

Fig. 2 . Buque de investigación oceanográfica *Ramón Margalef*, perteneciente al Instituto Español de Oceanografía. Foto: Isis Comas.



pueblo pesquero de La Restinga y a una profundidad de 350 metros por debajo de la superficie del océano, comenzando así la erupción de un volcán submarino.

Este hecho ha supuesto un fenómeno sin precedentes para la oceanografía española convirtiéndolo en un objetivo de estudio multidisciplinar.

El volcán submarino de la isla de El Hierro empezó a emitir al medio marino grandes cantidades de calor, gases y material magmático procedente del interior de la tierra. La combinación de estos materiales con el agua de mar produjo que las propiedades físico-químicas de las aguas próximas al volcán cambiasen de forma significativa produciéndose así, fuertes anomalías que causarían un serio desastre ecológico.

Dos días después de que se iniciara este proceso, el 12 de octubre de 2011, la pluma de origen volcánico producida por estas emisiones alcanzaba la superficie marina y era visible desde imágenes de satélite.

La perturbación de los parámetros físico-químicos, visible desde la superficie del océano, podía, por tanto, ser seguida y estudiada. Esta pluma o mancha se transportaba con las corrientes locales y en ocasiones, interactuaban con estructuras meso-escalares propias del sur del archipiélago Canario (remolinos anticiclónicos, que giran a favor de las agujas del reloj, entre otras) para así, transportarse cientos de kilómetros. Cambios locales en el régimen de vientos o corrientes determinaban que la mancha volcánica llegase a otros puntos de la isla de El Hierro: la parte oeste, zona del faro de Orchilla, parte norte, zona de El Golfo o incluso la parte este, zona del puerto de La Estaca.

Esta mancha era solo la parte visible de la perturbación, aunque las anomalías más importantes se encontraban entre los 75-100 metros de profundidad. Las grandes concentraciones de ácido sulfhídrico, ácido carbónico, metales en su estado reducido, etc., producían un ambiente altamente reductor que en contacto con las aguas que le rodeaba consumía prácticamente todo el oxígeno del medio. Durante días, peces muertos de todos los tamaños, se contaban por centenares flotando en superficie, era un panorama aterrador. La Naturaleza es muy caprichosa y quiso que este nuevo volcán submarino naciese en plena Reserva Marina del Mar de las Calmas, en una isla que es Reserva Mundial de la Biosfera por la UNESCO.

A partir de ese momento, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) por orden Ministerial pone el Buque Oceanográfico *Ramón Margalef*, el más moderno de la flota oceanográfica Española, a tomar datos *in situ* y dar respuestas y asesoramiento científico al organismo gestor de la crisis volcánica, PEVOLCA.



En menos de una semana, el Centro Oceanográfico de Canarias (IEO-COC), responsable del estudio de las variaciones de las propiedades físico-químicas y biológicas, tuvo que organizar un equipo multidisciplinar de investigadores y técnicos que embarcara a bordo del *Ramón Margalef*. Este equipo se formó con investigadores y técnicos del Centro Oceanográfico de Canarias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Banco Español de Algas, Instituto de Ciencias Marinas y Plataforma Oceánica de Canarias. En total, más de 24 investigadores y técnicos de 5 instituciones distintas.

Se realizaron un total de 12 campañas oceanográficas en el contexto de la crisis sísmica alrededor de la isla de El Hierro, campañas Bimbache, durante las cuales, se intercambiaban campañas de geología (Bimbache-leg 1, 4, 6, 7, 9 y 11) y campañas de oceanografía (Bimbache-leg 3, 5, 8, 10 y 12).

Además de estas campañas, se aprovecharon otros proyectos de investigación y buques para seguir tomando datos en la zona y aumentar así la única serie temporal sobre un volcán mono-genético submarino. Este es el caso de las campañas RAPROCAN del IEO-COC durante diciembre de 2011 y 2012 a bordo de dos buques del IEO (B/O *Cornide de Saavedra* y B/O *Ángeles Alvariño*) y del proyecto CETOBAPTH del Plan Nacional de la ULL (B/O *Cornide de Saavedra*).

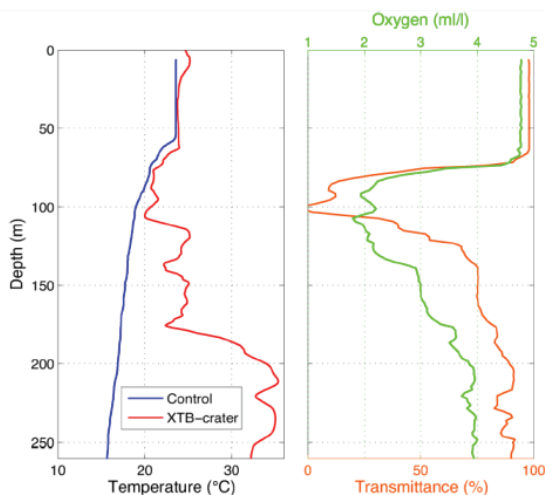
Los datos recogidos durante las campañas de oceanografía dieron lugar a publicaciones científicas internacionales en revistas de reconocido prestigio (Fraile-Nuez, *et al.*, 2012 y Santana-Casiano, *et al.*, 2013). La serie de datos recogida suministraba información nueva y de vital importancia para la comunidad científica nacional e internacional. Uno de los resultados más relevantes concluyen que el ecosistema submarino de la isla de El Hierro se convirtió en un "laboratorio natural" para el estudio de cómo un ecosistema marino puede adaptarse a condiciones futuras producidas por el Cambio Climático.

Como todos sabemos, los factores fundamentales que intervienen en el Cambio Climático son: 1) aumento de la temperatura, 2) acidificación oceánica y 3) desoxigenación oceánica. Estos tres factores tuvieron lugar en el ecosistema marino de la isla de El Hierro de forma conjunta y en un escenario natural.

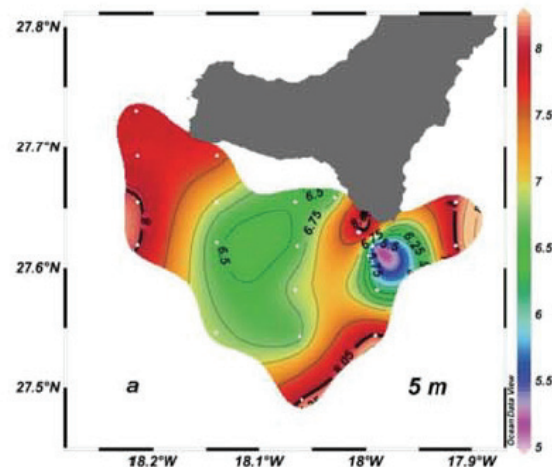
Los modelos climáticos estiman que a finales del próximo siglo, la temperatura media de los océanos aumentará 0,6°C, el pH del océano disminuirá en 0.4 unidades y la concentración de oxígeno decaerá entre un 1-7%. El volcán submarino de la isla de El Hierro expuso a todo un ecosistema marino a cambios que, al ritmo del Cambio Climático actual, tardaríamos en encontrarnos miles de años (temperaturas del océano de 18,8°C de aumento, disminuciones en el pH de 2,8 unidades y pérdida de la concentración de oxígeno de entre el 80-98%).

Aumento de la temperatura del océano

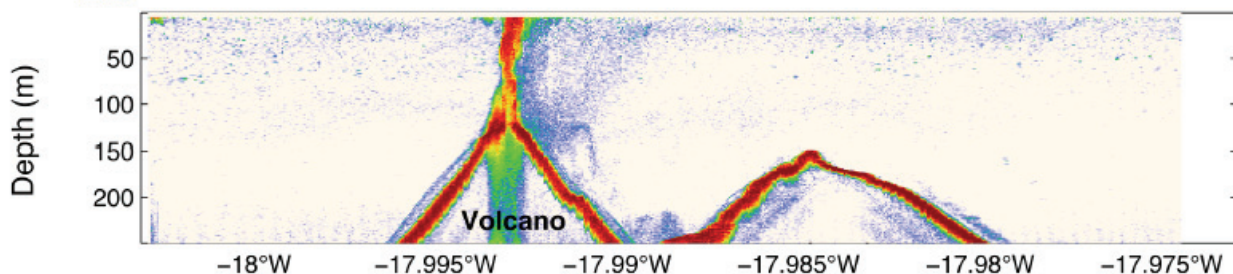
El volcán submarino de la isla de El Hierro emitió al medio marino una gran cantidad de calor que elevó la temperatura de toda la columna de agua (0-200 metros de profundidad) unos 18,8°C. Quizás nos puede parecer poco este valor, ya que estamos acostumbrados a que la temperatura atmosférica cambie decenas de grados simplemente entre la noche y el día. Sin embargo, la capacidad calorífica del agua es mil veces superior a la del aire, por lo que el calor necesario para aumentar 1°C una porción de agua es mil veces superior a la que se necesita para la misma porción de aire. Haciendo un cálculo simple y rápido, si fuésemos capaces de coger todo el calor que el volcán submarino de la isla de El Hierro emitió al océano para calentar una columna de agua de 200 metros de profundidad 18,8°C y lo introdujéramos en una urna de cristal también de 200 metros de altura pero lleno de aire, la temperatura en el interior de la urna estaría a más de 20.000°C.



Perfiles de variación de la temperatura (izquierda) y concentración de oxígeno y transmitancia (derecha) con la profundidad.



Variación espacial del pH en la zona marina afectada por la erupción del volcán submarino de El Hierro.



Ecograma de la sonda EK60. Muestra el perfil del volcán submarino de El Hierro en plena erupción.

La capacidad calorífica del agua es 1000 veces superior a la del aire, por lo que el calor necesario para aumentar 1°C una porción de agua es mil veces superior a la que se necesita para la misma porción de aire.

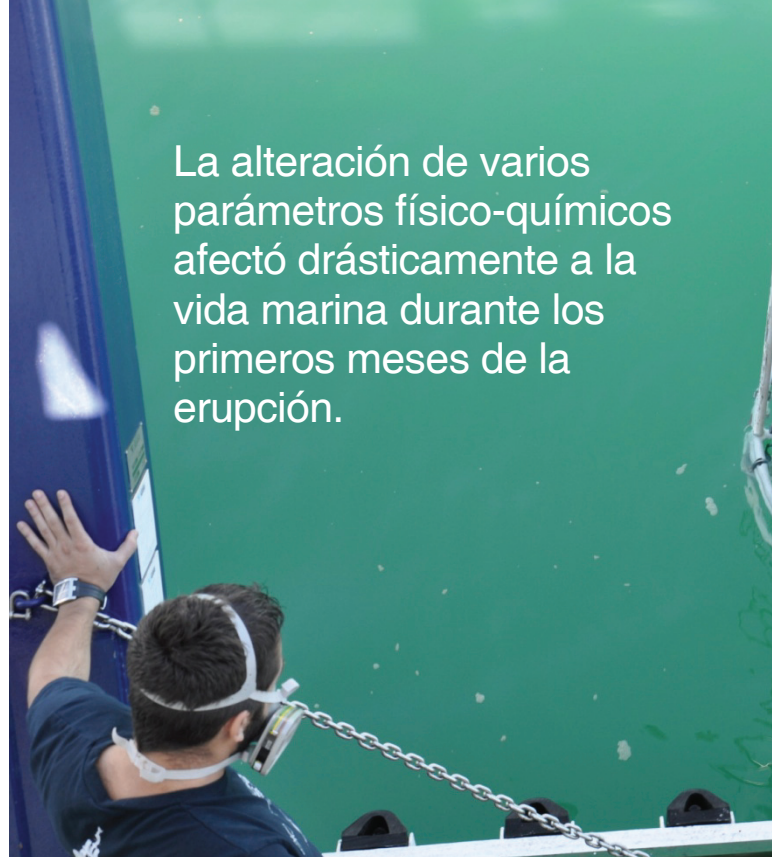
Acidificación del área y cambios en el sistema de los carbonatos

Las emisiones debidas a la erupción submarina fueron muy variables y produjeron cambios importantes en las propiedades químicas en la columna de agua. El periodo eruptivo más fuerte se produjo el 5 de noviembre 2011, cuando se observó una gran burbuja de material y gases en la superficie del mar que alcanzó unos 10 metros de altura, esto generó un contenido elevado de carbono inorgánico (Ct) en las aguas, un aumento de la alcalinidad y una disminución del pH. En aquel momento el cono del volcán se encontraba a más de 200 metros por debajo del nivel del mar, y los valores más bajos de pH se concentraban entre 75-100 metros en la mayoría de las estaciones cercanas, pero debido a la intensidad de los gases emitidos, los valores más bajos de pH también alcanzaron las aguas superficiales en la zona del volcán. Durante la primera de las campañas, leg3, las propiedades químicas de las aguas superficiales en la zona suroeste de la isla se vieron fuertemente alteradas, con valores

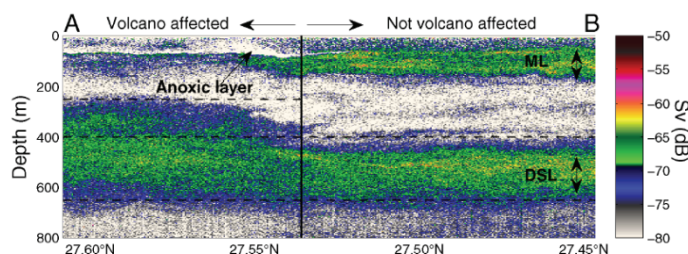
de pH tan bajos como 5.1 en las proximidades del volcán y 6,5 en los alrededores. El valor de pH de referencia en superficie en la estación 1, no afectada por las emisiones, es de 8,0, por lo que el pH disminuyó en torno a 2,8 unidades, lo que suponía que el medio estaba soportando una concentración de protones mil veces superior a lo normal. A 75-100 metros de profundidad, los valores de pH eran de 5,8 incrementándose a 6,4 en los alrededores y 7,2-7,6 en las estaciones más alejadas del volcán. El carbono inorgánico total en las aguas superficiales alcanzó un valor de $7682 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ cuando su valor normal debería ser de $2100 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Estas variaciones en el pH y carbono inorgánico total se debieron a las emisiones de CO_2 y H_2S principalmente.

Emisiones de especies reducidas

Durante el periodo de actividad volcánica, las emisiones de especies reducidas de azufre (H_2S , HS^- , S^{2-} , SO_3^{2-} , S_x^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$) y Fe(II) (Fe^{2+} , Fe(OH)^+ , Fe(OH)^2 , FeCl^+ , $\text{Fe(HCO}_3)^+$, FeHS) contribuyeron a



La alteración de varios parámetros físico-químicos afectó drásticamente a la vida marina durante los primeros meses de la erupción.



disminuir el potencial redox y la concentración de oxígeno disuelto en la zona. En las estaciones cercanas al volcán se detectaron concentraciones de azufre reducido de $476 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ a 75 metros de profundidad durante el 17 de noviembre de 2011. En las aguas superficiales los valores oscilaron entre 50 y $132 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, observándose los valores máximos en diciembre de 2011. A partir de este momento, las concentraciones decrecieron progresivamente. En febrero de 2012, solo se detectó azufre en las aguas superficiales sobre el volcán, $40 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ y en abril de 2012 los valores estaban por debajo del límite de detección.

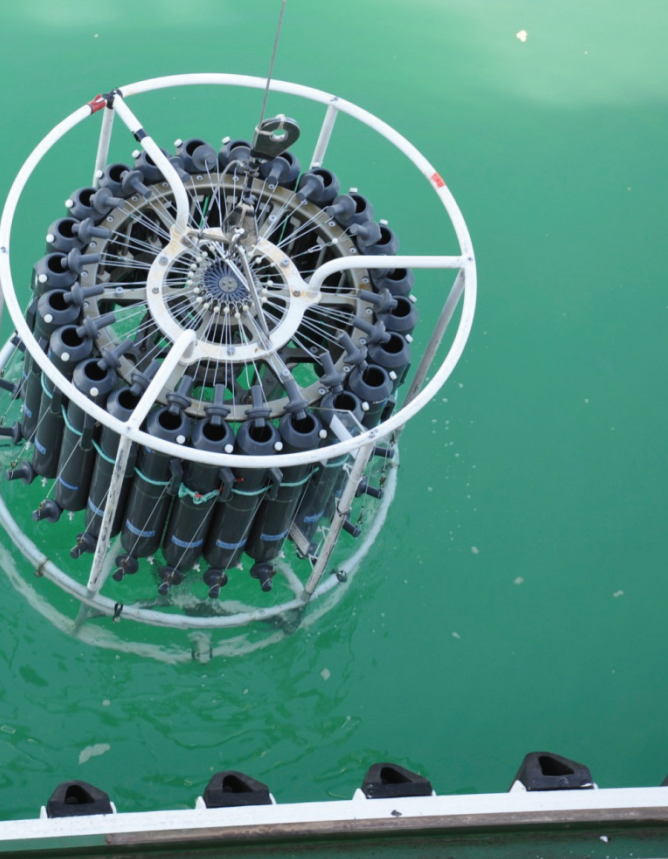
También se detectaron importantes concentraciones de Fe(II) en la columna de agua siguiendo un patrón similar al del azufre reducido. El 17 de noviembre de 2011, a 75 metros de profundidad se alcanzó un valor de $50 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ sobre el volcán. El 8 de diciembre, en aguas superficiales se observaron valores de $20 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Las concentraciones normales de Fe(II) disuelto en las aguas superficiales son $<0.2 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, cinco órdenes de magnitud del valor determinado. Lo que indica que el medio

soportaba una concentración de Fe(II) 4 millones de veces superior a lo normal.

El flujo y oxidación de especies reducidas emitidas por el volcán fue tan elevado que los valores de oxígeno disuelto en algunas zonas se encontraron por debajo del límite de detección, es decir, no existía prácticamente oxígeno, generándose zonas de anoxia a 100 m de profundidad en el área cercana al volcán.

Respuesta biológica

La alteración de todos estos parámetros físico-químicos, especialmente la temperatura, el oxígeno disuelto, pH y altas concentraciones de metales pesados en la zona, afectaron drásticamente a la vida marina durante los primeros meses de la erupción. Tanto es así, que la biomasa de *Prochlorococcus* y *Synechococcus*, picofitoplancton responsable de la generación de casi el 70% del oxígeno que consumimos, no varió significativamente en superficie sin embargo, disminuyó drásticamente a 75 metros de profundidad, en las aguas afectadas por el volcán submarino, entre 3 y 2 órdenes de magnitud



Concentración en profundidad de los organismos que forman parte de la Capa de Reflexión Profunda (DSL) en la zona afectada y no afectada por el volcán. La flecha indica la presencia de una capa de aguas anóxicas (sin oxígeno).

respectivamente. A esta misma profundidad, donde desapareció de forma significativa el picofitoplancton, la biomasa de bacterias heterótrofas aumentó exponencialmente. Esta respuesta distinta de los grupos de picofitoplancton sugiere una selección por ecotipos bajo cambios rápidos de las condiciones oceanográficas. De hecho, análisis filogenéticos preliminares de 16S rDNA de las aguas superficiales revelaron la existencia de un ecotipo de *Prochlorococcus* adaptado a altas temperaturas y alta concentración de cobre.

Además, la migración vertical del plancton y necton, considerada la mayor y más grande migración del planeta, si se tienen en consideración su tamaño y la distancia que se desplazan, también se vio afectada de forma significativa. Es conocido, para todos los océanos del mundo, la existencia de una capa entre los 400-600 metros de profundidad, habitada por una serie de organismos planctónicos de pequeño tamaño. Estos organismos migran diariamente a superficie durante la noche para alimentarse del fitoplancton superficial, una vez llegado el día, vuelven a su pro-

fundidad original y evitan así, ser predados. Entre estos organismos se encuentra el vertebrado más abundante de la biosfera, el *pez linterna*, con un tamaño de entre los 4-5 cm de longitud. En la zona afectada por el volcán submarino, esta migración se vio interrumpida debido fundamentalmente a dos factores: 1) la gran concentración de material en suspensión, cenizas volcánicas, que impedían la penetración de la luz en el océano, por lo que la capa de migradores se aproximaban a superficie creyendo que era de noche, con el riesgo que esto ocasionaba para su supervivencia y 2) la existencia de una capa anóxica (prácticamente sin oxígeno) sobre los 75 metros de profundidad, que impedía la migración nocturna a superficie de estos organismos para alimentarse.

Pero, no todo fue negativo, el volcán submarino de la isla de El Hierro, el causante de un dramático desastre ecológico en una de las Reservas Marinas más importantes de Europa, es también el responsable de la rápida recuperación que está desarrollando el ecosistema marino, debido fundamentalmente a las grandes emisiones de nutrientes y hierro biodisponible, lo que ha producido un efecto de fertilización oceánica inusual.

Fertilización oceánica

Durante la erupción submarina se liberó una gran cantidad de Fe(II) disuelto y por lo tanto biodisponible (la concentración de Fe llegó a ser 4 millones de veces superior a las condiciones normales). Los valores bajos de pH contribuyeron a favorecer la presencia de Fe(II) en el medio al reducirse la velocidad de oxidación del metal y aumentar la solubilidad del Fe(III) . Se observó además una entrada importante de nutrientes, se determinaron concentraciones de nitrato de $3 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ en las aguas superficiales. A 100 metros de profundidad los nitratos alcanzaron valores máximos de $8 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, los fosfatos de $0,6 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ y los silicatos de $23 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Flujos de CO_2 durante el evento explosivo

Durante la primera de las campañas, leg 3, el CO_2 emitido al océano por el volcán submarino aumentó la presión parcial de CO_2 , $p\text{CO}_2$, a valores de $155000 \mu\text{atm}$ sobre el volcán, alcanzando valores de $223400 \mu\text{atm}$ justo después de la burbuja que se generó el 5 de noviembre de 2011. Los valores normales de $p\text{CO}_2$ para la zona son de $414 \mu\text{atm}$. Durante la semana del evento explosivo (4-9 de noviembre) se calculó la emisión de un flujo de CO_2 de $5 \times 10^{10} \text{ g/día}$ en un área de 385 km^2 (considerando un viento $7,5 \text{ m/s}$). Esta cantidad de CO_2 es equiva-

lente al 0,08% del flujo mundial de CO₂ o el 17% del flujo producido por España.

En abril 2012, un mes justo después de dar por finalizada la etapa eruptiva, las emisiones de gases continuaron, y las anomalías se centraron en las proximidades del volcán en un radio de 500 metros. Justo en el punto donde se encontraba localizado el volcán submarino, el pH de las aguas superficiales era de 7,3 y a 50 metros de profundidad 7,2, pero sobre la boca del cráter el pH disminuía a 6,1 y el carbono inorgánico total aumentó a 4191 $\mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Sin embargo, en este periodo post-eruptivo no se detectaron emisiones de ácido sulfhídrico (SH₂).

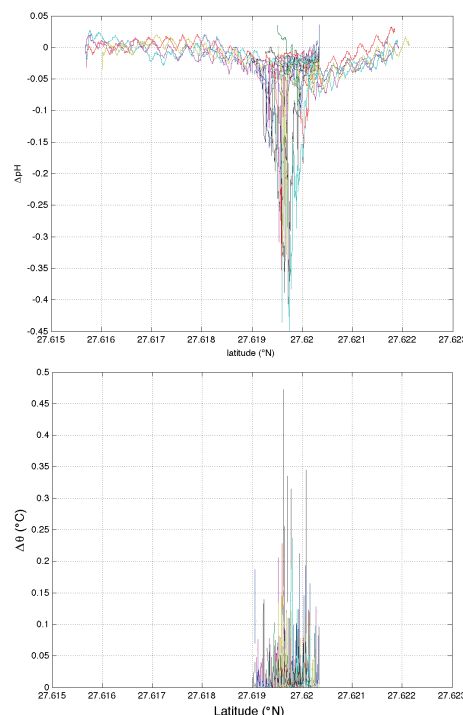
Proceso de desgasificación

La actividad sísmica en la isla del meridiano no ha cesado, de hecho, ya se han registrado varias etapas sísmicas de periodos de tiempo variable y con media-alta magnitud y deformación del terreno. Además, lo que continua muy presente es el proceso de desgasificación sobre el volcán submarino, en un radio de 500 m alrededor del cono principal. El edificio volcánico continúa emitiendo calor y gas (mayoritariamente CO₂) al océano, convirtiendo dicho volcán en un pequeño laboratorio natural para el estudio de los efectos sobre un ecosistema marino real a procesos de calentamiento y acidificación oceánica significativos.

A día de hoy, esta nueva fase de desgasificación está siendo estudiada desde un punto de vista multidisciplinar, física-química-biológica y geológica, gracias a los proyectos VULCANO (2013-2014, CTM2012-36317), VULCANO-2 (2015-2016) y VULCANA (2015-2017) (www.vulcanoelhierro.es), con el objetivo principal de continuar con una de las series temporales de datos más completa y reciente sobre un volcán monogenético submarino. Dicha investigación está liderada desde el Centro Oceanográfico de Canarias por el Instituto Español de Oceanografía en colaboración activa de los Centros Oceanográficos de Cádiz, Málaga, Baleares y Madrid, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, de la Universidad de La Laguna y del Museo de la Naturaleza-Hombre de Tenerife.

Los proyectos del estudio del volcán submarino de El Hierro y gracias a la participación de ambas universidades Canarias, han estado muy involucrados en temas de docencia, fe de ello ha sido las numerosa participación de estudiantes de Máster y Doctorado de la ULPGC y de la ULL en las campañas oceanográficas de El Hierro. Además, a través de las jornadas de puertas abiertas celebradas por el IEO a raíz de la celebración de su centenario (1914-

2014), se le dio la posibilidad a toda la sociedad canaria de tocar por primera vez, muestras del volcán submarino de El Hierro en la visita a uno de los buques de investigación más modernos y con mejor equipación científica para el estudio del océano, el Ángeles Alvariño, el cual, participó activamente en las campañas de el volcán de El Hierro.



Anomalía de pH (izquierda) y temperatura (derecha) durante los barridos con tow-yo sobre el lecho del volcán.

Agradecimientos: Al Instituto Español de Oceanografía, IEO, financiador de los proyectos Bimbache (2011-2012) y VULCANA (2015-2017). Al Ministerio de Economía y Competitividad y a los fondos FEDER por financiar los proyectos de investigación VULCANO (CTM-201-36317) y VULCANO-2 (CTM2014-51837-R). Los trabajos del Sistema del CO₂ y del Fe(II) durante BIMBACHE fueron subvencionados por el Proyecto europeo CARBOCHANGE (264879) y el Proyecto del MINECO, ECOFEMA (CTM2010-19517). Al proyecto CETOBAPH (CGL2009-131121) de la ULL. A toda la tripulación de los buques oceanográficos del IEO (Ramón Margalef, Ángeles Alvariño y Cornide de Saavedra).

Bibliografía

- (1) Fraile-Nuez, Eugenio, et al. "The submarine volcano eruption at the island of El Hierro: physical-chemical perturbation and biological response." *Scientific reports* 2 (2012).
- (2) Santana-Casiano, J. Magdalena, et al. "The natural ocean acidification and fertilization event caused by the submarine eruption of El Hierro." *Scientific reports* 3 (2013).

Las Nanopartículas de plata (AgNPs) y sus efectos en el medio acuático

Lidia Fernández Rojo y Aridane G. González

En las últimas décadas se ha utilizado lo que se conoce como nanopartículas en la fabricación de una gran variedad de productos de uso diario y cotidiano, sin conocer realmente su impacto sobre los ecosistemas. A consecuencia de la mala gestión de las nanopartículas como desecho de las aguas residuales, éstas terminan llegando a las zonas fluviales donde desencadenan efectos nocivos para los organismos de su entorno. Entre las nanopartículas más tóxicas se encuentran las nanopartículas de plata (AgNPs), las cuales tienen un enorme poder contaminante. Este artículo describe qué son las nanopartículas y cuáles son los principales problemas causados por las nanopartículas de plata, analizando su origen, su presencia en los medios naturales y la toxicidad que generan en los organismos que viven el medio acuático.

¿Qué son las nanopartículas?

El avance de las tecnologías ha hecho posible la fabricación de partículas de un tamaño muy pequeño que presentan propiedades estructurales y fisicoquímicas especiales, que les confieren un valor específico para numerosas aplicaciones. Entre estas partículas se encuentran las nanopartículas, cuyo tamaño está comprendido entre 1 y 100 nanómetros, que equivalen a 0,0000001 metros. En la figura 1 se muestra el tamaño y la forma de unas nanopartículas de plata tomadas con un microscopio electrónico. En este caso son partículas esféricas de un tamaño de 20 nanómetros.

El uso de las nanopartículas se ha extendido en las últimas décadas en distintos campos como la medicina, la cosmética, las energías renovables, los tratamientos de aguas residuales o la electrónica, donde han permitido la mejora de ciertos procesos. Basta con echar un vistazo a los productos que usamos a diario para darse cuenta de que el uso de las nanopartículas está muy extendido. En el siguiente esquema (Figura 2) se muestra en general la relación de la nanotecnología con diversos usos comerciales.

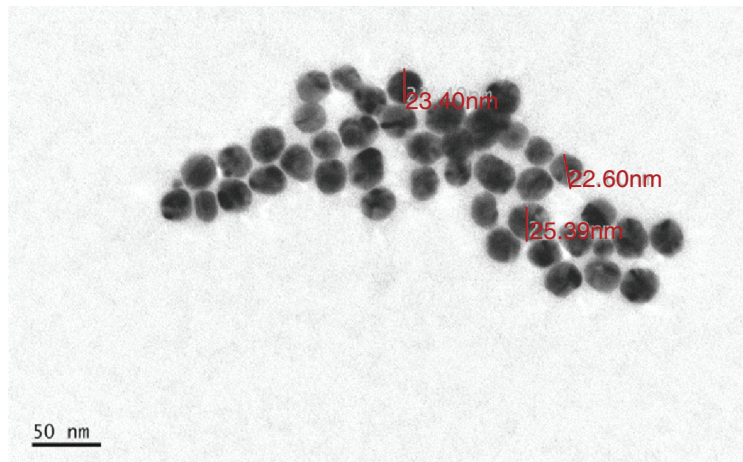


Fig. 1. Nanopartículas de plata de 20 nm. Fuente: Lidia Fernández Rojo, Laboratorio Ecolab, Toulouse, Francia.

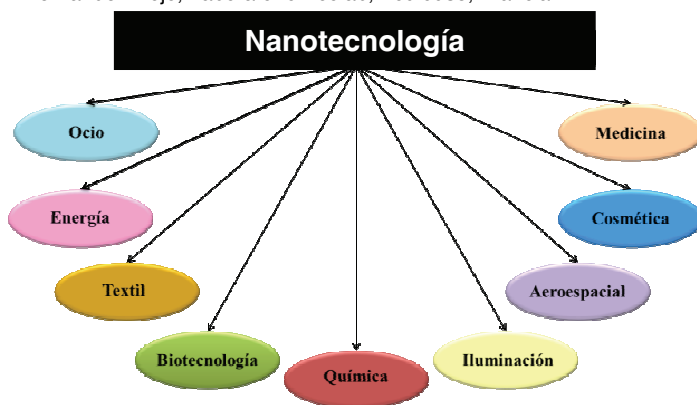


Fig. 2. Uso de la nanotecnología en diversas actividades industriales.

No obstante, cabe destacar que la producción y formación de nanopartículas no es sólo un proceso industrial. Éstas existen desde el inicio de los tiempos debido a la actividad volcánica u otros procesos naturales. De hecho, desde hace relativamente poco tiempo se han empezado a utilizar distintos organismos como microalgas, bacterias o plantas para sintetizar nanopartículas a partir de éstas. Este nuevo proceso se conoce como “Green Production”⁽¹⁾, y permite rebajar los costes de producción y minimizar los residuos generados en el proceso tradicional. De tal forma que podamos utilizar nanopartículas por sus ventajas, pero disminuir todo tipo de riesgo derivado de la actividad industrial.

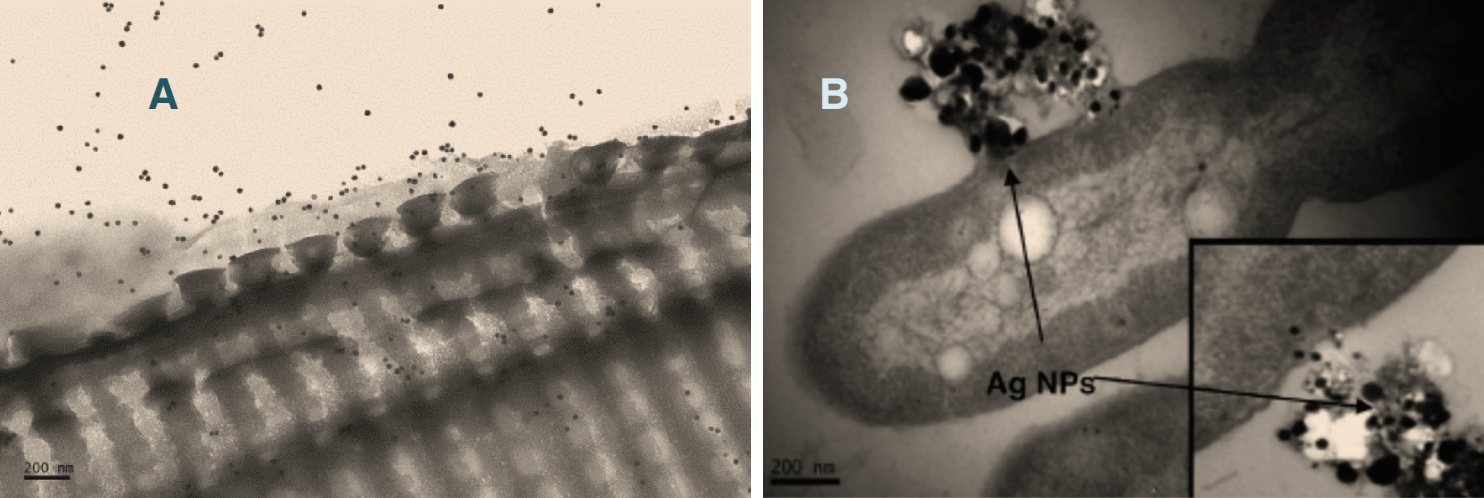


Fig. 3. (A) Nanopartículas de plata en interacción con la pared celular de un alga. Fuente: Lidia Fernández Rojo, Laboratorio Ecolab, Toulouse, Francia. (B) Nanopartículas de plata siendo absorbidas por una bacteria. Fuente: Fabrega *et al* (2011).

Los efectos tóxicos de las nanopartículas están directamente relacionados con la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, de sus siglas en inglés, Reactive Oxygen Species), dentro o en la superficie de las paredes celulares de los microorganismos.

Las nanopartículas de plata

Dentro de las nanopartículas más utilizadas se encuentran las nanopartículas de oro, titanio y de plata (conocida por sus siglas como AgNPs, del inglés “silver nanoparticles”). Las AgNPs se utilizan por sus propiedades físicas y químicas intrínsecas. Una de sus mayores cualidades es su poder antibacteriano, por lo que son utilizadas en prácticamente todos los materiales o pinturas “anti-fouling”. Por otro lado, el coste de producción de las AgNPs es muy barato comparado con otros tipos de metales. Entre otros productos donde a menudo se pueden encontrar las AgNPs se hallan los jabones, plásticos, pastas y textiles. Tan común es el uso de las AgNPs que se ha estimado que su producción está en torno a 320 mil toneladas por año ⁽²⁾.

A pesar del uso extendido de las nanopartículas, nuestro conocimiento sobre los efectos nocivos que pueden generar en los ecosistemas sigue siendo poco preciso. Por consiguiente, en los últimos años se ha incrementado notablemente el esfuerzo de una parte de la comunidad científica para poder entender y comprender los procesos donde intervienen las nanopartículas en el medio acuático y los efectos nocivos en diferentes grupos de organismos. Moreno-Garrido y colaboradores ⁽¹⁾ hacen una detallada revisión de los estudios realizados hasta el momento sobre las nanopartículas, donde muestran como, en el caso de las AgNPs, el número de publicaciones científicas ha aumentado desde 247, en 2001, hasta 3.603 en 2011, lo que confirma el incipiente interés del mundo científico por esta problemática.

AgNPs en aguas naturales

La alta producción de AgNPs se refleja en la elevada concentración de éstas en los sistemas acuáticos, desde ríos hasta zonas costeras o estuarinas. Las AgNPs pueden ser liberadas al medio en todo su proceso industrial, desde el inicio de su producción, la manipulación o durante su aplicación. En 2008 se realizó un estudio que preveía que en el año 2010, el 15% de la concentración total de AgNPs liberadas en las aguas naturales en la Unión Europea provendrían de la industria textil y plásticos ⁽³⁾.

Respecto al destino de las nanopartículas en el medio acuático, al principio se asumía que al ser una partícula, éstas precipitaban al fondo y no se transportaban en las aguas, por lo que los riesgos de contaminación se minimizaban. De hecho, hay autores que sugieren que las nanopartículas se depositan lentamente, mientras que otros sugieren todo lo contrario, un rápido proceso de aglomeración que las retira de las aguas superficiales. En líneas generales, actualmente la mayoría de estudios apoyan la idea de que las AgNPs se acumulan en la parte más superficial, dada sus características químicas y su capacidad de interacción con la materia orgánica, por lo que se pueden transportar grandes distancias y crear efectos tóxicos en áreas alejadas a las fuentes de descarga. En cualquier caso, manteniéndose en disolución o precipitando, el alcance de sus efectos tóxicos puede ser el mismo, sólo difiere la distancia a la que estos efectos se producen desde el foco de emisión.

A modo de ejemplo, la toxicidad causada por la presencia de AgNPs en el medio acuático ha gene-

rado un gran impacto en la economía de ciertas zonas. Éste es el caso del estuario de “la Gironde”, en el suroeste de Francia, donde se ha observado la contaminación de los cultivos de ostras y de ciertas especies de peces.

¿Por qué son tóxicas las AgNPs para el medio ambiente acuático?

Antes de conocerse los efectos tóxicos de las AgNPs, se consideraba que la plata disuelta en agua (en su forma iónica como Ag^+) era la forma más tóxica de plata para los seres vivos. La plata es el segundo metal con más poder tóxico después del mercurio, para los organismos acuáticos. Esta plata disuelta en agua puede causar numerosos efectos nocivos para los humanos, que van desde problemas respiratorios, destrucción de la microflora intestinal hasta dolores abdominales. En los sistemas naturales, la plata disuelta es muy tóxica para los organismos procariontes, invertebrados y peces, tanto en sistemas fluviales como en sistemas marinos, pero no hay ninguna evidencia de que directamente las AgNPs causen efectos tóxicos en los humanos. En cambio, sí que hay efectos indirectos, ya que afectan altamente a la calidad de nuestro entorno y a la economía.

Los efectos tóxicos de las nanopartículas están directamente relacionados con la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, de sus siglas en inglés, Reactive Oxygen Species), dentro o en la superficie de las paredes celulares de los microorganismos. Las AgNPs interactúan con los microorganismos adhiriéndose a sus membranas celulares o penetrando en sus células, produciendo a continuación el efecto tóxico (Figura 3). Cabe destacar que los efectos nocivos de la nanopartículas están también relacionados con su tamaño. Las partículas inferiores a 80 nm pueden introducirse fácilmente en el interior de las células y desencadenar ahí las reacciones que causan su deterioro.

Las AgNPs pueden afectar distintas propiedades de la membrana celular, como la permeabilidad, el transporte iónico, o el colapso de la bomba de protones. También puede afectar directamente al ADN rompiendo enlaces de protones, desnaturalizando ribosomas, degradando lipopolisacáridos, o inactivando proteínas, entre otros procesos.

No obstante, no hay un consenso claro entre los científicos sobre el principio de toxicidad de las AgNPs. Algunos estudios apoyan que la toxicidad se debe a la disolución de las AgNPs en el medio acuático en forma de iones Ag^+ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾, los cuáles son oxidados a su vez generando ROS que pueden ser tóxicas para los organismos. Sin embargo, otras investigacio-

nes sugieren que las nanopartículas pueden ser tóxicas sin necesidad de ser disueltas, sino que la toxicidad se origina por la propia nanopartícula, aunque se desconocen los mecanismos acción.

Por otra parte, numerosos estudios con diferentes productores primarios (los que están en la base de la cadena trófica) señalan que las AgNPs pueden ejercer un efecto tóxico sobre éstos, lo cual puede engendrar un desequilibrio de todo el ecosistema. Por ejemplo, en un estudio con un biofilm (comunidad bacteriana que crece y vive adherida a las superficies) marino, los autores ⁽⁶⁾ observaron que las AgNPs podrían tener efectos potenciales negativos a largo plazo sobre el desarrollo y funcionamiento de este biofilm.

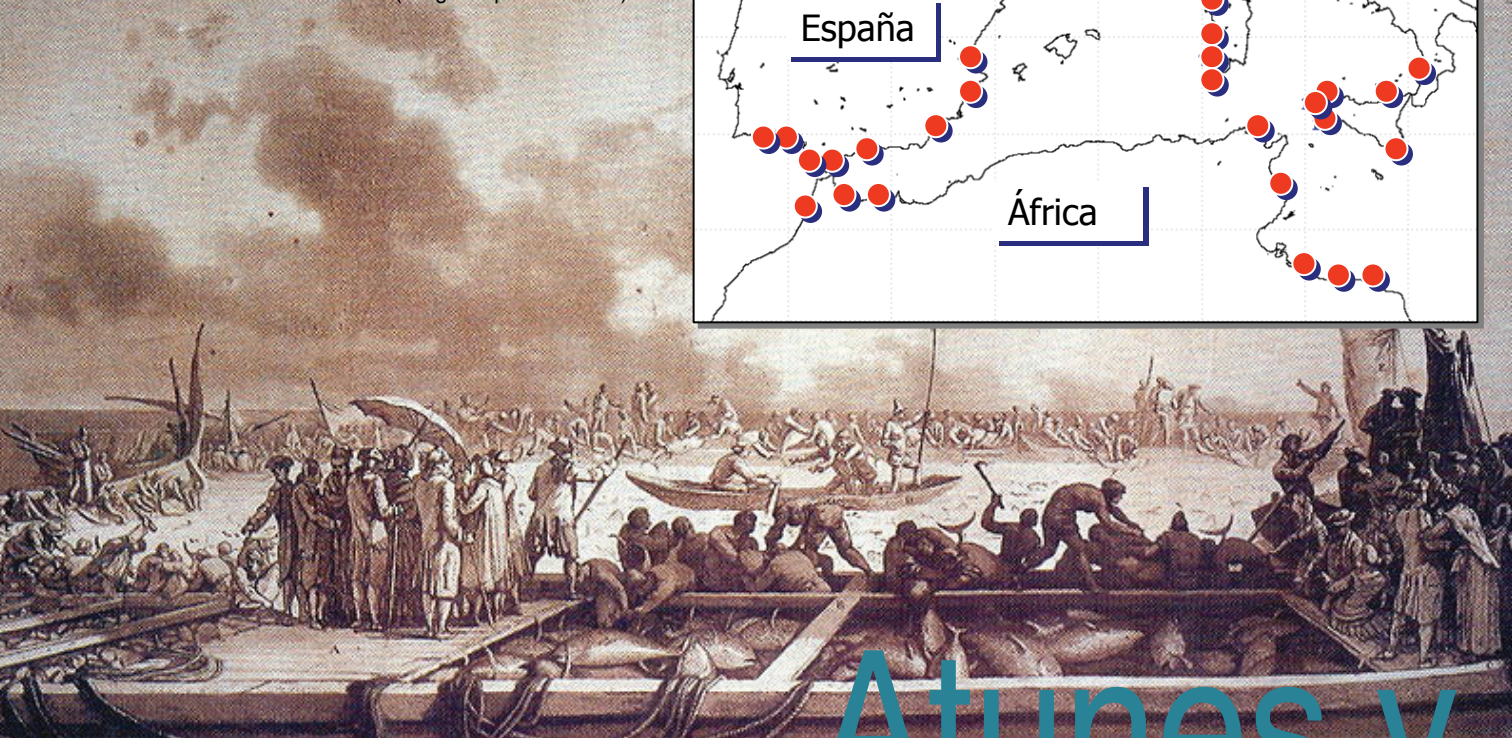
Futuras investigaciones

El problema planteado por las AgNPs es que se han empezado a utilizar a nivel industrial sin tener un conocimiento previo de cómo afectan al medio ambiente, y más específicamente, a los medios acuáticos. Sin embargo, los resultados hasta la fecha no son concluyentes debido a la gran disparidad de métodos analíticos ⁽¹⁾. De esta manera, el estudio de los efectos de las nanopartículas en los ecosistemas y en los organismos debe seguir siendo una línea prioritaria de investigación, la cual debe llevarse a cabo con carácter multidisciplinar dada las características de las nanopartículas y el medio con el que interactúan. Además debe de proponerse un protocolo experimental único que facilite la comparación y discusión de los resultados, ya que hasta ahora es muy difícil llegar a conclusiones concretas dada la dispersión de criterios. En este contexto, los esfuerzos científicos futuros permitirán ampliar los conocimientos sobre los efectos a largo plazo de estas nanopartículas en los medios acuáticos y la toxicidad sobre los organismos que en ellos habitan.

Bibliografía

- (1) Moreno-Garrido I, Pérez S, Blasco J. 2015. *Mar. Environ. Res.*, 111:60-73.
- (2) Nowack B, Krug HF, Height M. 2011. *Environ. Sci. Technol.*, 45(4):1177-1183.
- (3) Blaser SA, Scherlinger M, Macleod M, Hungerbühler K. 2008. *Sci. Total. Environ.*, 390(23):396-409.
- (4) Navarro E, Baun A, Behra R, Hartmann, NB, Filser J, Miao, A J, Quigg A, Santschi PH Sigg L. 2008. *Ecotoxicology*, 17(5):372-386.
- (5) Miao A-J, Luo Z, Chen C-S, Chin W-C, Santschi PH, Quigg A. 2010. *PLoS One*, 5(12):e15196.
- (6) Fabrega J, Zhang R, Renshaw JC, Liu W-T, Lead JR. 2011. *Chemosphere*, 85(6):961-966.

Fig. 1. La pesca del atún en una almadraba de Sicilia (Jean Pierre Houël, 1782). Mapa con la distribución de las almadraba localizadas en el Mediterráneo Occidental (margen superior derecha).



Atunes y

José J. Castro Hernández

En 1756, el XIV Duque de Medina Sidonia (1724-1779), D. Pedro Alcántara Guzmán ("El Señor de los Atunes"), solicitó al monje Martín Sarmiento (1695-1772) que le diese una explicación de cuáles eran las causas del desastre económico al que estaba viéndose abocado porque en sus almadrabas, en el sur de España, las capturas de atún habían descendido de forma alarmante.

Las almadrabas del Duque era un sistema de pesca ligeramente diferente al actual, ya que la pesca se realizaba con grandes jábegas o redes de arrastre desde la playa ("redes de tiro"), con el mismo fundamento que los dispositivos actuales, interceptar la migración reproductiva anual del atún rojo desde el Atlántico al Mediterráneo. Las grandes redes, de más de 400 m. de largo y 42 m. de profundidad, necesitaban unos 300 hombres para su manejo, muchos de los cuales era presos o "aventureros" que vivían todo el año de lo que ganaban de esta pesquería estacional (de abril a junio). No obstante, ésta pesquería tiene una historia que se remonta a los tiempos de los fenicios, y que en el Mediterráneo Occidental se extendía por las costas del sur y levante de la Península Ibérica, sur de Francia, Cerdeña, Sicilia y sur y costa adriática de Italia, así como por la costa de Libia, Túnez y Marruecos (Figura 1).

La preocupación del Duque estaba bien justificada ya que mientras que en 1552, sólo en las dos almadrabas de Conil y Zahara (Cádiz), se capturaron 172.000 atunes, entre 1686 y 1724 estos descendieron al 3% de los obtenidos en épocas anteriores en esas mismas almadrabas. Hubo incluso varios años sin capturas. A modo de comparación, en las décadas de 1940 a 1960, el conjunto de todas las almadraba del sur de España pescaban normalmente entre 5.000 y 6.000 atunes, mientras que en la actualidad (1982-2005) apenas se capturan 11.500 ejemplares entre todas las almadrabas operativas en España, Portugal y Marruecos (17 almadrabas, 4 de ellas en España).

El 18 de febrero de 1757, el Padre Sarmiento envió al Duque una extensa carta dándole lo que a su parecer era una explicación de aquel fenómeno. El benedictino, aunque planteaba la posibilidad de que el enfriamiento del clima fuera una de las causas, apuntaba que la principal razón de la falta de atunes en las almadrabas del Duque era el exceso de pesca en los años anteriores. Sin embargo, Fray Sarmiento no sólo recopiló todo el conocimiento disponible en su época sobre el atún rojo, sino que tuvo la precaución de incluir al final de su carta un registro completo de las capturas anuales de cada una de las almadrabas del

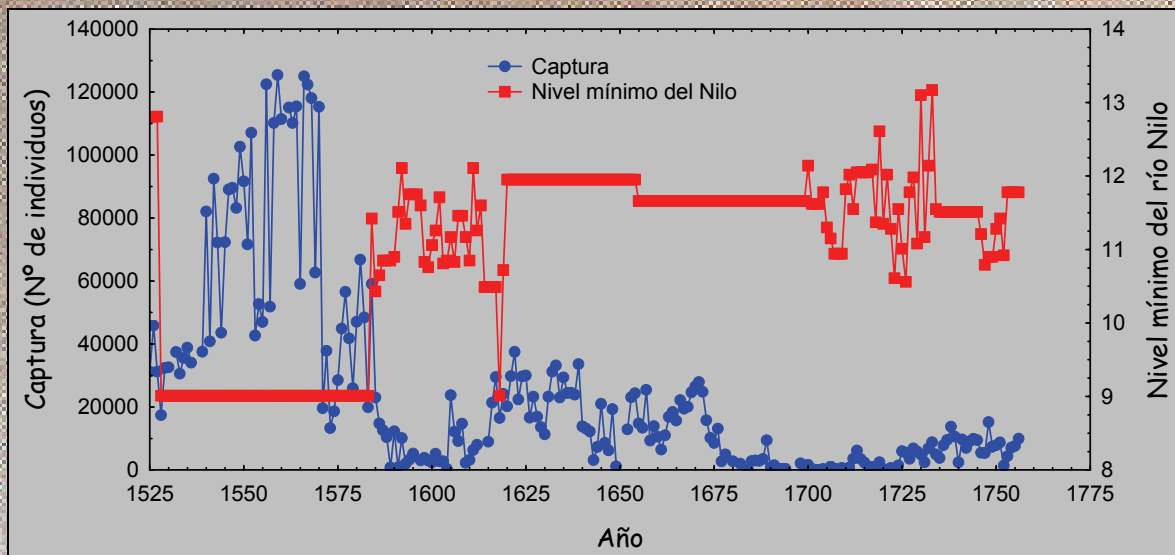


Fig. 2. Variación histórica de las capturas de atunes en la almadrabas del Duque de Medina Sidonia (sur de España) (en azul), y oscilación del nivel mínimo del caudal del río Nilo en Egipto (en rojo).

cambios climáticos

Duque, desde 1525 hasta 1756. Esto ha permitido poder reanalizar los datos históricos de capturas de las almadrabas con nuevas técnicas matemáticas y contrastarla con la información biológica y medioambiental actualmente disponible.

¿Pero qué fue lo que realmente hizo que descendieran las capturas de las almadrabas del Duque?

Entre 1525 y 1756, España se vio envuelta en diversos conflictos sociales y políticos, como guerras, epidemias, etc., que pudieron afectar, de una forma u otra, a la pesquería. No obstante, en las fuentes documentales históricas sólo se habla de un proceso de levass (reclutamiento militar forzoso) de pescadores en las costas de Cádiz en 1588, como marineros de la Armada Invencible. Pero, aun así las almadrabas se armaron en esos años, aunque con escaso rendimiento. Sin embargo, el análisis de la serie de datos muestra una anomalía en 1596, coincidiendo con el asedio y toma de Cádiz por la flota inglesa al mando del almirante Charles Howard. En definitiva, salvo muy pocas excepciones, las bajas capturas no se han podido relacionar con falta de pescadores o mano de obra para llevarla a cabo. Al contrario, en los periodos donde la serie de capturas muestra una mayor variabilidad

(1585-1620 y 1700-1730), y que podrían estar asociados a eventos de carácter bélico (guerras contra Inglaterra y Sucesión), se observa también una variabilidad similar, aunque inversa, en los registros del caudal mínimo del río Nilo (Figura 2), lo cual implica la existencia de una componente climática de tipo global.

¿Cuál pudo ser el papel del clima en el descenso de las capturas?

Existen diversas evidencias que muestran que las variaciones climáticas, como por ejemplo un cambio en el signo de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), que indirectamente mide a la intensidad y dirección de los vientos alisios (debido a un cambio en el posicionamiento geográfico e intensidad del núcleo del anticiclón de las Azores), pueden ser la causa de las recientes variaciones en el reclutamiento de muchas especies de peces y cefalópodos en el Atlántico Este. Estas variaciones en la intensidad de los vientos y en la temperatura del aire se reflejan, con cierto desfase, en la temperatura del agua del mar, lo cual tiene fuerte implicaciones en el metabolismo de las especies, en sus tasa de crecimiento, capacidad reproductiva y tasa de supervivencia de las larvas.

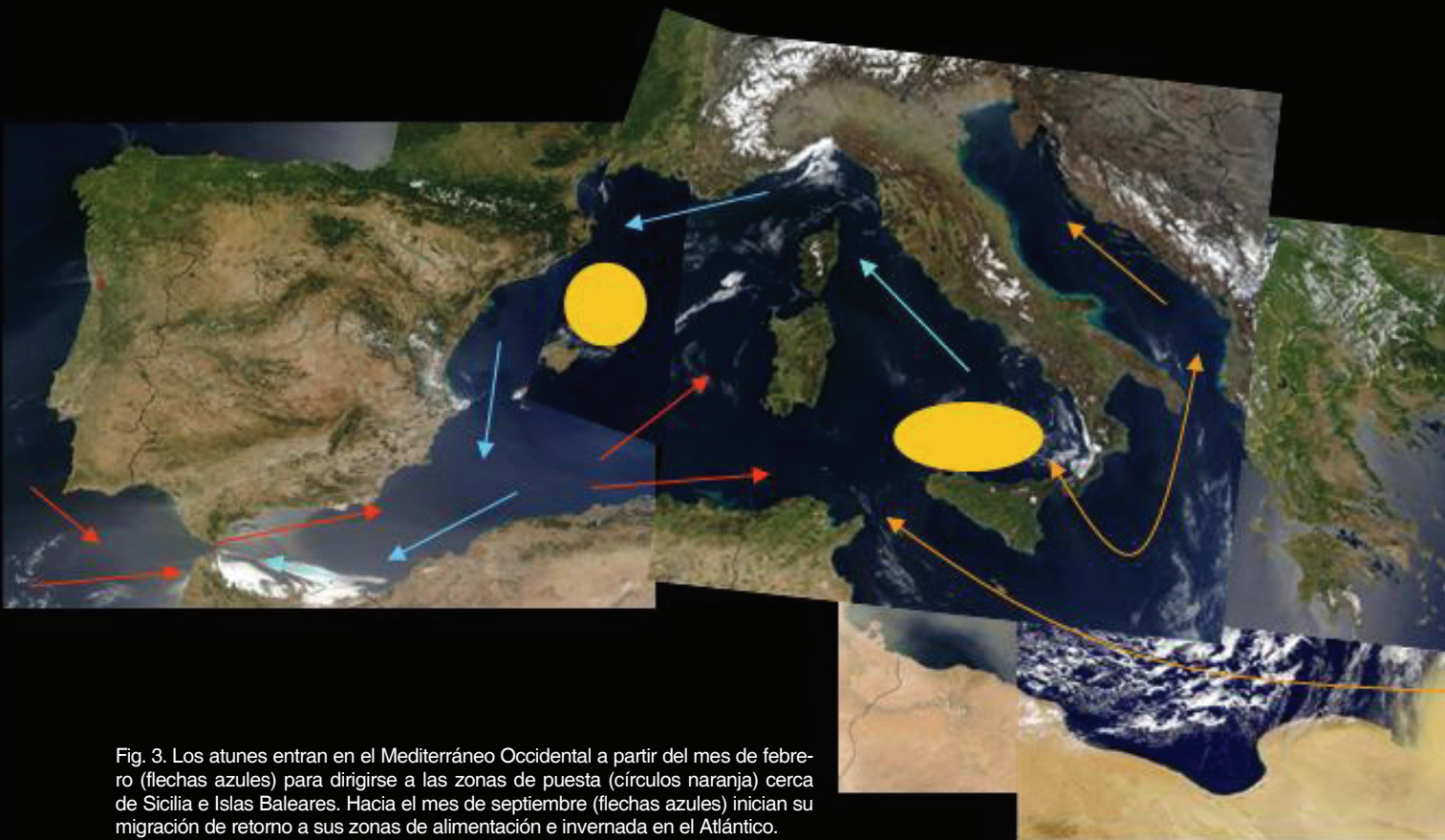


Fig. 3. Los atunes entran en el Mediterráneo Occidental a partir del mes de febrero (flechas azules) para dirigirse a las zonas de puesta (círculos naranja) cerca de Sicilia e Islas Baleares. Hacia el mes de septiembre (flechas azules) inician su migración de retorno a sus zonas de alimentación e invernada en el Atlántico.

Entre 1525 y 1756 ocurrieron algunos cambios en el clima, especialmente el enfriamiento que sufrió Europa Occidental entre 1640 y 1715, conocido como “La Pequeña Glaciación” ⁽¹⁾⁽²⁾. Hizo tanto frío que el Mar del Norte y el Báltico se helaron regularmente, así como ríos y lagos que normalmente estaban libres de hielo se congelaron y la nieve no se fundía a lo largo de todo el año, incluso en latitudes bajas.

Durante “La Pequeña Glaciación” las manchas solares fueron poco frecuentes (el sol emite más energía a medida que aumenta el número de manchas solares), y el enfriamiento global producido por esta disminución de la radiación solar sobre la superficie terrestre fue entre 0,2 y 2 °C, aunque en algunas regiones la variación pudo ser mayor. El número de manchas sobre la superficie del sol presenta un ciclo de aproximadamente 11 años, que está relacionado con la diferencia de velocidad de giro entre el ecuador solar y sus polos, así como con la regular inversión de la polaridad de su campo magnético cada 11 años.

Han existido otros períodos de baja actividad solar, conocidos como mínimos de Wolf (1280-1340), Sporer (1400-1530), Dalton (1795-1830) y Moderno (1900-1930), probablemente precedidos por un período de máxima actividad denominado Máximo Solar Medieval (1100-1250), semejante al Máximo Solar

Contemporáneo⁽¹⁾. Durante el mínimo de Sporer desaparecieron las colonias de Groenlandia y aumentaron las hambrunas en el planeta. Por otro lado, el mínimo de Maunder coincide con el periodo de menor productividad de las almadrabas y con importantes epidemias de peste y cólera en Europa.

Resulta curioso observar como durante los periodos de mínima actividad solar han tenido lugar históricamente diversos conflictos sociales de gran trascendencia para la humanidad, ligados a periodos de frío intenso y carestía de alimentos. Así, durante el mínimo de Maunder fueron frecuentes las hambrunas (e.g.: 1623 en Inglaterra, 1661 y 1693 en Francia, 1696-1697 en Finlandia, etc.), epidemias (e.g.: en 1665 hubieron 57.000 muertos en Inglaterra por peste, al igual que otros miles de tifus en 1684-85), o persecuciones y quema de brujas por su influencia en las malas cosechas (e.g.: en 1563 fueron quemadas 53 brujas en Wiesenteing-Alemania, mientras que entre 1580 y 1620 se quemaron a mil personas por brujería en Berna- Suiza, y cientos en Francia e Inglaterra en 1587). Era tan intenso el frío que el ejército sueco (10 mil soldados de infantería, caballería y artillería) cruzó el Mar Báltico congelado en 1658 (12 kilómetros), durante las Guerras del Norte, contra Dinamarca.



Resulta curioso observar como durante los periodos de mínima actividad solar han tenido lugar históricamente diversos conflictos sociales de gran trascendencia para la humanidad, ligados a periodos de frío intenso y carestía de alimentos.

Estos episodios de crisis social se repitieron durante el mínimo de Dalton (hambunas en Francia en 1788, en Irlanda en 1816-17 y en 1846, y en Inglaterra entre 1840 y 1849; epidemias de tifus en Europa entre 1813 y 1820, etc.). Pero también, ha sido durante estos periodos de mínimos cuando han tenido lugar algunos de los episodios bélicos más cruentos en la historia de Europa. El mínimo de Maunder coincide con la Guerra de Sucesión Española, el mínimo de Dalton con la Revolución Francesa y con las Guerras Napoleónicas, mientras que durante el mínimo Moderno han tenido lugar la Primera Guerra Mundial, la Revolución Rusa y la Segunda Guerra Mundial. Igualmente, durante el Máximo Solar Medieval se produjo la expansión de la civilización árabe, y durante el periodo cálido acontecido entre los mínimos de Spore y Maunder ocurrió el apogeo del Imperio Otomano. La Guerra de los Cien Años (1337-1453), la Reconquista (desde la batalla de las Navas de Tolosa a Granada -1212-1492) y las Guerras Hispano-Francesas (1521-1529) tuvieron lugar durante los mínimos de Wolf y Spore.

Curiosamente, las Guerras de Flandes (1547-1648) tuvieron también lugar durante un periodo climático frío, pero no relacionado directa y exclusivamente con un mínimo solar, sino con la erupción de volcanes (Huaynaputina en 1600, Mount Parker en

1641 y otros desconocidos en 1643). En este sentido, hay que resaltar que la masiva emisión de polvo a la atmósfera a través de las erupciones volcánicas también causan un rápido enfriamiento de la atmósfera, con efectos muy importantes en el clima. Así, la explosión del Tambora (1815) produjo el "Año sin verano", que acarreó hambrunas y epidemias por todo el mundo en los años siguientes a la erupción.⁽¹⁾⁽²⁾

¿Pero cómo han afectados estas variaciones en el clima al atún?

El atún rojo, objetivo principal de las almadrabas, procedente del Atlántico se reproduce en el Mediterráneo Occidental (Figura 3), a principios del verano, cuando la temperatura del agua alcanza los 24 °C. A principios del otoño, los adultos regresan nuevamente al Atlántico hacia sus zonas de invernada, posiblemente en el Caribe.

Es muy posible que durante los periodos de intenso frío, la temperatura del mar no alcanzase los 24 °C necesarios para que el atún rojo verificase su puesta o, si está se producía, los huevos no eclosionasen y/o gran parte de las larvas nacidas no consiguiese sobrevivir durante mucho tiempo. Las bajas temperaturas pueden haber afectado negativamente a las larvas de atún de dos maneras diferentes, ya sea por falta de alimento (zooplancton) disponible para las mismas o porque redujo su tasa metabólica afectando a su desarrollo posterior. Estas condiciones climáticas adversas seguramente provocó varios años seguidos de bajo reclutamiento de juveniles al stock de adultos, disminuyendo consecuentemente el tamaño de la población de atunes disponibles para la pesquería.⁽³⁾

¿Pero, por qué, una vez restablecida la actividad solar, con el calentamiento del clima no se recuperaron las poblaciones de atunes hasta niveles similares a los de 1550?

Posiblemente, durante La Pequeña Glaciación las poblaciones de atún quedaron muy reducidas debido a varios años con reclutamiento fallido, acentuándose este proceso aún más durante los mínimos de Dalton y Moderno. La recuperación de la población durante el periodo cálido contemporáneo fue un proceso lento, particularmente porque el atún rojo una especie relativamente longeva (hasta 15 años), quizás más lento que el ritmo de incremento de la capacidad extractiva de las flotas pesqueras a partir de la Revolución Industrial. A partir de mitad del año 1800 se introdujeron en las flotas de pesca el uso del hielo, el motor de vapor (1860), los cables de acero para los arrastres (1880), el

arrastre con puertas (1890), lo cual incrementó las capturas notablemente. La introducción, después de la Segunda Guerra Mundial, del motor de gasoil, las ecosondas, el radar, las redes sintéticas, las redes de cerco, izado mecánico y los buques factoría, produjo un incremento de la captura total en el Atlántico Norte del 6% anual entre 1950 y 1960. Posteriormente, entre 1970 y 1980, se produjo una caída del 2% hasta la década de 1990. Se estima que actualmente quedan menos del 10% de los atunes que poblaban los océanos del mundo antes de la era industrial.

Si es correcta la relación descrita entre la actividad solar y la abundancia de atún rojo, la evolución de las capturas históricas de ésta especie han estado indicando los cambios en el clima, y su posible proyección hacia el futuro. En estos momentos los científicos han constatado que el sol está entrando en otra fase cíclica de baja actividad (conocidos como ciclos de Gleissberg de unos 80 años de duración), cuyo mínimo se predice para el año 2030 (mínimo de Landscheidt) y que tendrá características similares a las del mínimo de Maunder. Es muy probable que la baja biomasa actual de la población de atún rojo no sea suficiente para poder superar los efectos climáticos negativos previstos durante el mínimo de Landscheidt y, desgraciadamente, la especie se vea abocada a la extinción si no se prohíbe radicalmente su pesca en este momento. No obstante, cabe preguntarse como esté fenómeno cíclico y natural de enfriamiento del clima se verá frenado, o contrarrestado, por el actual calentamiento del planeta asociado a la actividad humana.

El atún rojo, objetivo principal de las almadrabas, procedente del Atlántico se reproduce en el Mediterráneo Occidental, a principios del verano, cuando la temperatura del agua alcanza los 24 °C.

Bibliografía

- (1) Fagan, B. (2000). The Little Ice Age: how climate made history: 1300-1850. Basic books. New York, 272.
- (2) Alberola-Roma, A. (2014). Los cambios climáticos: la Pequeña Edad de Hielo en España. Editorial Cátedra. 344 pp.
- (3) Ganzedo, U., E. Zorita, A.P. Solari, G. Chust, A. Santana del Pino, J. Polanco y J.J. Castro (2009). ICES J. Mar. Sci., 66: 1595-1604.

Fig. 4. Salto de un atún en una almadraba en el Mediterráneo.



El pez fraile y el pez obispo

José J. Castro Hernández y
Luis Felipe López Jurado



Son múltiples las historias y leyendas relacionadas con el mar que hablan de animales marinos monstruosos, observaciones que fueron muy frecuentes entre los marinos de la Edad Media, pero también en etapas históricas anteriores y hasta bien entrado el siglo XIX. Tanto es así que en todas las civilizaciones relacionadas con el mar y la navegación existen dioses y demonios marinos con poderes y habilidades fantásticas (e.g., tritones, sirenas, el Kraken, etc.), capaces de infligir todo tipo de daños a los hombres que se atrevían a adentrarse en aguas inexploradas en sus rudimentarios barcos. Es posible que muchos de estos monstruos no fuesen más que confusiones al identificar algas, ramas de árboles, restos de naufragios o cadáveres a la deriva, incluso ballenas, en un ambiente de alta sugestión y escasos conocimientos. No obstante, es muy probable también que algunos de estos seres fuesen algo más que el fruto de la imaginación, y no se puede descartar que realmente se tratase de avistamientos de especies desconocidas, como calamares gigantes, u otros animales con deformaciones corporales (e.g.: parcialmente comidos o altamente parasitados).

Por otra parte, en la Grecia y Roma clásicas, así como en la Edad Media, se tenía la idea que bajo el mar se desarrollaban civilizaciones comparables a las que tenían lugar sobre la tierra, donde había reinos con soberanos legendarios como Poseidón, con su tridente capaz de lazar tempestades u ocultar sus tesoros de la vista de los hombres. En este sentido, las sociedades terrestres tenían sus homólogos en las sociedades marinas, y por tanto también existían en ellas frailes y obispos, entre otros.

Algunos de estos monstruos marinos fueron descritos por primera vez por Gulielmi Rondeletti (1507-1566), profesor de medicina de la Universidad de Montpellier (Francia), en su obra "*Libri de piscibus marinis, in quibus verae piscium effigies expressae sunt*", en 1554. Posteriormente, en 1558, Conrad Gessner (1516-1565), médico y profesor de la Carolinum (precursora de la Universidad Zurich), incluye parte de la obra de Rondeletti en el volumen dedicado a los peces en su *Historiae animalium*. La obra de Gessner, considerada la primera obra zoológica moderna de carácter enciclopédico (5 volúmenes y 4500 páginas), puede ser también posiblemente uno de los primeros casos de plagio en la historia, al copiar literalmente el trabajo de su colega Rondeletti, del que disponía un ejemplar en su biblioteca personal y con el que mantenía correspondencia (Gessner también estudio medicina en Montpellier). No obstante, el plagio en esa época no tenía la consideración que tiene en la actualidad.

Rondeletti, y también Gessner, usan fuentes el Antiguo Testamento y textos de autores clásicos y medievales, principalmente de Aristóteles y Plinio. Aunque trató de distinguir los hechos de los mitos, también incluyó criaturas míticas y bestias imaginarias, entremezcladas con los animales recién descubiertos en la India y el Nuevo Mundo por navegantes portugueses y españoles.

Respecto al Pez Obispo, Rondeletti explica que era mitad de hombre mitad de pez, con la cabeza afeitada y una especie de capucha. Presentaba brazos largos en lugar de aletas pectorales y la parte inferior de la cola era amplia en el medio, con figura militar. Fue capturado en Noruega, en la ciudad de Denelopoch, tras un fuerte tormenta. Por otra parte, también describe la historia de la captura de un Pez Fraile que le fue comunicada por Gilberto Germano, y a este por un tal Amsterdamo. El ejemplar fue llevado ante el rey de Polonia, quien deseaba mantenerlo en cautividad. Este, a su vez, mostró el pez a un grupo de obispos católicos, quienes interpretaron que los movimientos que hacía el Pez fraile eran señas, o ruegos, que indicaban su deseo de ser liberado. Se le concedió su deseo, pero apenas quedó libre, hizo la señal de la cruz y desapareció en el mar. No obstante, Rondeletti duda de la veracidad del relato, por lo que no lo confirma. Por otra parte, Gessner menciona la historia de una criatura similar capturada en Firth of Forth (Escocia), siglos antes.

El zoólogo danés Japetus Steenstrup (1813-1897), tras comparar los dibujos de Gessner con dos imágenes del siglo XVI, estaba seguro de que el pez monje no era más que un calamar gigante.

Yacimientos de interés paleontológico y arqueológico

Juan Evaristo Armas Herrera, Clara García Fanto,
Laura García Pérez, Beatriz Pestana Quintero,
David Pozo Gutiérrez, Joaquín Meco Cabrera,
Alejandro Lomoschitz y Juan Francisco Betancort

La gran cantidad de testimonios presentes en las Islas Canarias en forma de afloramientos y depósitos de origen marino o terrestre, son ventanas abiertas al pasado que nos hablan sobre cómo han evolucionado las condiciones climáticas y ecológicas en Canarias y, por extensión, en el Atlántico Norte. Estos depósitos están especialmente bien representados en algunos puntos singulares del Archipiélago Canario, llegando incluso a coincidir con puntos de interés arqueológico de gran importancia. Uno de estos puntos singulares es la franja costera de la desembocadura del Barranco de Jinámar (Telde), en la costa oriental de Gran Canaria (Figura 1).

Yacimientos paleontológicos

El Neógeno marino está muy bien representado en Canarias, y particularmente a lo largo de las costas de las Islas Canarias Orientales (Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote). En una cota variable, que oscila entre los 6 metros (Costa Calma en Fuerteventura) y más de 110 metros (Tinoca en Gran Canaria), aparece un conglomerado marino rico en fauna, caracterizado por cantos notablemente rubefactados en una matriz carbonítica⁽¹⁾.

Los yacimientos fosilíferos localizados en esta comarca han sido sometidos a una gran presión urbanis-

tica, llegando en algunos puntos, como el yacimiento de La Pardilla, a desaparecer. De estos niveles ya desaparecidos, se conservan en el Museo Canario (Las Palmas de Gran Canaria), gran cantidad de restos recolectados a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Entre ellos destacan fragmentos de *Eucidaris desmoulini*, *Clypeaster* sp., *Rothpletzia rudista*, *Megaelachus megalodon* e *Isurus hastalis*.

El Pleistoceno está asimismo bien representado en la costa de Telde. En la playa de Jinámar se localiza un *beachrock* rico en fauna, donde se identifica *Persististrombus latus*, entre otros organismos. La presencia de este gasterópodo permite interpretar estos depósitos como perteneciente al MIS 5.5 o 5.e, datado en circa 135 millones de años⁽²⁾. Asimismo, en los márgenes norte y sur que rodea la playa, se localizan depósitos de eolianitas pleistocenas con estructuras bien definidas y gran cantidad de rizolitos, gasterópodos terrestres (*Theba* sp. y *Hemicycla* sp.) y ootecas de acrididos⁽³⁾.

Yacimientos arqueológicos

El patrimonio arqueológico se relaciona con el paleontológico de forma significativa en la costa de Telde⁽⁴⁾⁽⁵⁾. En esta comarca se localiza el yacimiento arqueológico de El Llano de las Brujas, situado junto a la auto-



Fig. 1. Yacimientos de la desembocadura del Barranco de Jinamar, Telde, Gran Canaria. A. Localización de los depósitos marinos neógenos, ya desaparecidos. B. Beachrock pleistoceno. C. Eolianita con rizolitos pleistocenos. D. Poblado de el Llano de las Brujas, cantos rubefactados del depósito neógeno. E. Eolianitas con ootecas y rizolitos. F. Playa y eolianitas pleistocenas.



Playa de Bocabarranco, Jinamar, Telde



pista GC-1. Está formado por varias construcciones habitacionales de planta exterior circular u ovalada e interior cruciforme. En los muros interiores y exteriores de este emplazamiento del siglo X d.C. (920 aprox.) se ha usado de forma muy significativa los cantos rubefactados, con marcas de bioerosión, y lajas fotolíticas provenientes de los depósitos marinos del Neógeno de la región.

Cerca de este asentamiento se localiza el de La Restinga. Probablemente, el poblado debió estar integrado por más edificaciones con una función doméstica, si bien, la reutilización de este espacio para fines diversos en épocas recientes, han desfigurado sensiblemente el aspecto original de este enclave.

A dichas construcciones hay que añadir otras edificaciones como rediles para el ganado, un tagoror (lugar de reunión de ancianos y dirigentes) y varios túmulos funerarios asociados a los espacios domésticos. Se trata de construcciones formadas por un torreón central al que se adosan anillos concéntricos o gradas de piedra.

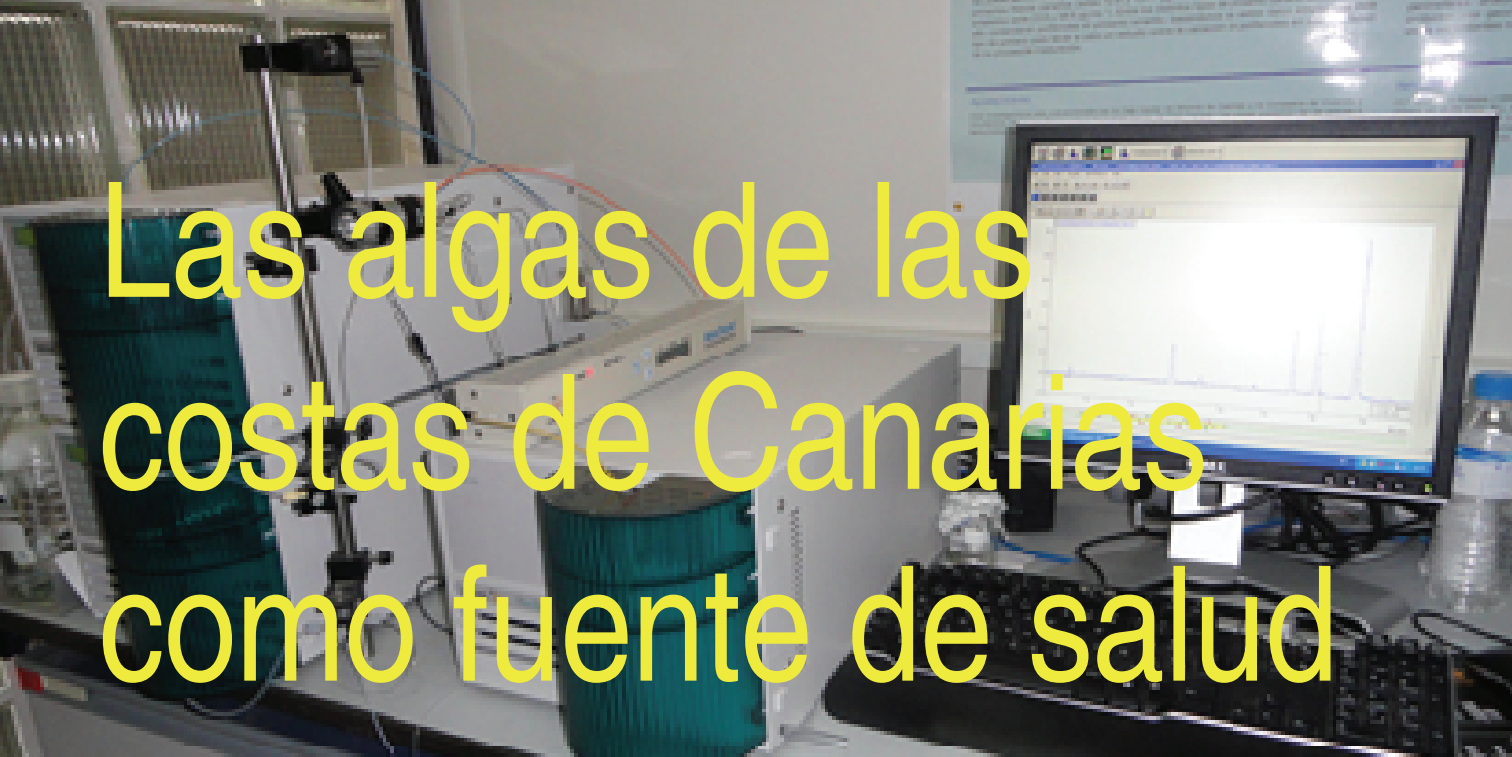
Una riqueza desperdigada y desaparecida

El patrimonio natural y arqueológico localizado en la desembocadura del Barranco de Jinamar en Telde, Gran Canaria es notorio por muchos aspectos. Por un lado, por su importancia en forma de testimonios paleoclimáticos que añaden nuevos datos a las evoluciones de las condiciones climáticas y ecológicas del Atlántico norte, por otro lado por su riqueza arqueológica y etnográfica, llegando a fusionarse en

algunos puntos esos dos aspectos. Pero quizás, el punto más significativo es el referente a la gestión de estos valores patrimoniales. El problema reside en lo que ha desaparecido y solamente podemos atisbar su riqueza por escasos restos en museos. En cualquier caso, es necesario seguir trabajando estos y otros paleotestimonios y, sobre todo, fomentar acciones para que sean reconocidos como algo valioso no solo por la comunidad científica, sino por las personas que viven ahí y son los depositarios de estos valores de valor y significancia global.

Bibliografía

- (1) Meco, J., J. Ballester, J.F. Betancort, S. Scaillet, H. Guillo, A. Lomoschitz, J.C. Carracedo, N. Pettit-Maire, A. Cilleros, P. Medina, E. Soler-Onís y J.M. Meco (2005) *Paleoclimatología del Neógeno en las Islas Canarias. Mioceno y Plioceno*. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria. 150 pp.
- (2) Montesinos, M., A.J.G. Ramos, A. Lomoschitz, J. Coca, A. Redondo, J.F. Betancort y J. Meco (2014) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 410:153-163.
- (3) Meco J., N. Pettit-Maire, J. Ballester, J.F. Betancort y A.J.G. Ramos (2010) *Global and Planetary Change*, 72(4):318-330.
- (4) González-Bosa P. (1988) *El Patrimonio Arqueológico de Telde*. Excmo. Ayuntamiento de Telde. 1988. 24pp: 7-15.
- (5) Velasco J, E. Martín, V. Alberto, J.C. Domínguez y J. de León (2005) *Guía del Patrimonio Arqueológico de Gran Canaria*. Cabildo de Gran Canaria. 456 pp: 173-176.4.



Las algas de las costas de Canarias como fuente de salud

Aroa López, Miguel Suárez de Tangil y Milagros Rico

Fig. 1. Equipo de cromatografía líquida de alta resolución.

Los compuestos polifenólicos tienen la capacidad de contrarrestar los efectos dañinos de los radicales libres en los tejidos y podrían proteger el organismo contra el cáncer, arterosclerosis, enfermedades cardíacas y otras enfermedades asociadas al envejecimiento. El alga parda *Stypocaulon scoparium* recolectada en las costas de Canarias representa una fuente natural de compuestos polifenólicos con elevada y reconocida actividad antioxidante tales como el ácido gálico, que constituye prácticamente el 0,1% en peso del alga, (+)-catequina y (-)-epicatequina.

La oxidación es un proceso natural que tiene lugar en las moléculas orgánicas con importantes implicaciones negativas en la salud humana. El metabolismo oxidativo es esencial para la supervivencia de las células con la producción de radicales libres y otras especies oxidantes. Un exceso de estas especies puede causar efectos destructivos y letales para las células, por oxidación de los lípidos de la membrana celular, de proteínas celulares, de ácido desoxirribonucleico (ADN) y enzimas, etc., parando la respiración celular. La oxidación causada por los radicales libres reduce la capacidad de combatir el envejecimiento y las enfermedades que lleva asociadas. Un gran número de investigaciones confirman la relación entre una excesiva producción de radicales libres y algunos estados patológicos asociados al envejecimiento tales como cáncer, enfermedades cardiovasculares (arterosclerosis, obstrucción coronaria, etc.) o enfermedades neurodegenerativas como las enfermedades de Alzheimer y Parkinson.⁽¹⁾

Los polifenoles han demostrado actuar sobre varias etapas claves en mecanismos de transducción de señales relacionadas con proliferación celular, diferenciación, apoptosis, inflamación, angiogénesis y metástasis. Sin embargo, estos mecanismos moleculares de acción no están completamente caracterizados y quedan muchas cuestiones por aclarar.⁽²⁾ La propiedad mejor descrita de los polifenoles es la actividad antioxidante hacia los radicales libres y las especies reactivas de oxígeno (EROs). Los compuestos polifenólicos tienen la capacidad de contrarrestar los efectos dañinos de los radicales libres en los tejidos y podrían proteger el organismo contra el cáncer, arterosclerosis, enfermedades cardíacas y otras enfermedades asociadas al envejecimiento.⁽³⁾

Los efectos potencialmente nocivos de los procesos oxidativos se pueden prevenir mediante la utilización de antioxidantes, pero su uso en la prevención de enfermedades se limita a la recomendación de consumir alimentos vegetales debido a su alto contenido en ese tipo de sustancias.

Los efectos colaterales de los antioxidantes artificiales

La oxidación puede afectar, también, a los alimentos, en especial por oxidación de los ácidos grasos, siendo esta la mayor causa del deterioro químico que deriva en la pérdida del sabor, del valor nutricional, del color, la textura y de la seguridad de dichos alimentos. Se estima que la mitad de la fruta y verdura cosechada en el mundo se pierde después de la recogida

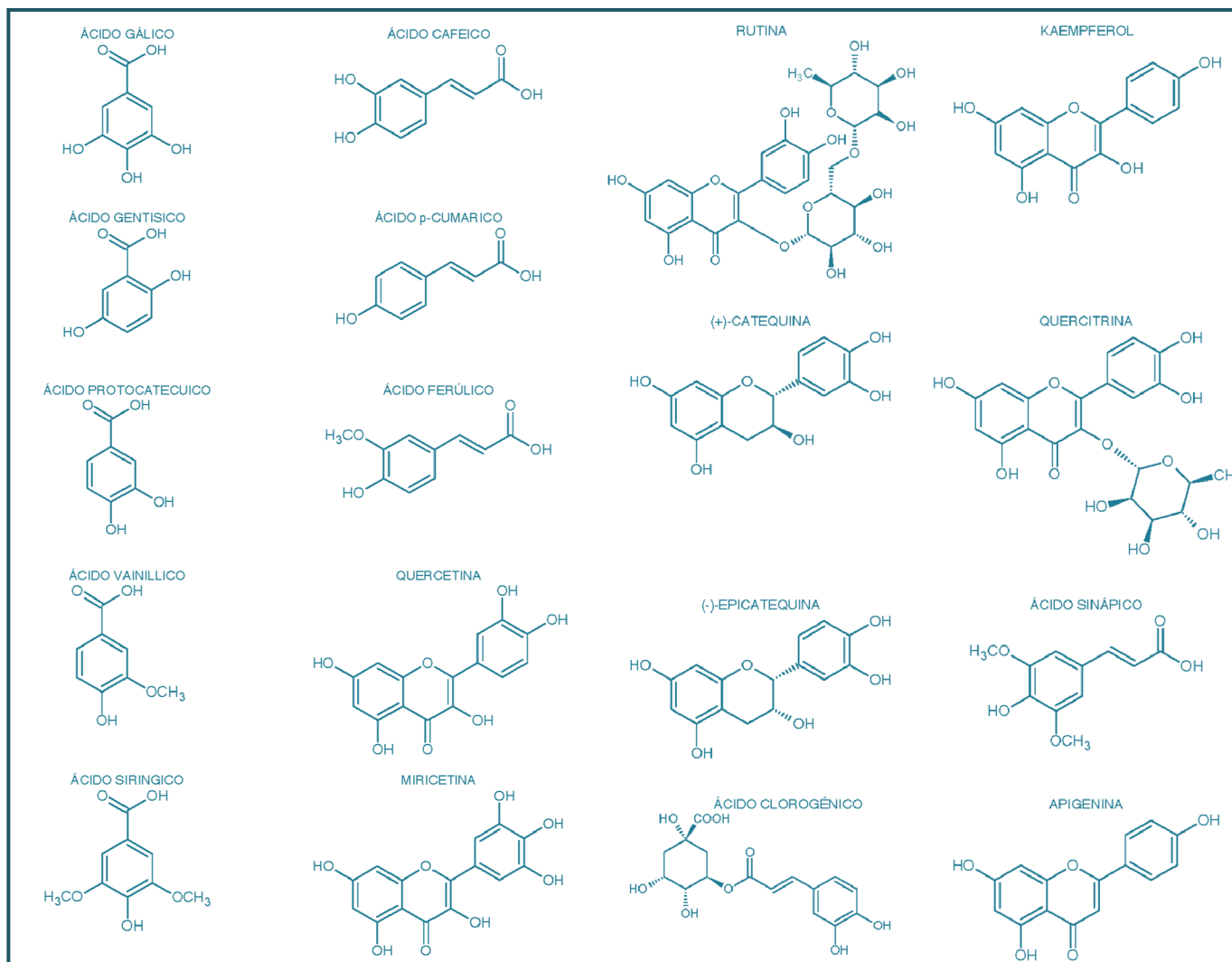


Fig. 2. Compuestos identificados y cuantificados.

debido a su deterioro. Para evitar los efectos de la excesiva oxidación se recurre al uso de conservantes con propiedades antioxidantes. Desde comienzos del siglo pasado han sido ampliamente utilizados los antioxidantes sintéticos 3-tercbutil-4-hidroxianisol (BHA, E320) y 2,6-ditercbutil-4-metilfenol (BHT, E321). Sin embargo, en los últimos años se han impuesto restricciones en el uso de estos compuestos debido a su posible efecto carcinógeno.⁽⁴⁾

Los efectos tóxicos del BHA y BHT con frecuencia se producen tras altas dosis y tratamientos a largo plazo. El BHA induce tumores en el estómago de animales, que son dependientes de las dosis ingeridas; el BHT induce tumores hepáticos en experimentos de larga duración. Todos los estudios publicados coinciden en que estos compuestos son promotores de tumores. Esto unido a la preocupación de los consumidores por la seguridad de los alimentos ha provocado un aumento de la demanda de antioxidantes naturales en los últimos años que pueden consistir en extractos crudos de vegetales, que reciben cada vez mayor interés para la industria alimentaria y farmacéu-

tica. Además, debido a la diversidad química de los antioxidantes, y a la dificultad de separar y cuantificar los antioxidantes individuales de la matriz vegetal, a menudo es más significativo el poder antioxidante total de la mezcla de compuestos en el extracto debido a su acción conjunta.

El poder antioxidante de las algas marinas

El alga *Stypocaulon scoparium* es un alga parda con aspecto de escoba, de color marrón y de hasta 20 centímetros de alto. Se fija al sustrato por un disco basal fibroso-esponjoso. Con ramificación densa, irregularmente alterna y dística. Está distribuida por gran parte del océano Atlántico y el mar Mediterráneo y su presencia es muy frecuente en las Islas Canarias, en las zonas rocosas y grietas batidas por las mareas y bien iluminadas, hasta 15 metros de profundidad. Las algas analizadas en nuestro laboratorio fueron recolectadas en Gran Canaria, entre 0 y 0,1 metros de profundidad. Se enjuagaron con agua de mar y posteriormente se congelaron. Estas muestras congeladas se deshidrataron y pulverizaron en

una batidora (Moulinex 600W). Finalmente, se reservaron en el congelador a -20°C en total oscuridad hasta el momento de hacer los análisis.

Se prepararon extractos de alga parda *Stypocaulon scoparium* utilizando diferentes disolventes (agua, metanol, etanol y una mezcla de agua y metanol al 50%) para determinar el contenido total de polifenoles (CTP). También se realizó el análisis de la actividad antioxidante (AA) de los extractos a través del ensayo de inhibición del radical 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH). Los extractos con mayor contenido total de polifenoles presentaron mayor actividad antioxidante. Se desarrolló, además, una metodología para la identificación y cuantificación de 14 polifenoles de reconocida actividad antioxidante. Los polifenoles objeto de estudio fueron: ácido gálico, ácido cafeico, ácido gentísico, ácido p-cumárico, ácido protocatecuico, ácido ferúlico, ácido vainílico, quercetina, ácido sirín-gico, miricetina, rutina, kaempferol, (+)-catequina, quercitrina, (-)-epicatequina, ácido sinápico, ácido clorogénico, y apigenina. Cada extracto mostró la presencia de los catorce polifenoles, entre los que el ácido gálico fue siempre el compuesto predominante y también se encontraron cantidades significativas de (+)-catequina y (-)-epicatequina en todos los extractos. Por lo tanto, los resultados mostraron que el alga parda *Stypocaulon scoparium* representa una fuente natural de compuestos polifenólicos con actividad antioxidante que podría ser utilizada en las industrias farmacéuticas y alimentarias⁽⁶⁾.

Los efectos potencialmente nocivos de los procesos oxidativos se pueden prevenir mediante la utilización de antioxidantes.

Bibliografía

- (1) Uttara, B., A.V. Singh, P. Zamboni y R.T. Mahajan (2009). Current Neuropharmacology, 7: 65–74.
- (2) Ramos, S. (2008). Molecular Nutrition and Food Research, 52: 507-526.
- (3) Quideau, S., D. Deffieux, C. Douat-Casassus y L. Pouységu (2011). Angewandte Chemie 50: 586-621.
- (4) a) EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food ANS, 2011 Scientific opinion on the reevaluation of butylated hydroxyanisole BHA (E 320) as a food additive. EFSA J 9: 2392; b) EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food ANS, (2012 Scientific opinion on the reevaluation of butylated hydroxytoluene BHT (E 321) as a food additive. EFSA J 10: 2588.
- (5) López, A., M. Rico, A. Rivero y M. Suárez de Tangil (2011). Food Chemistry 125: 1104-1111.





GREENPEACE 

greenpeace.org/ocean-defenders



Dr. Luis Felipe López Jurado

Córdoba, 8 de noviembre de 1952

¿Podría hacer un resumen de su carrera profesional: donde estudio?

Comencé los estudios universitarios en la Facultad de Medicina de la Universidad de Murcia, en 1970. Llegué hasta el tercer curso pero los abandoné gracias, por un lado, a la asignatura de Farmacología a la que odiaba profundamente y, por otro, al estudio de la reproducción de una pareja de águilas culebreras que no me dejaba tiempo para seguir estudiando Medicina. En 1975 me trasladé a la facultad de Biología de la Universidad de Córdoba en la que estudié Ciencias Biológicas, licenciándome en 1980. En 1981 me trasladé a México para iniciar los estudios de campo de mi tesis doctoral, regresando a Canarias en 1982 y, finalmente, presentando dicha tesis en la Universidad Complutense de Madrid, doctorándome en 1987.

¿Cuáles fueron sus primeros pasos y trabajos?

Los primeros trabajos versaron sobre la comunidad de ofidios y especialmente la ecología comparada de las serpientes de cascabel en la Reserva de la Biosfera de Mapimí (Estados de Durango, Coahuila y Chihuahua), en México. A continuación trabajé para la UNESCO (Programa MAB) realizando el primer inventario de la selva maya del Territorio de Quintana Roo (México), con el objetivo de crear la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

De regreso en Canarias, entre 1983 y 1984, fui becario del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) en Las Palmas, trabajando en el Jardín Canario de Tafira. Desde este momento, y hasta 1987, mantuve un estrecho y continuo contacto con becarios e investigadores de la Estación Biológica de Doñana (CSIC, Sevilla), realizando múltiples expediciones y trabajos de campo, tanto a la España peninsular como a Portugal, Venezuela, Marruecos, Costa Rica, Madagascar, Cuba y Cabo Verde.





“Me considero un biólogo heterodoxo, lo que no quiere necesariamente decir que se me escape lo primordial de una observación biológica”

Musarañas, lagartos, aves, trabajo sobre conservación, paleontología. ¿Cuál es el motor de esta curiosidad?

Desde el mismo comienzo de mi carrera, escuche de la mayoría de los compañeros de facultad, que lo más importante para triunfar en la biología era especializarse. Es decir, trabajar sólo con un grupo de especies, estudiándolas a fondo, sin perder el tiempo dedicándose a otros grupos zoológicos. Pero yo no pude hacerlo así. Cada cosa que veía despertaba mi curiosidad y tenía que profundizar en ella tanto como me fuera posible. Así, que me considero un biólogo heterodoxo y no me arrepiento de ello. Creo que lo único importante es perder el miedo a equivocarte y a que te critiquen por ello. La inevitable biopolítica universitaria debe influir sólo en proporcionarte un valioso estímulo. Pondré un ejemplo de mi manera de actuar.

En 1983, un colega de la Universidad de La Laguna y yo, estábamos estudiando al mismo tiempo, pero por separado, las musarañas que se encontraban en las islas e islotes orientales, todavía desconocida científicamente. Consciente de que sin duda se desataría una carrera para ser el primero en publicar la descripción científica de dicho animal, renuncié a esa absurda competición comunicando a mi colega que yo publicaría mi opinión después de que él publicara la suya. Así lo hice y en su publicación, aparecida en 1984, afirmaba que la musaraña que vivía en las islas y algunos islotes orientales era *Crocidura russula yebalensis*, una musaraña cuyo hábitat principal está en el norte de Marruecos y que de algún modo había llegado hasta estas islas. Unos años después, en 1987, yo publique mi opinión de que en realidad se trataba de una nueva especie para la ciencia, a la que di el nombre de *Crocidura*

canarienses, opinión aceptada inmediatamente por la comunidad científica internacional.

Luis Felipe López Jurado presenta un trabajo científico muy polifacético: mamíferos terrestres y marinos, reptiles, aves. Ha realizado grandes aportaciones al conocimiento de la Biodiversidad. Pero, ¿cuál considera que es su mayor aportación de todos estos trabajos científicos y de cuál se siente más orgulloso a nivel personal?

Ya he dicho que me considero un biólogo heterodoxo, lo que no quiere necesariamente decir que se me escape lo primordial de una observación biológica. Comentaré algunos ejemplos. Debo destacar un artículo que publiqué en la prestigiosa revista *Nature* en 1991. A finales de los años 80, en algunas islas Canarias y con cierta asiduidad, se producían varamientos de especies raras de cetáceos muy poco conocidas por la ciencia. Estos varamientos eran publicados rápida y detalladamente al poco de acontecer, pero en ninguna de estas publicaciones se identificaba la causa del varamiento. Pues bien, un día iba yo a la Universidad por la Avenida Marítima de Las Palmas de Gran Canaria, cuando divisé en el horizonte el perfil de varios buques de guerra. Unos días antes se había publicado en los periódicos la aparición de nuevos episodios de varamientos de cetáceos. Pues a partir de ahí lo demás fue muy sencillo. Simplemente busqué en las hemerotecas las palabras “varamientos” y “maniobras militares” dibujando un gráfico con ambas variables. Su visión era incontestable: al día o días siguientes de realizarse maniobras militares aparecían cetáceos varados.

Uno de los proyectos más importantes que ha tenido ha sido el relacionado con el estudio de la población de las tortugas marinas en Cabo Verde. ¿Cómo fueron los inicios de este proyecto?

Todo comenzó cuando, en junio de 1995, el volcán de la isla de Fogo hizo erupción. Entonces considere llegado el momento de conocer las islas de Cabo Verde aprovechando para ver en directo una erupción volcánica. Tardamos un año en encontrar tiempo y dinero para realizar el viaje, así que cuando llegamos no quedaban sino algunas fumarolas. Una vez allí recorrimos cuatro de las once islas, dándonos cuenta de que en esas islas anidaban, en gran número, las tortugas marinas. En 1998 reuní a un pequeño grupo de alumnos de la Facultad de Ciencias del Mar y les dije: *Voy a organizar durante los próximos meses de julio y agosto un campamento en varias playas desiertas de la isla de Boavista, en Cabo Verde. Después de varias expediciones estoy*





razonablemente seguro de que esas playas son muy importantes para la reproducción de varias especies de tortugas marinas. Sin embargo, no estoy seguro al 100%, así que los que no tengan miedo al fracaso yo les invito a venir.

Y así descubrimos la segunda mayor colonia reproductiva de *Caretta caretta* en el Atlántico, tras las colonias de los Estados Unidos. Es la tercera más importante del mundo, después de Omán. Entre 1998 y 2015, instalamos en la isla de Boavista varios campos de trabajo para el estudio y la conservación de las tortugas marinas.

En relación al evento de mortalidad de foca monje, eso fue un hito a escala mundial. ¿Podría hablarnos de esto?

En 1993, y tras la muerte por la explosión de una mina antitanque de un equipo de científicos franceses, dirigidos por Didier Marchessaux, que estudiaban la colonia de foca monje en las costas del antiguo Sahara Español, consideré urgente y fundamental, proseguir con los trabajos de investigación y conservación que dicho equipo estaba realizando. En la zona litoral denominada "Las Cuevecillas", vivían en dos o tres grandes cuevas abiertas en los acantilados unas 350 focasmonje (*Monachus monachus*). Esta era la mayor colonia en el mundo ya que la población total de la especie, incluidas las que vivían en el mar Mediterráneo, no sobrepasaba los 500 ejemplares. Después de múltiples negociaciones, nos permitieron acceder a la colonia, pero bajo nuestra propia responsabilidad ya que Mauritania no se hacía responsable de cualquier accidente sobrevenido. Desde entonces y hasta junio de 1997 fuimos avanzando poco a poco pero continuamente en el conocimiento de *la más hermosa colonia de focas monje que nunca ha existido*, hasta que llegó el desastre.

Desde la época colonial, Francia explotaba en lo que hoy es Mauritania dos recursos: la pesca en la zona marina y el mineral de hierro en la zona terrestre. Este se extraía de la localidad minera de Zouerat, a más de 1.000 km de la costa. Se molía hasta convertirlo en arena polvorienta y se transportaba en vagonetas de tren hasta Puerto Cansado, situado a 3 ó 4 kms al sur de Nouadhibou. Al llegar al puerto, esta arena polvorienta de hierro quedaba almacenada al aire libre hasta su transporte internacional por mar a bordo de barcos mercantes. Pues bien, entre mayo y junio de 1997 los vientos alisios soplando intensamente, levantando nubes rojas de hierro en polvo, en dirección sur, que caía sobre el mar, reaccionaron con los elementos químicos del agua de mar. Este proceso de fertilización tuvo como princi-

pal resultado una masiva proliferación de algas tóxicas, principalmente del género *Gymnodinium*, que servían de alimento a muchas especies de peces.

Los cardúmenes de estos peces, inmunes a las toxinas pero contaminados para sus predadores, se desplazaron hacia las zonas de alimentación de las focas situadas más al norte. Como siempre, las focas devoraban kilos y kilos y a las pocas horas comenzaban a manifestarse en ellas los efectos de las toxinas. El resultado fue que las focas de mayor tamaño murieron, quedando la colonia sólo con algunos animales inmaduros, casi todos los jóvenes y muchas crías ahora huérfanas que terminaron muriendo. El triste resultado final fue que de las 350 focas monje iniciales, la colonia descendió hasta unas 90, quedando así seriamente comprometido el futuro de la especie en el mundo.

¿Cuál es su posición sobre la reintroducción de especies como la foca monje o la tortuga boba en Canarias? ¿Lo considera viable?

Sin duda favorable al 1000%. Desgraciadamente existen en Canarias, y en el mundo en general, muchos *Talibanes de la Conservación*, que embutidos en sus burkas no se dan cuenta de que muchas especies están desapareciendo rápidamente e impiden la adopción de programas de reintroducción.

En el caso de la colonia de foca monje en Mauritania, entre 1993 y 1997 repetí hasta la saciedad que la concentración de 350 animales, en tan sólo dos grutas, confería a esta colonia una alta fragilidad ante enfermedades como el morbillivirus, mareas negras, desprendimientos por erosión del techo de las cuevas, etc. Para paliar ese riesgo, mi proposición era el establecimiento de un corredor biológico para la foca monje que permitiera una más fácil puesta en contacto de la pequeña colonia de Madeira y la gran colonia sahariana. Para ello, específicamente proponía la reintroducción de la especie en las islas Canarias orientales, en base a que en aquel tiempo morían, cada año, unas 50 focas recién nacidas, consecuencia del oleaje producido por las tormentas invernales. Pero una vez más, los Talibanes de la Conservación fueron escuchados en detrimento de nuestros conocimientos... *y en eso llegó la marea roja*.

Otro ejemplo. Antes de que el hombre comenzara a explotar masivamente los recursos pesqueros (es decir hace menos de 200 años), las tortugas marinas se contaban por millones. Estos animales, que desde hace unos 160 millones de años no se alimentaban básicamente más que de medusas y carroña de animales marinos muertos que encontraban flotando en el mar, incluyen ahora plásticos, alquitrán y otros de-

sechos en sus dietas, lo que les produce la muerte. Además de la pérdida de playas para su reproducción debido al desarrollo turístico y otros peligros. De hecho, se calcula que de cada 10.000 tortuguitas que logran nacer en las playas de anidación, sólo una llegara a adulta y pondrá huevos. Nosotros hemos intentado aumentar esta tasa de supervivencia basándonos en la filopatria (el regreso de las tortugas adultas a las mismas zonas de playas donde nacieron), de modo que en menos de 20 años esperamos que comiencen a notarse los efectos de esta decisión por la llegada a las playas canarias de tortugas adultas liberadas cuando tenían un año de edad en nuestras islas para depositar sus huevos.

“En 1998 reuní a un grupo de alumnos de la Facultad de Ciencias del Mar y nos fuimos a Cabo Verde y allí descubrimos la segunda mayor colonia reproductiva de *Caretta caretta* en el Atlántico”.

¿Cómo ve el futuro de la ciencia en Canarias?

Un futuro magnifico lleno de descubrimientos en el ámbito natural. Pero al mismo tiempo, y debido a las acciones humanas (principalmente al cambio climático), ese futuro tardara demasiado tiempo en alcanzarse, lo que producirá ineludiblemente la pérdida de importantes valores naturales.

¿Es optimista o pesimista respecto a la conservación de la biodiversidad de Canarias?

Viendo la gran cantidad de agresiones a la naturaleza por parte del hombre, pienso que el ser humano es una especie ignorante y suicida, producto de algunas neuronas cerebrales mal conectadas que le impiden darse cuenta de los efectos negativos que conllevan sus acciones. Sin embargo, tras la desaparición de miles de especies surgirán otras nuevas que las reemplazarán, lo malo es que nosotros ya no estaremos aquí para verlo.

¿Cuáles son los nuevos retos a los que se enfrenta?

Desde el punto de vista socio cultural me gustaría que mi último reto consistiera en la realización de un Museo de la Evolución Insular de la Biodiversidad en Las Palmas de Gran Canaria. Y desde el punto de vista científico querría desarrollar un proyecto de excavación de un tubo volcánico en Gran Canaria en el que creo posible encontrar especies animales desconocidas para la ciencia.



Fig. 1. Imagen del agua de lluvia que desembocó en la Playa de Las Canteras (Gran Canaria) el 22 de octubre de 2015. Foto extraída del Facebook de Juan Rodríguez Sosa.

Contaminantes emergentes

Un nuevo reto para los profesionales del medio marino

María Esther Torres-Padrón, Zoraida Sosa-Ferrera y José Juan Santana-Rodríguez

Los contaminantes emergentes son compuestos de distinto origen y/o naturaleza, que no han sido estudiados, hasta hace pocos años, como sustancias potencialmente contaminantes pero que podrían ser candidatas por su constante entrada en el medio ambiente. Aunque su presencia en el medio no es nueva, su estudio es de creciente interés en el contexto de la gestión de aguas urbanas y costeras. De entre todas las familias de compuestos que se incluyen dentro de esta definición, los fármacos tienen un papel protagonista. Debido a su variedad y amplio uso, se hace necesario enfocar nuestros esfuerzos en el estudio de la presencia y comportamiento de estos compuestos en el medio acuático.

¿Por qué hablamos de contaminantes emergentes?

Aunque sabemos que el agua es un recurso natural escaso e indispensable para la vida, seguimos sin prestarle el interés que se merece. El problema de la contaminación de las aguas ya era un hecho a principios del siglo XIX, pero se presenta con mayor crudeza cuando el hombre comienza a sintetizar toda clase de compuestos químicos para su uso en la agricultura, la industria, la medicina, etc. y comienzan a llegar a la atmósfera, al suelo o al agua con todas las consecuencias que conocemos.

Aunque el tema de la contaminación de las aguas es extenso, nos centraremos en uno de los temas de actualidad, dentro de la química ambiental: los *contaminantes emergentes*. Se definen como tales, aquellos compuestos que no han sido estudiados como sustancias potencialmente contaminantes, pero que podrían ser candidatas en un futuro próximo. Actualmente, el fármaco analgésico diclofenaco y las hormonas 17-alfa-etinilestradiol y 17-beta-estradiol han sido incluidas en la primera lista de vigilancia emitida por la Unión Europea, con el fin de recopilar mayor información acerca de estos compuestos para su posible inclusión en la lista de “sustancias prioritarias” en agua.⁽¹⁾

La presencia de tales contaminantes emergentes es de creciente interés en el contexto de la gestión del agua urbana. De hecho, se ha determinado su presencia en las aguas de entrada en las estaciones depuradoras, así como en las aguas de salida. La reutilización de aguas regeneradas para riego es una práctica indicada en zonas con recursos hídricos escasos, dado que ofrece un suministro garantizado para la agricultura.

El estudio de los contaminantes emergentes en el medio acuático es uno de los grandes retos para una gestión sostenible del agua, ya que el crecimiento demográfico aumentará la presión sobre los re-

cursos hídricos. La descarga permanente de las aguas depuradas en el medio acuático puede plantear potenciales riesgos a largo plazo en la biota. De hecho, y debido a la persistencia que poseen algunas de estas sustancias, su presencia en el medio acuático se ha relacionado con efectos negativos, incluyendo disrupción endocrina, entre otros.⁽²⁾

Entre los contaminantes emergentes podemos incluir las drogas de abuso, los productos de cuidado e higiene personal y los filtros solares, entre otros. De entre todos ellos, los *fármacos* son uno de sus principales protagonistas. Todos usamos fármacos diariamente, para nosotros o para nuestras mascotas, en los hospitales o en el hogar, en la ganadería o en la acuicultura. Pero, ¿qué les pasa a estos compuestos después de ser suministrados?, ¿son distribuidos en el medio o son eliminados antes de llegar al mar en las estaciones depuradoras de aguas residuales?, ¿cuáles son los posibles riesgos de su emisión de estos compuestos en el medio? La presencia, el comportamiento y los efectos de los fármacos en el medio acuático es todavía una ecuación con muchas incógnitas para los que nos dedicamos al estudio del medio marino.

Los fármacos son moléculas complejas, con propiedades fisicoquímicas diferentes. Se desarrollan y usan en función de su actividad biológica y se caracterizan por su naturaleza iónica. Son administrados en hospitales y los tomamos en casa. En 2010, existían aproximadamente 4.000 fármacos distintos en el mercado, muchos de ellos administrados bajo prescripción, y otros que son tomados por la población sin control médico (paracetamol, ibuprofeno, anticonceptivos, etc.). Así, se estima que el consumo mundial de fármacos se acerca a más de 100.000 t/año aunque, evidentemente, este consumo es variable en función del país. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud estima que el 0,4% de las mujeres japonesas en edad fértil toma píldoras anticonceptivas que contienen etinilestradiol como principal principio activo, mientras que en Estados Unidos lo consumen el 16% de las mujeres.⁽³⁾

Los fármacos llegan a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) después de haber sido consumidos por los seres humanos, en su forma original o como metabolitos. Aunque las nuevas tecnologías de depuración (biorreactores de membrana o procesos de oxidación avanzada, entre otros) parecen ser más eficaces en la eliminación de fármacos que los sistemas de depuración convencionales, son estos últimos lo que actúan en la mayoría de las estaciones y no son eficaces en la eliminación de estos compuestos⁽¹⁾. Una vez salen de las

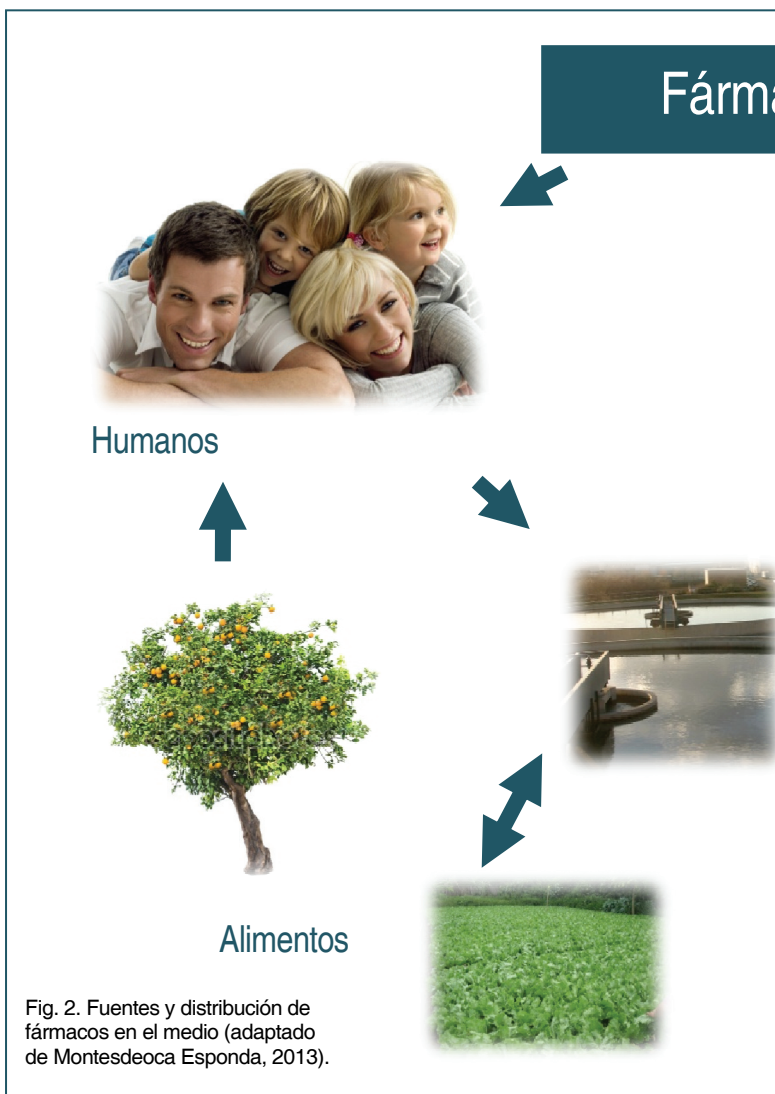
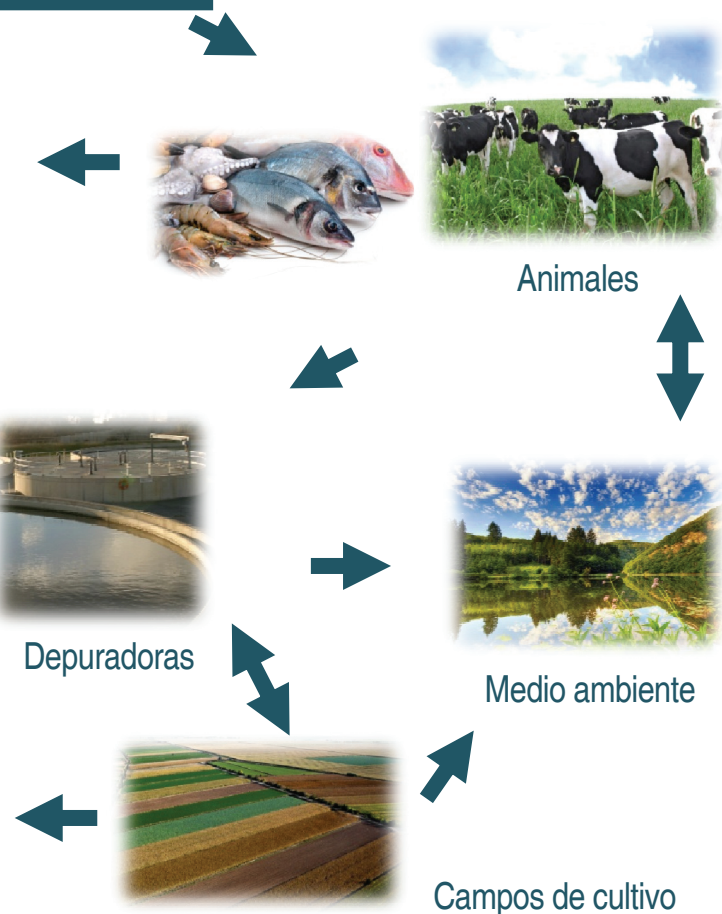


Fig. 2. Fuentes y distribución de fármacos en el medio (adaptado de Montesdeoca Esponda, 2013).

EDARs, sin haber sido eliminados ni controlados de ninguna forma, pueden llegar al medio ambiente a través de emisarios o mediante regadío. Además, pueden suponer una fuente directa de contaminación si se usan en acuicultura o por las propias excreciones de los animales.

Muchos de los fármacos son adsorbidos por las partículas presentes en las aguas residuales. Una parte de los lodos que se obtienen como productos en los procesos de tratamiento en las EDARs se utilizan como abono y el resto son depositados en los vertederos. Todas estas vías generan una contaminación directa (descargas en el mar) o indirectas (contaminación de suelos y posteriormente de cultivos, filtraciones en los niveles freáticos y, en consecuencia, en las aguas subterráneas). Incluso, las escorrentías de las aguas de lluvia que llegan al mar es otra de las fuentes dispersas de estos compuestos (Figura 1). Por tanto, los fármacos pueden circular a través de una cadena en la que, finalmente, podría retornar al hombre (Figura 2).⁽⁴⁾

acos



Desde finales de los años setenta, estos compuestos farmacéuticos son objeto de estudio. Inicialmente, los métodos analíticos desarrollados hasta ese momento permitían determinar la presencia de algunos de los compuestos en el medio. Muchos de los principios activos utilizados en fármacos, como las hormonas, se detectan en el medio acuático desde hace tiempo, aunque el interés por estudiar los efectos ha crecido exponencialmente desde mediados de la década de 1990, en Europa, Estados Unidos y Canadá. El monitoreo de fármacos proporcionará información relacionada con su presencia, distribución en el medio ambiente y los posibles efectos sobre los organismos expuestos a los niveles de concentración presentes en el medio en el que viven.

Hay evidencias de la presencia de más de 80 fármacos en efluentes de aguas de depuradoras, aguas superficiales y aguas subterráneas e, incluso, en aguas de abasto. Compuestos como el ibuprofeno, la carbamazepina y los fibratos son fáciles de determinar y se suelen incluir en este tipo de investi-

gaciones. Otro grupo de fármacos que se suelen incluir en estos estudios son los antibióticos, no sólo por el amplio uso que se hace de ellos sino también por la resistencia que se pueda desarrollar. En la mayoría de los casos, el rango de concentraciones en el que los encontramos está entre $\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$ hasta $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, por lo que también se les denomina *microcontaminantes orgánicos*.

En Canarias, se ha determinado la presencia de fármacos de uso común, como analgésicos, antibióticos y antidepresivos en aguas depuradas y zonas costeras en concentraciones de partes por trillón.^(5, 6)

Una vez alcanzan el medio acuático, los fármacos pueden sufrir procesos de absorción/adsorción, como las tetraciclinas y/o distintos tipos de degradación. Estos procesos de absorción/adsorción dependerán de las características iónicas de la molécula y tendrán un papel fundamental en la biodisponibilidad del fármaco en el medio acuático. Por otro lado, la biodegradación modifica la estructura química de las moléculas originales, produciendo nuevas moléculas, con nuevas propiedades fisicoquímicas. La fotodegradación y la hidrólisis pueden ser procesos significativos también para algunos antibióticos de la familia de las quinolonas.⁽³⁾

¿Cuál es nuestro reto?

Aunque la investigación que se ha desarrollado sobre el tema es amplia aún queda mucho por llevar a cabo. Se hace necesaria una red internacional de investigación coordinada con el fin de aunar los esfuerzos. En este sentido, se pretende desarrollar un base de datos que contenga todos los resultados publicados hasta el momento con información relevante sobre fármacos (características fisicoquímicas, presencia, comportamiento/transporte, exposición, datos toxicológicos relevantes, exposición crónica...), y que se vaya actualizando a medida que se obtenga nueva información. Aunque la Agencia Ambiental Canadiense ha comenzado este trabajo, debemos pensar que se trata de una tarea ardua y complicada, por la cantidad de información que se genera sobre fármacos a nivel mundial, desde los distintos puntos de interés del tema. Además de la base mundial de datos, se pretende desarrollar una web que relacione, en tiempo real, todos los proyectos y actividades relacionadas con la investigación en contaminación por fármacos. De esta manera, se podrá cruzar las investigaciones de distintos campos (medicina, veterinaria, ingeniería...) con el medioambiente.

Por otro lado, se hace necesario determinar las contribuciones relativas de fuentes controladas frente a la excreción directa o las escorrentías. También

es necesario profundizar sobre la contribución de los recintos hospitalarios en el total que llega a las EDARs, así como conocer los datos de prescripción y uso de los fármacos con el fin de poder estimar la contribución de la población en estudio.

En cuanto a la presencia de los fármacos en el medio acuático, es importante delimitar la importancia real de éstos en las aguas, tanto superficiales como subterráneas y agua potable. Para ello, sería deseable establecer las tendencias de algunos de los fármacos más usados y estudiar la presencia de los mismos en el medio marino frente a aguas dulces.

En relación al comportamiento y transporte de estas sustancias, es importante profundizar en el estudio de la formación de metabolitos bioactivos y de otros productos de transformación que pueden afectar a la biota.

En lo correspondiente a la exposición y toxicología de estos compuestos, se hace necesario realizar estudios de exposición en las poblaciones que puedan verse afectadas por las descargas y determinar el posible potencial toxicológico de cada sustancia, en función de su exposición en microorganismos, invertebrados, vertebrados, algas,...

Desde el punto de vista analítico, es importante seguir trabajando en el desarrollo de métodos de extracción más eficientes y metodologías de identificación para mejorar los límites de detección de estos compuestos más polares que los que, tradicionalmente, estamos acostumbrados. Además, la necesidad de estandarizar los métodos de trabajo ayudaría a la comparación de los resultados publicados a nivel mundial.

Se hace necesario invertir en nuevas tecnologías de tratamiento de agua y continuar investigando, con el fin de obtener tratamientos de agua más eficientes y asequibles económicamente, de cara a una futura legislación que incluya estos compuestos.⁽⁷⁾

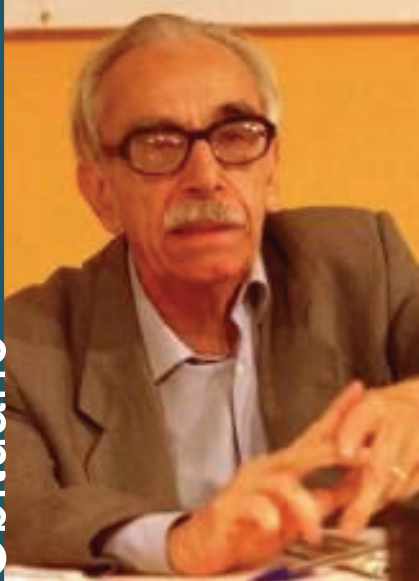
Todavía queda mucho por hacer en este campo. Los investigadores del medio marino tenemos una responsabilidad, aunque desde la población podemos hacer mucho sin gran esfuerzo: *si reducimos el uso de fármacos no prescritos, ayudamos a proteger la salud de nuestro medio acuático.*

Bibliografía

- (1) Barceló, D. y C. Postigo (2014)
<http://www.iagua.es/blogs/damia-barcelo/contaminantes-emergentes-descripcion-y-tratamientos> (05/11/2015)
- (2) Caliman, F.A. y M. Gavrilescu (2009) Soil, Air, Water, 37:277–303
- (3) Kumerer, K. (2003), Pharmaceuticals in the Environment, Springer Berlin Heidelberg Nueva York, pp. 3-10.
- (4) Montesdeoca-Esponda, S.(2013)
<http://hdl.handle.net/10553/10473> (05/11/2015)
- (5) Afonso-Olivares, C., M.E. Torres-Padrón, Z. Sosa-Ferrera y J.J. Santana-Rodríguez (2013) Antibiotics, 2:274-287.
- (6) Guedes-Alonso, R., Afonso-Olivares, C., Montesdeoca-Esponda, S., Sosa-Ferrera, Z. & Santana-Rodríguez, J.J. , 2013, Springer Plus, 2: 1-8.
- (7) Daughton, C.G., 2003, en: K. Kumerer (editor), *Pharmaceuticals in the Environment*, Springer Berlin Heidelberg Nueva York, pp. 463-493.



www.mercurioeditorial.com



Francisco López Capont, *La Voz de Galicia*, 26 de octubre de 2002.

Francisco López Capont

La química en la conservación de los productos de la pesca

El profesor Francisco López Capont (1922-2001) fue uno de los grandes impulsores del desarrollo de la tecnología industrial aplicada a la mejora, transformación y conservación de los productos derivados la pesca (conservas) en España. Se licenció y doctoró en química por la Universidad de Santiago de Compostela, especializándose en Bromatología en Madrid. Fue Catedrático en Tecnología Pesquera en la Universidad de Santiago de Compostela, hasta que se jubiló en 1987.

Actuó como técnico de Organización Mundial para la Agricultura y Alimentación (FAO) de Naciones Unidas, participando en misiones de asesoramiento en diversos países de América Latina, particularmente en Chile, donde además de clases colaboró en proyectos de desarrollo y modernización de industrias pesqueras. No obstante, su papel como experto no se limitó a asistencias a FAO, sino que su colaboración con Naciones Unidas también se desarrolló a través de otras agencias como el Departamento para el Desarrollo Industrial (ONUDI), Organización para el Comercio (GATT), la Organización de Estados Americanos (OEA), el Banco Iberoamericano del Desarrollo (BID) y también en proyectos de la Agencia Española de Cooperación.

Fue una persona muy vinculada al sector pesquero e industria de transformación pesquera de Galicia. De hecho fue el impulsor del primer laboratorio de la Unión de Fabricantes de Conservas en Vigo (actualmente Anfac-Cecopesca). Además, fue cofundador del Colegio Oficial de Químicos de Galicia y de la delegación en Galicia de la Asociación Nacional de Químicos de España. En 1981 creó la Asociación de Científicos y Tecnólogos de Alimentos de Galicia. En 1986 fue nombrado académico de la Real Academia Gallega de Ciencias.

Enamorado de su tierra y de su historia, particularmente de la historia de sus pesquerías y de las personalidades que habían contribuido a su desarrollo. En este sentido, el profesor López-Capont fue autor de muchas publicaciones entre las que destacan las relacionadas con el desarrollo industrial pesquero en el siglo XVIII, *Diccionario Técnico Inglés-Español de Tecnología, especies y siglas pesqueras* y *La conserva y salazón de la sardina*. Además, rescató algunas publicaciones y documentos históricos, como la extensa carta que el Padre Sarmiento, otro célebre gallego, envió en 1757 al Duque de Medina Sidonia (el señor de los atunes) para explicarles las razones que estaban detrás del alarmante descenso de las capturas de atunes en sus almadras, la cual publicó en una edición facsímil apoyado por Caixa Pontevedra.

Tras su jubilación impartió diversos seminarios sobre tecnología de la industria pesquera en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, particularmente a los alumnos de 5º curso de la licenciatura de Ciencias del Mar. En estos enseñaba a los alumnos, a través de técnicas muy sencillas, la tecnología de conservación de los alimentos a través del enlatado de productos de origen pesquero, así como las técnicas utilizadas en su transformación y control de calidad. Al finalizar las prácticas, aprovechaba los productos utilizados (berberechos, mejillones, sardinas, etc.), y un poco de pan, para su última clase práctica con los alumnos y, como clausura del curso, realizar de una "queimada" gallega para brindar y comer todo lo analizado. Era, sin duda, una persona muy afable y un gran conocedor de la industria pesquera española y sudamericana, de la historia y evolución de la pesca en España. Quijote siempre luchador contra la mediocridad, fue un inspirador incansable de la experiencia científica, planteando que la respuesta a los retos futuros debía sustentarse sobre la base de un sólido y profundo conocimiento del pasado y en el respeto hacia aquellos que trabajan en el mar.

Daniel Montero, doctor en Ciencias del Mar, miembro del departamento de Biología de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y fotógrafo de naturaleza perteneciente al consorcio fotográfico "portfolionatural".

La fotografía es para mí un contrapunto creativo a la cruda objetividad científica y a *la cuadratura de la mente de investigador*. *Me permite abrir puertas a la subjetividad, a la creación de equilibrios a partir de la observación detallada de lo que me rodea*. Ha sido finalista en diferentes certámenes internacionales de fotografía, como el "GDT European Wildlife Photographer of the Year (2012 y 2013), Asferico Photocontest 2013, MML 2011, Sipa Photo contest 2015. Ha publicado fotos en diferentes revistas de fotografía incluyendo *GEO* (versión alemana), *National Geographic Viajes* (versión española) y varios libros, destacando *Natura, regards créatifs sur la nature*.

Webpage: www.danielmontero.com & www.portfolionatural.com

Foto 1: Trafalgar, Cádiz

Foto 2: Costa Norte de Gran Canaria, Islas Canarias

Foto 3: Caprichos del Océano. Islas Canarias





2

3





4

5





6

Foto 4: El Bufadero de La Garita, Gran Canaria, Islas Canarias

Foto 5: Jandía, Fuerteventura, Islas Canarias

Foto 6: Azul. Océano

Foto 7. Islote, Iloilo, Filipinas

7





8

9





Foto 8. Praia do Sancho, Fernando de Noronha, Brasil

Foto 9. Playa de Lagzhira, Marruecos

Foto10. Fitzroy Island, Queensland, Australia

Foto11. Rasa Intermareal, Araucanía, Chile.

Foto12. Bufadero. Gran Canaria, Islas Canarias.

10

11





Fig. 1. Paseo de la playa de Las Canteras de finales de la década de los sesenta del pasado siglo.



Gestión y toma de decisiones sobre la Ensenada de Las Canteras

Vicente Benítez Cabrera

Las Canteras y la dinámica sedimentaria

La Playa de Las Canteras es una de las playas urbanas con mayor proyección turística de Canarias, y seguramente de España, principalmente porque en torno a ella se ha desarrollado la parte más representativa de la industria hotelera, comercial y de servicios de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Además, esta playa tiene una serie de connotaciones sociales y culturales relevantes para los habitantes de la ciudad, tales como el Entierro de la Sardina que ponen fin a los Carnavales, las Fiestas Fundacionales de la ciudad, la Fiesta de la Naval, los belenes navideños de arena, así como diversos eventos deportivos incluyendo el *FotoSub*. Para dar cabida a todos

estos eventos, la cantidad de superficie de playa seca para albergar la carga de usuarios es determinante, especialmente cada verano.

Esta importancia en el contexto socio-cultural de la Playa de Las Canteras hace que gestión y sostenibilidad sea un elemento clave para el conjunto de administraciones públicas, con competencia en ello, y para los diversos grupos sociales que han mostrado interés en su conservación. En esta gestión, uno de los problemas claves de la playa es la acumulación de arenas en ciertas parte de la misma, consecuencia de los cambios en la dinámica sedimentaria tras la urbanización y total ocupación del Istmo de La Isleta.

Fig. 2. El istmo de La Isleta en 1857, con la playa de Las Canteras a la izquierda y la de Las Alcaravaneras a la derecha.



La Playa de as Canteras constituía una unidad sedimentaria dinámica con la Playa de las Alcaravaneras (al otro lado del istmo) y los arenales que cubrían el espacio al sur del mismo. El exceso de arena que en los periodos de acreción mostraba Las Canteras era trasvasado por el viento hacia Las Alcaravaneras, y a la zona de trasplaya que conformaban los arenales que ahora dan nombre a uno de los barrios de la ciudad. La urbanización del istmo, con el cierre total, con altos edificios, a la acción del viento, cortó el trasvase natural del exceso de arenas entre las distintas zonas, y esto ha provocado la colmatación de amplias partes de la playa, aumentando la altura de la misma y la zona seca. Esto también ha generado otros problemas de tipo ecológicos que requieren de un plan de gestión a corto y medio plazo.

La colmatación de la playa y los problemas de su gestión

Las Canteras es un espacio complejo sobre el que inciden distintos organismos e instituciones públicas en las decisiones, en la planificación y en la autorización de instalaciones, actuaciones, eventos y que, al mismo tiempo, condicionan y están condicionados por los méritos y requerimientos ambientales de la Bahía de El Confital. Así, a lo largo de las últimas cuatro décadas se han realizado numerosos estudios, informes técnico-científicos, proyectos de actuaciones e instalaciones sobre la Playa de Las Canteras y la Bahía de El Confital. Algunos también sobre la necesidad y oportunidad de extraer arenas en la parte emergida de la playa, o de dragar las arenas de la propia ensenada frente a la playa, en lo que algunos especialistas llaman *lagoon*, esto es, los fondos comprendidos entre la Barra de las Canteras y la propia orilla de la playa.

En 1999, Copeiro, García-Campos y Benítez, realizaron un plan de alternativas de dragados de la playa de Las Canteras. Posteriormente, Copeiro y

La urbanización del istmo, con el cierre total, con altos edificios, a la acción del viento, cortó el trasvase natural del exceso de arenas entre las distintas zonas.



Fig. 3. El istmo de La Isleta, en 2015, ocupado completamente por edificios construidos en la trasplaya y que impiden el trasvase eólico de arenas entre la playa de Las Canteras y la playa de Las Alcaravanera que en su mayor parte se encuentra ocupada por las instalaciones del Puerto de La Luz.

García-Campos realizaron un proyecto básico de dragado de la misma. En el marco de estos trabajos, los autores destacaron que la acumulación de arenas en la playa, y en la dársena de Las Canteras, ha sido y es una constante desde que la urbanización de la ciudad alcanzó el istmo de La Isleta. Partiendo de los datos y batimetrías disponibles hasta el año 1999, la tasa media de acumulación de arenas dentro de la Dársena se estimó en torno a $10.200 \text{ m}^3/\text{año}$. No obstante, los estudios realizados advertía de: "...la carencia de cierta información que resulta necesaria para poder desarrollar un Proyecto de Construcción completamente definido. Esa información se refiere al contenido en piedras de las masas sedimentarias en unos y otros lugares de los fondos abrigados por la Barra. Sabemos que hay mantos de piedras distribuidos por los fondos, tanto en superficie como en el interior de la masa arenosa, y es necesario conocer las situaciones y los volúmenes de esos pedregales para elaborar con suficiente precisión el plan de dragado, el plan de transporte de los materiales de distintos tipos a sus respectivos destinos, y el presupuesto de todo ello. En cuanto al origen de los pedregales, se trata de fragmentos de la disgregación de la Barra, que se van acumulando al pie de la cara de esta que da al mar abierto y parte de los cuales son arrojados al interior de la dársena por el oleaje en los temporales."

En los últimos años se han realizado dos operaciones de extracción de arenas: la primera se realizó en 2003, con 30.000 m^3 y, la segunda en 2009, con un volumen de 56.000 m^3 . Las arenas extraídas se destinaron, en el primer caso, a la Playa de las Alcaravaneras y, el segundo, a la Playa del Veril en San Bartolomé de Tirajana. No obstante, estas extracciones no han estado exentas de cierta polémica.

El problema de la desaparición de los sebales

Los niveles de protección ambiental en este momento tiene la Playa de Las Canteras son muy elevados, como Zona de Especial Conservación (ZEC) dentro de la Red Natura 2000, auspiciada por Directivas Europeas. El hábitat marino que motiva la declaración denominada "1110- Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda", con la presencia del delfín mular (*Tursiops truncatus*) como especie de interés comunitario, tiene una superficie de 207,13 hectáreas, lo que supone un 32,7 % del total de la ZEC. Por otra parte, los datos cartográficos oficiales (BOE 14 de septiembre de 2011) que citaban una cobertura de sebales de 19,04 hectáreas entre la zona de playa protegida por la Barra, estaban obsoletos desde mucho antes de su toma en consideración, de acuerdo con los mapas biológicos realizados en 1999, y el seguimiento y evolución de los sebales a lo largo de estos últimos catorce años.

En este contexto sedimentario, la presencia de sebales o praderas de *Cymodocea nodosa* que conforman un ecosistema marino de gran relevancia para multitud de organismos, especialmente para alevines de peces, son una parte importante del objeto de conservación de Las Canteras como ZEC, dentro de la Red Natura 2000, al ser una especie designada como en peligro en el Catálogo de Especies Amenazadas de Canarias.

La situación ecológica en que se encuentran los sebales de la ensenada es muy preocupante y ya fue apuntada y avisada en 1999. La práctica extinción de estos ecosistemas como soporte con capacidad para sustentar una amplia fauna afecta notablemente a la calidad ambiental de la playa. Aún se puedan encontrar plantones aislados de esta planta en diferentes lugares de la ensenada.



Fig. 4. Labores de dragado de la playa de Las Canteras en julio de 2009 (La Provincia, foto de Andrés Cruz).



Fig. 5. Fondo de arena de la playa de Las Canteras, cercano a la barra.

Acciones para alcanzar el equilibrio

Los cambios naturales en la dinámica sedimentaria, junto con los inducidos por el desarrollo urbanístico de la ciudad en el Istmo de La Isleta se van haciendo cada vez más evidentes, si bien es cierto que a día de hoy se desconoce cuál es la tasa de cambio. Esto es particularmente importante en lo relativo a los Procesos de erosión y desplome de la plataforma rocosa que conforma La Barra de la playa, evolución de los manchones de sebadales, cambios en la batimetrías (las últimas medidas se tomaron antes del año 2000), así como sobre el impacto de los fondeos para embarcaciones colocados en el año 2012, detrás de la Barra, en el zoco y en la Punta de El Confital.

Por otra parte, los sumideros de sedimentos no parecen ser suficientes para contrarrestar las fuentes marinas y terrígenas, o los procesos de redistribución de arena, y mantener el sistema playero en equilibrio sedimentario, así como para revertir la tendencia actual de permanente estado de acumulación. No obstante la intervención humana para reequilibrar el sistema a través de extracciones de arena han tenido resultados dudosos. Estas operaciones se han realizado sin la preceptiva evaluación ambiental, y sin el necesario seguimiento ambiental y ecológico de los efectos previstos, así como de los logros conseguidos. De hecho, hasta la fecha no se ha producido ningún efecto significativo en la recuperación de los sebadales, si es que en algún momento se pensó como un efecto a conseguir o esperable.

Las decisiones y propuestas sobre la ensenada de El Confital se han iniciado desde distintos organismos e instituciones de forma descontextualizada, y sin considerar los valores ambientales de la ensenada. Pero, continuar con las extracciones de arena como medida de gestión del litoral, sin la necesaria y preceptiva Evaluación de Impacto Ambiental, que debe incluir un Plan de Vigilancia, solo puede dar unos resultados aparentes y parciales.

La presencia de sebadales o praderas de *Cymodocea nodosa* que conforman un ecosistema marino de gran relevancia para multitud de organismos, especialmente para alevines de peces, son una parte importante del objeto de conservación de Las Canteras como ZEC, dentro de la Red Natura 2000, al ser una especie incluida en el Catálogo de Especies Amenazadas de Canarias.

En conclusión, se considera necesario proponer soluciones más atrevidas a la situación actual, pues en caso contrario la playa seguirá en un estado ecológico dudoso, con pocas posibilidades de recuperación de las praderas de sebadales. Con el conocimiento acumulado sobre la Playa de las Canteras y la Bahía de El Confital, lo que corresponde es tomar decisiones dentro de un marco de Gestión Integrada del Litoral. Posiblemente, el Consejo de Participación de la Microárea Ecoturística Litoral sea el órgano en el que se puede estudiar y debatir las propuestas para la gestión de este espacio complejo, si bien, el peso de su participación está limitado por la propia estructura y normativa de las entidades locales. En este sentido, se propone organizar un encuentro monográfico con todos los actores implicados (administraciones, gestores, científicos, expertos independientes, foros y ciudadanos), que abra el diálogo e impulse la toma de decisiones sobre estas cuestiones que ya no admite más demoras.

A photograph of a man with a receding hairline, smiling warmly at the camera. He is wearing a brown and white plaid shirt. In front of him are three children. On the left, a girl with dark hair is smiling, wearing a red jacket with a white fur collar. In the center, a child is lying down, also smiling, wearing a light-colored shirt. On the right, a boy is looking towards the camera, wearing a dark blue beanie and a grey sweater. The background is a lush green forest with sunlight filtering through the trees.

Comprando
este libro
colaboras con
EducaNepal



DIBUJANDO SONRISAS

Mi vida al pie de los Himalayas

José Díaz



**Anroart
Ediciones**

El desastre ambiental de la Bahía de Chañaral

Joseline Tapia Zamora

El contexto geológico de Chile

La Cordillera de los Andes es una cadena montañosa continua que presenta más de 7.500 km de longitud y se encuentra localizada en el flanco occidental del continente sudamericano, desde la costa del Caribe hasta el Cabo de Hornos. A pesar de su continuidad, Stern, en 2004, dividió el vulcanismo activo en cuatro segmentos o zonas volcánicas (norte, centro, sur y austral). Más concretamente en Chile, este vulcanismo se encuentra asociado a segmentos activos de la tres últimas zonas descritas, separados por el flat-slab Pampeano (zona de subducción plana, 23-33° S) y la dorsal de Chile (46-49° S), respectivamente (Fig. 1).

La actividad volcánica histórica en Chile se encuentra presente en el registro geológico, constatándose como, desde el periodo Jurásico, el arco magmático y volcánico del borde occidental del continente Sudamericano ha migrado hacia el este. Una de las evidencias de esta migración es la presencia de diferentes tipos de depósitos minerales distribuidos en franjas longitudinales conocidas como *franjas metalógicas de Chile*, las cuales están bien detalladas en los apuntes de Makshev⁽¹⁾. Estas franjas se relacionan en edad y tipo de mineralización, y se han definido como: *Franja del Jurásico Superior* (cobre y plata), *Franja del Cretácico Inferior* (Albiano-cobre, hierro, oro y plata), *Franja del Cretácico Superior* (oro, cobre y plata), *Franja del Paleoceno-Eoceno Inferior* (cobre, plata y oro), *Franja del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior* (los grandes pórfidos de cobre y molibdeno de Chile), *Franja del Mioceno* (oro, plata y cobre) y *Franja del Plioceno Inferior* (cobre, molibdeno, oro y plata).

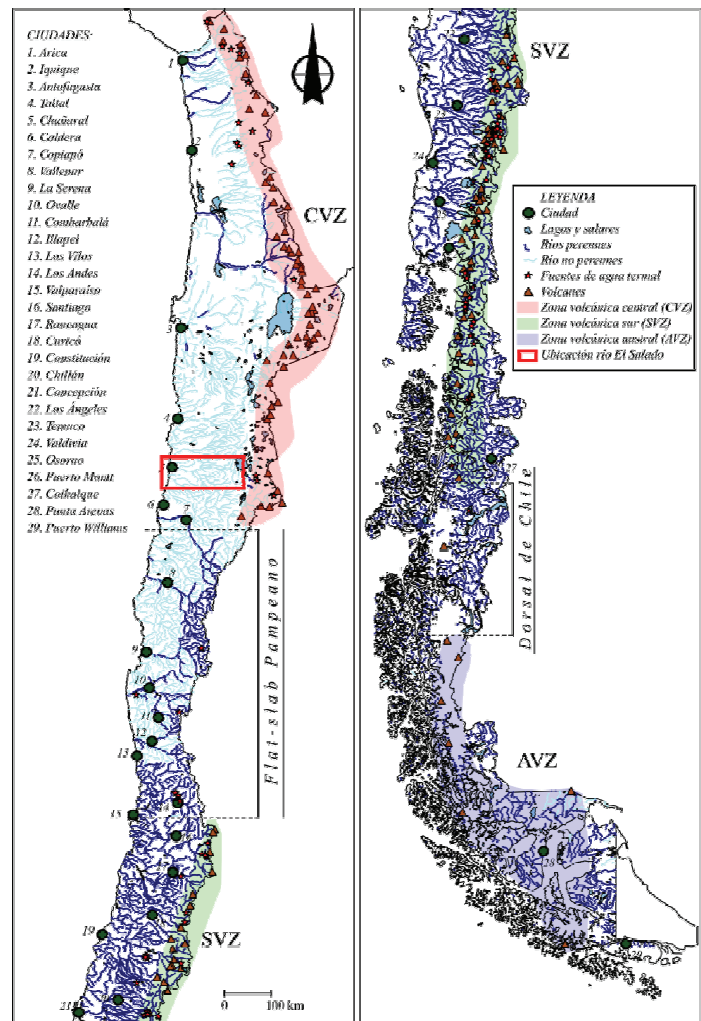


Fig. 1. Mapa de Chile donde se muestra la ubicación de la zona volcánica central (CVZ), sur (SVZ), austral (AVZ), flat-slab Pampeano (zona de subducción plana), dorsal de Chile, aguas continentales perennes y no perennes, volcanes, aguas termales. Adicionalmente se presenta la localización del río El Salado y la Bahía de Chañaral.

La Bahía de Chañaral se localiza en la Región de Atacama, a unos 900 km al norte de Santiago de Chile. La actividad volcánica actual se produce por la subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana, con desplazamientos de $7-9 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$ y donde la corteza continental alcanza espesores mayores a los 70 km.

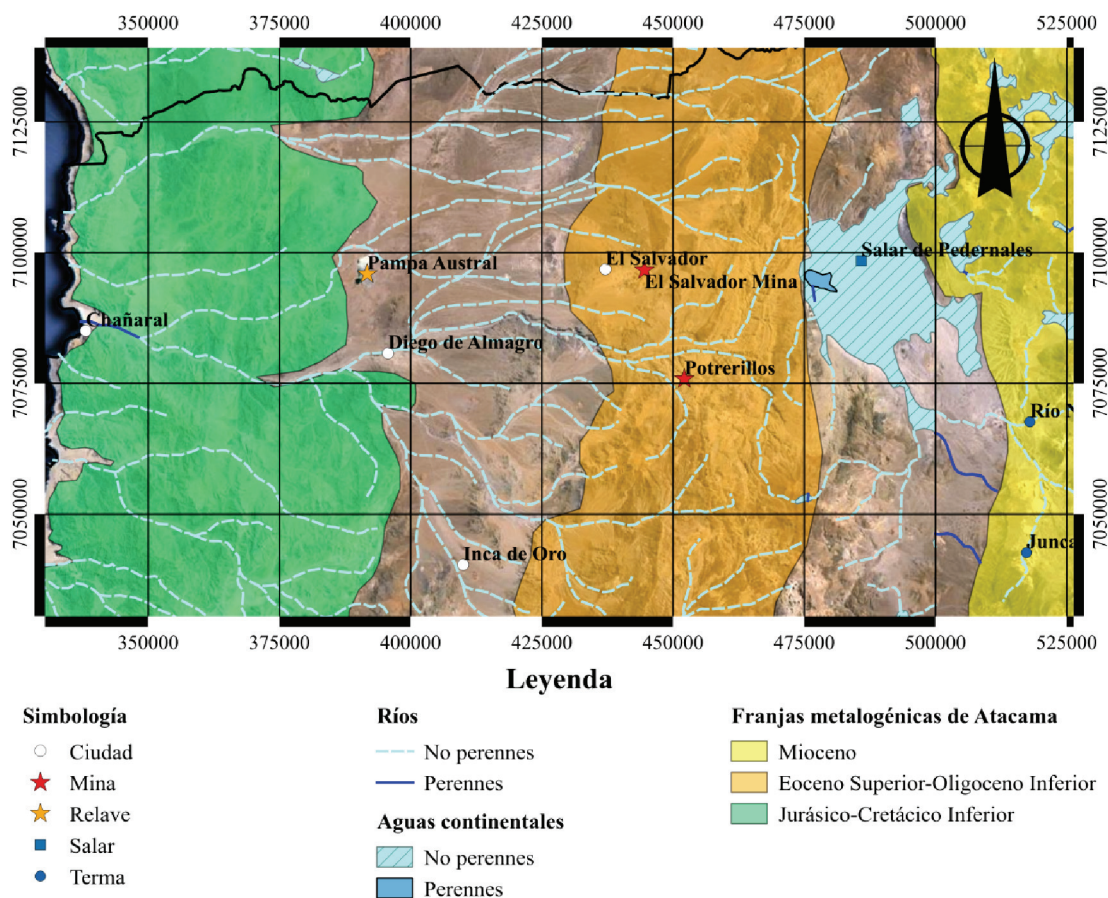


Fig. 2. Mapa descriptivo de la zona norte de la Región de Atacama. Se presentan la ubicación de las actividades mineras de Potrerillos y El Salvador, junto con las franjas metalogénicas y las aguas continentales perennes y no perennes presentes en el sector.

Una violenta historia geológica con una rica herencia mineral

La Bahía de Chañaral se localiza en la Región de Atacama, a unos 900 km al norte de Santiago de Chile. La actividad volcánica actual se produce como consecuencia de la subducción entre la placa oceánica de Nazca (de menos de 60 Ma) y la placa continental Sudamericana (con edades de basamento variando entre el Pre-Cámbrico Superior al Paleozoico), con desplazamientos de $7-9 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$ y donde la corteza continental alcanza espesores mayores a los 70 km.⁽²⁾ Por otro lado, la actividad volcánica y magmática del pasado geológico de la Región se evidencia por la presencia de depósitos minerales, que de oeste a este se han clasificado como depósitos de hierro, cobre y oro (IOCG) en la cordillera de la costa (Franjas del Jurásico-Cretácico Inferior), depósitos tipo pórfido de cobre y molibdeno (Franja del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior) y en la zona más oriental depósitos tipo epitermal (Franja del Mioceno; Fig. 2).⁽¹⁾

La actividad minera de Potrerillos y El Salvador

La riqueza mineral de la zona se ha explotado desde comienzos del siglo pasado, siendo las actividades mineras más relevantes las de los pórfidos de Cu-Mo de Potrerillos (Fig. 3a, b), que estuvo en explotación

desde 1938 a 1958 y El Salvador (Fig. 3c), en explotación desde 1959. La explotación indiscriminada de estos recursos se tradujo en uno de los eventos de contaminación crónica del litoral marino más prolongada en la historia moderna.

Las instalaciones de la ex-Mina Potrerillos se localizan en la Región de Atacama, a 124 km al este de Chañaral (Fig. 2). La principal producción de esta mina se desarrolló entre 1926 y 1959 por la empresa norteamericana Andes Copper. En esta época se explotaron 1.800.000 toneladas de cobre fino, hasta que la mena comenzó a mermar. Ante este declive, la empresa realizó nuevas campañas de exploración, encontrando el depósito que denominaron como El Salvador en 1958. Este depósito se localiza a 23 km al noroeste de la ex-Mina Potrerillos (Fig. 2). En 1971 el cobre fue nacionalizado y El Salvador pasó a ser parte de la Corporación del Cobre (CODELCO) de Chile. Actualmente, la explotación de este depósito mineral continúa, pero en la última década la producción de cobre fino ha disminuido (en promedio produjo 82500 t entre 1996-2005 y 63.200 t entre 2006-2014).

La contaminación del litoral marino

La importante actividad minera que se desarrolló en el interior del norte de la Región de Atacama, dio lugar a uno de los hechos de contaminación de litoral marino

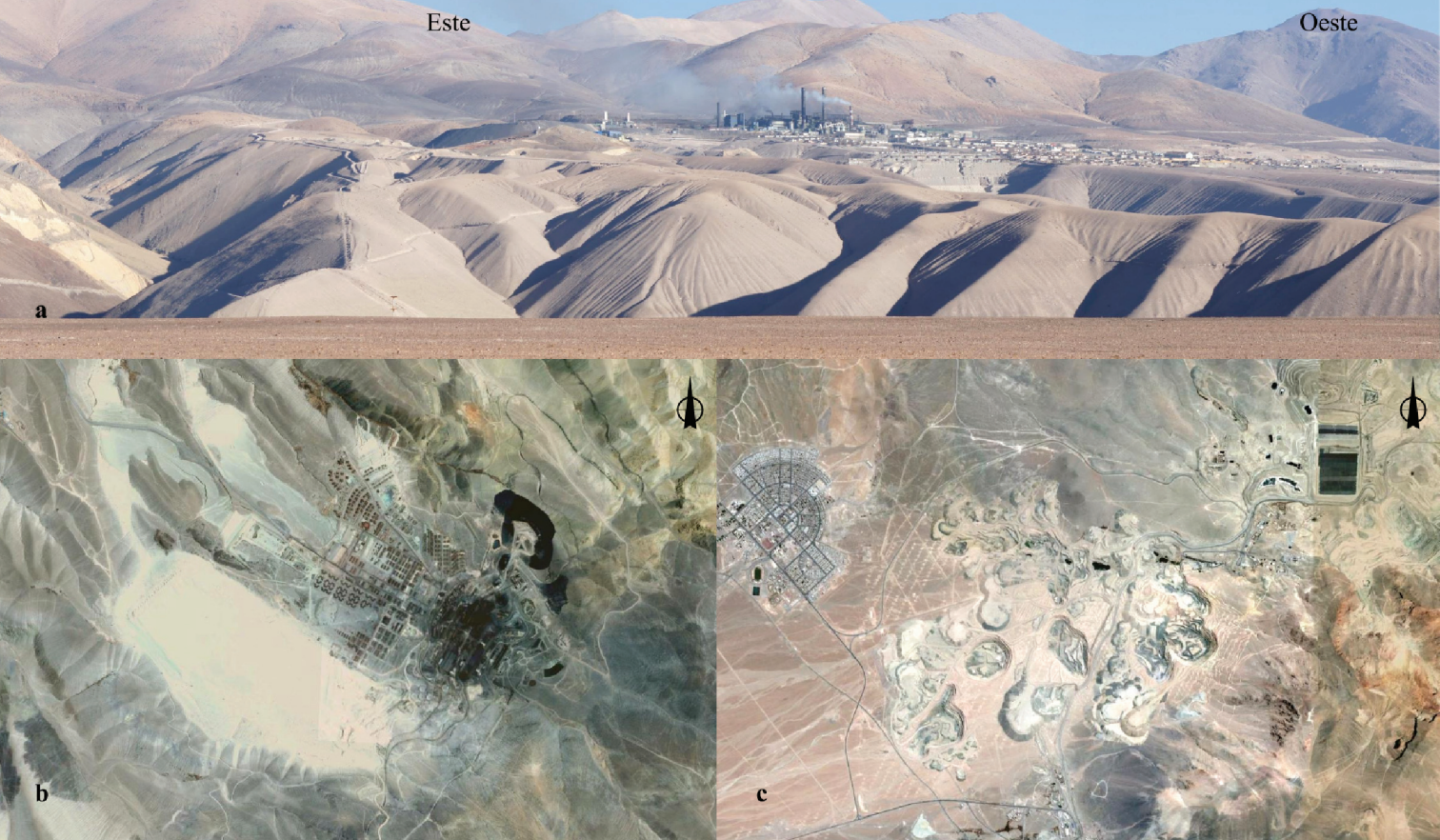


Fig. 3. (a) Panorámica de Potrerillos; (b) Instalaciones ex-mina Potrerillos; (c) Mina El Salvador [(a) cortesía de Sergio Villagrán; 2014; (b) y (c) obtenidas de Google Earth].

más reconocida y continua en el tiempo que ha tenido lugar en la historia moderna. Así, los relaves de Potrerillos (1938-1958) y posteriormente los de El Salvador (1959-1975) fueron vertidos durante 32 años directamente, y sin tratamiento previo alguno, a través del cauce del río El Salado a la Bahía de Chañaral (Fig. 4)⁽³⁾. Entre 1938 y 1975 la minería de Potrerillos y El Salvador arrojó cerca de 150 millones de toneladas de relaves, que desembocaron en la Bahía de Chañaral conformando una playa artificial de 3,6 km² de superficie, 5 km de longitud norte-sur y 0,40 a 0,88 km de anchura en sentido este-oeste, con un grosor estimado de 9 m en la zona central (Fig. 4a).⁽⁴⁾

En el año 1976, la descarga fue desviada artificialmente a través de un canal hacia Caleta Palito, una playa rocosa localizada a 8 km al norte de Chañaral (Fig. 5). Entre 1975 y 1990 se descargaron entre 126-150 millones de toneladas de sólidos lo que, al igual que en la Bahía de Chañaral, formó playas artificiales. De acuerdo a información extraoficial, las aguas de los relaves contenían entre 6000 y 7000 µg·l⁻¹ de cobre total.⁽⁴⁾

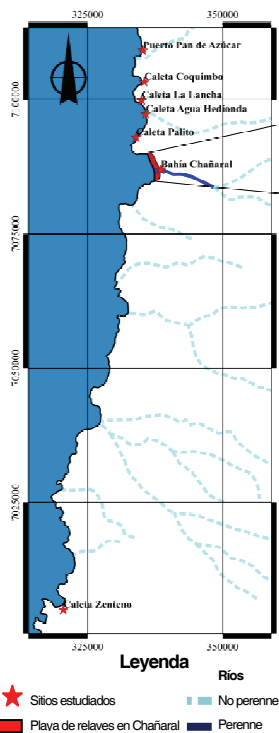


Fig. 4. (a) Sitios que se han estudiados desde el punto de vista ambiental (aguas, sedimentos y diversidad) desde los años 80 y que son mencionados en este manuscrito. La zona achurada en rojo corresponde a la playa artificial de relaves que se formó en Chañaral (modificada de Castilla, 1983); (b) y (c) Playa de relaves de la Bahía de Chañaral.



Fig. 5. (a) Canalización artificial del río El Salado; (b) Canalización del río El Salado a 20 m de la desembocadura en Caleta Palito, los colores anaranjados y verdosos corresponden a óxidos de Fe y Cu, respectivamente; (c) y (d) Desembocadura en el océano Pacífico de la canalización de las “aguas limpias” del río El Salado provenientes del tranque de relaves de Pampa Austral.

Ante esta situación, en marzo de 1990 y como consecuencia de un Recurso de Protección, la Suprema Corte de Chile falló en contra de la mina El Salvador y se le prohibió eliminar desechos mineros sin tratamiento al río El Salado. La mina El Salvador debió construir una balsa de relaves, en una zona desértica cercana a Diego de Almagro conocida como Pampa Austral. Esta balsa de relaves sólo puede verter “aguas limpias” (con menos de 2000 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de cobre total) al río El Salado (Fig. 6).⁽³⁾

Deterioro ambiental

El Departamento de Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile ha realizado numerosos estudios para determinar las consecuencias que la actividad minera descontrolada ha ocasionado en la Bahía de Chañaral, Caleta Palito y sectores aledaños. Así, en 1994, posterior al establecimiento de Pampa Austral, las muestras de agua en la boca del canal que llega hasta Caleta Palito presentaban concentraciones de cobre disuelto que oscilaban

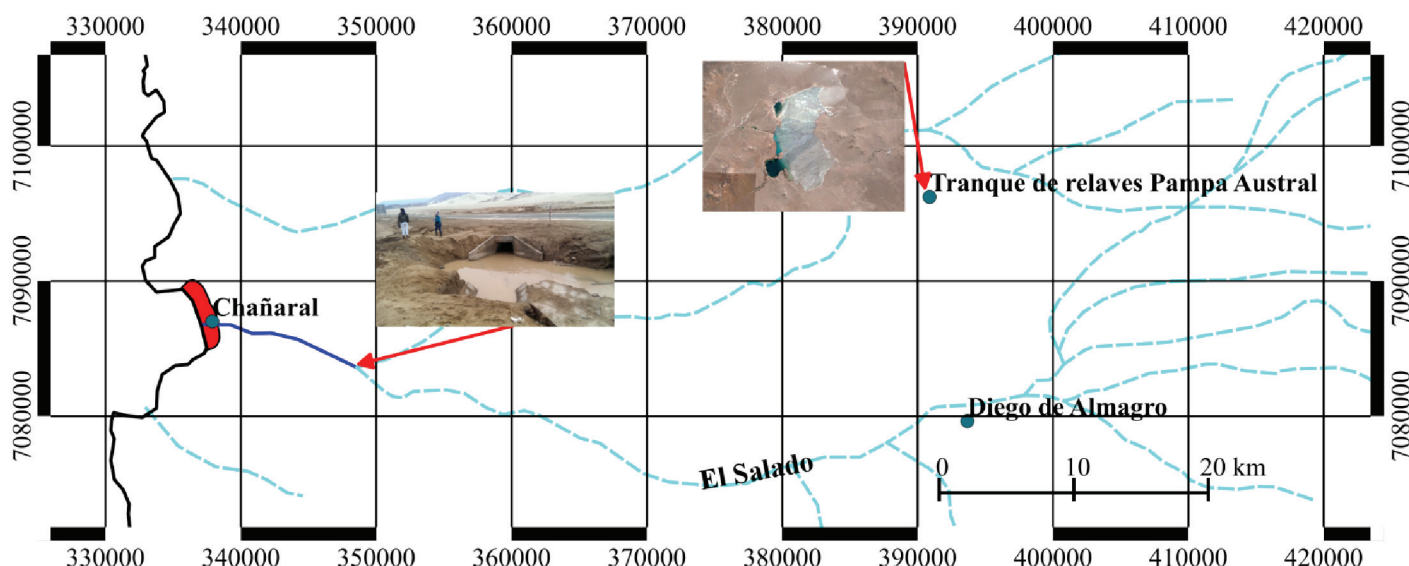


Fig. 6. Ubicación y apariencia del río El Salado en la zona de canalización (imagen de J. Tapia) y tranque de relaves de Pampa Austral (imagen obtenida de Google Earth).

entre 2.390 y $2.410 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Similarmente, las aguas intermareales tomadas a 50 m de la boca del canal presentaron concentraciones de cobre disuelto entre $26,8$ y $31,8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, diez veces más que en Caleta Zenteno ($2,9$ a $3,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) a 68 km al sur de la zona de descarga.⁽³⁾

Correa y colaboradores, en 1999, indicaron que la topografía de costa ha sido relevante en el control de la dispersión de cobre. La presencia de un promontorio, que se extiende por cientos de metros en el fondo del mar, se comporta como una barrera física que parece prevenir el transporte de sedimentos desde Caleta La Lancha hacia el norte (Caleta Coquimbo) y reduce los niveles de cobre disuelto de $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, entre estos dos sectores separados por sólo 3 km.

Igualmente, se ha determinado que las playas afectadas por los desechos de la actividad minera (Caleta Palito, Bahía de Chañaral y Caleta Agua Hedionda) presentan unos sedimentos que están conformados por arenas muy finas (entre $0,19$ y $0,24$ mm; Fig. 4b,c), transportados por la dinámica del río El Salado hasta la Bahía de Chañaral. Estos sedimentos de playa presentan molibdenita y calcopirita, una evidencia que los asocia a relaves de minería de cobre y molibdeno. Sin embargo, en zonas más al norte de la zona contaminada (Caleta Coquimbo y Puerto Pan de Azúcar), las arenas son más gruesas ($0,46$ - $0,59$ mm).⁽⁴⁾

Estudios de la geoquímica de los sedimentos de Caleta Palito, antes de la instalación de la balsa de relaves de Pampa Austral (1981-1982), daban valores elevados de cobre en sedimentos ($5.000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).⁽³⁾

La variabilidad geográfica de los efectos de la contaminación sobre la biodiversidad

Las consecuencias asociadas a la polución por aumento de la concentración de cobre en el agua y sedimentos han producido una importante pérdida de biodiversidad. Sin embargo, los análisis posteriores a la creación de la balsa de relaves de Pampa Austral, indican que las concentraciones de cobre están disminuyendo y la biodiversidad aumentando, a pesar que aún las concentraciones de este elemento en agua de mar a la latitud de Caleta Palito, donde se vierten las “aguas limpias”, tienen concentraciones mayores de cobre que sectores no expuestos a la contaminación.

Así, en 1975, la macrofauna de la playa arenosa de Caleta Coquimbo (10 km al norte de Caleta Palito) estaba compuesta por ocho tipos de invertebrados marinos. Mientras que en 1982 sólo fue posible encontrar la pulga de mar (*Emerita analoga*)⁽⁴⁾. Igualmente, antes y después (1981-1982) de la instalación de la balsa de relaves de Pampa Austral, las concentraciones de cobre en el alga *Enteromorpha compressa* eran mayores en el punto de vertido ($1260 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso húmedo; $1361 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco) que a unos 80 Km al sur, en Caleta Zenteno ($0,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso húmedo; $7,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco). Sin embargo, en 1994, tras 4 años de verter “aguas limpias” desde Pampa Austral, las concentraciones de cobre en este alga oscilaron entre $54,9$ y $71,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco en Caleta Palito y de $1,9$ a $2,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco en Caleta Zenteno⁽³⁾ (peso seco= $6,978$ + $1,075$ ·peso húmedo).⁽⁶⁾

Correa y colaboradores, en 1999, en un estudio realizado a 150 km de la zona de descarga de los desechos mineros, determinaron que el número de especies disminuye desde Caleta Palito hacia Caleta La Lancha, con la menor diversidad en esta última

localidad y no en el sitio de descarga, a pesar de que en Caleta Palito las concentraciones de cobre disuelto eran 5 veces mayores. Estos investigadores también confirmaron que los efectos del material de desecho de la mina de cobre de El Salvador permanecen confinados a una zona geográfica reducida, a pesar de la gran acumulación de sedimentos en la Bahía de Chañaral.

La recuperación de la biodiversidad comienza a ocurrir a unos pocos cientos de metros de la zona de descarga, lo que contrasta con la ausencia de algas e invertebrados cuando aún las aguas de descarte minero no eran tratadas. Así, después de la construcción de la balsa de relaves, en Caleta Coquimbo se observó el mayor número de especies de invertebrados (4 a 5 veces más alta que en Caleta La Lancha).⁽⁵⁾

Según Correa y colaboradores, el organismo dominante en la zona intermareal de Caleta Palito es el alga verde *Enteromorpha compressa*. Sin embargo, esta alga muestra claras evidencias de cambios celulares inducidos por el ambiente contaminado de Caleta Palito.

El Departamento de Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile ha realizado numerosos estudios para determinar las consecuencias que la actividad minera descontrolada ha ocasionado en la Bahía de Chañaral, Caleta Palito y sectores aledaños.

Bibliografía

- (1) Maksaev, V. (2001)
[http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/METALOGENES IS%20 DE%20CHILE.pdf](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/METALOGENES%20DE%20CHILE.pdf).
- (2) Stern, C.R. (2004) Rev. Geológica Chile, 31:161-206.
- (3) Castilla, J.C. (1996) Environ. Monit. Assess, 40:171-184.
- (4) Castilla, J.C. (1983) Mar. Pollut. Bull., 14:459-464.
- (5) Correa, J.A., J.C. Castilla, M. Ramírez, M. Varas, N. Lagos, S. Vergara, A. Moenne, D. Román y M.T. Brown (1999). En: 16th Internat. Seaweed Symp., Develop. Hydrobiol; pp. 571-581. Kain, J.M., Brown, M.T. y Lahaye, M. (Eds.). Springer,
- (6) Sladeczek, V. y A. Sládečková (1963) Limnol. Oceanogr., 8:309-311.



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



SOCIEDAD ATLÁNTICA
de Oceanógrafos

MERCURIO
EDITORIAL

Ya puedes descargar gratis el
número 1 de nuestra revista desde
la página web de la editorial:
www.mercurioeditorial.com



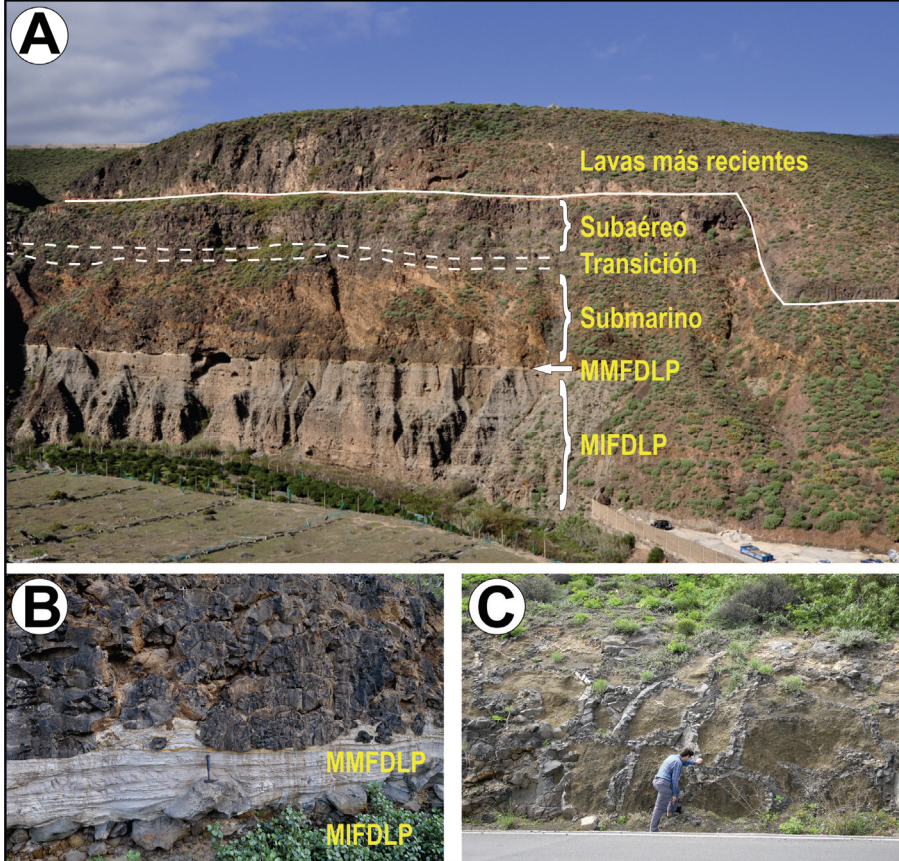
Niveles marinos antiguos grabados en rocas volcánicas

Fig. 1. Morfologías de lavas básicas. A) Formas cordadas y lisas en lavas pahoehoe (Hawái, junio 2003). B) Frente de avance de lava a'a en la isla de Fogo, Cabo Verde (febrero 2015). C) Formación de una nueva almohadilla desde el frente de avance de un tubo sumergido (Hawái, abril 2012. Foto tomada de www.telegraph.co.uk). D) Secciones transversales de lavas almohadilladas en el Barranco de Tamaraceite, Gran Canaria.

**Francisco José Pérez Torrado y
María del Carmen Cabrera Santana**

La posición del nivel del mar respecto de las tierras emergidas, correspondiente a la cota o altura cero, varía continuamente a lo largo del tiempo. Estas variaciones responden a distintas causas naturales, estando las más importantes ligadas a movimientos isostáticos y eustáticos. Los movimientos isostáticos se refieren a elevaciones y hundimientos de la corteza terrestre debido a pérdidas o aumentos de peso (erosión vs. sedimentación, deshielo vs. glaciación, etc.). Los movimientos eustáticos, por su parte, se refieren a los ascensos y descensos del nivel del mar por diferentes

causas entre las que las variaciones climáticas son las más representativas. En periodos glaciares, un gran volumen de agua queda atrapada como hielo en los casquetes glaciares, lo que conlleva a una drástica reducción del agua líquida en los océanos y, en consecuencia, una disminución de la altura del nivel del mar. Por el contrario, en periodos interglaciares, el deshielo provoca un aumento del volumen de agua líquida en las cuencas oceánicas, provocando un ascenso del nivel marino.



conocen con el término de lavas. Estas lavas al fluir y detenerse posteriormente, adoptan diferentes morfologías en su superficie atendiendo a diversos factores, entre los que destaca el ambiente (subaéreo o subacuático) en el que tiene lugar el enfriamiento. Las lavas de magmas básicos (aquellos con contenidos en SiO_2 entre 45 y 52% en peso, siendo los más abundantes en la naturaleza) adoptan tres distintas morfologías conocidas con los términos a'a, pahoehoe y lavas almohadilladas. Las lavas a'a y pahoehoe (términos hawaianos que en Canarias solemos nombrar como malpaís y lavas cordadas, respectivamente) son típicas de enfriamiento en ambiente subaéreo y sus diferencias están ligadas a variaciones en el volumen del flujo, viscosidad del magma y topografía del terreno por el que fluyen (Fig. 1A y B).

Por su parte, las lavas almohadilladas, conocidas como pillow lavas en la terminología inglesa, presentan morfologías muy características, con formas de tubo cilíndrico en sección longitudinal y esféricas en sección transversal (Fig. 1C y D). Estas morfologías se originan por el brusco enfriamiento de los márgenes de la lava al contacto con un cuerpo de agua, contrayéndose y originando tubos cilíndricos que aíslan térmicamente a la lava en su interior que, de este modo, sigue fluyendo y avanzando con la formación de subsiguientes tubos que se interdigitan y superponen entre sí.

Para más detalles sobre las distintas morfologías de lavas y los factores que las determinan véase, por ejemplo, a Lockwood y Hazlett.⁽²⁾

Deltas de lavas

Los deltas de lavas son complejas estructuras que se forman cuando flujos de lavas subaéreas penetran en el mar, modificando sustancialmente la costa y permitiendo a una isla volcánica crecer.

Los deltas de lavas muestran una típica división de sus materiales en dos partes bien diferenciadas. La parte inferior, con capas inclinadas e imbricadas hacia el mar, presenta estructuras (litofacies) típicas de enfriamiento bajo el agua como son lavas almohadilladas, hialoclastitas y peperitas. La parte superior, con capas horizontales, muestra en cambio estructuras típicas de enfriamiento subaéreo, como son lavas pahoehoe o a'a, grietas de retracción verticales, etc.⁽³⁾⁽⁴⁾

Fig. 2. Delta de lava del volcán Roque Nublo expuesto en la actualidad en el Barranco de Tamaraceite, Gran Canaria. A) Vista general y distribución de litofacies. MIFDLP y MMFDLP, Miembro Inferior y Miembro Medio, respectivamente, de la Formación Detrítica de Las Palmas. B) Detalle del contacto entre las lavas almohadilladas y los sedimentos marinos del Miembro Medio de la Formación Detrítica de Las Palmas, marcando el inicio de la secuencia estratigráfica del sector inferior submarino. C) Detalle de los tubos poligonales rellenos de hidroclastos in situ localizados en la zona de transición.

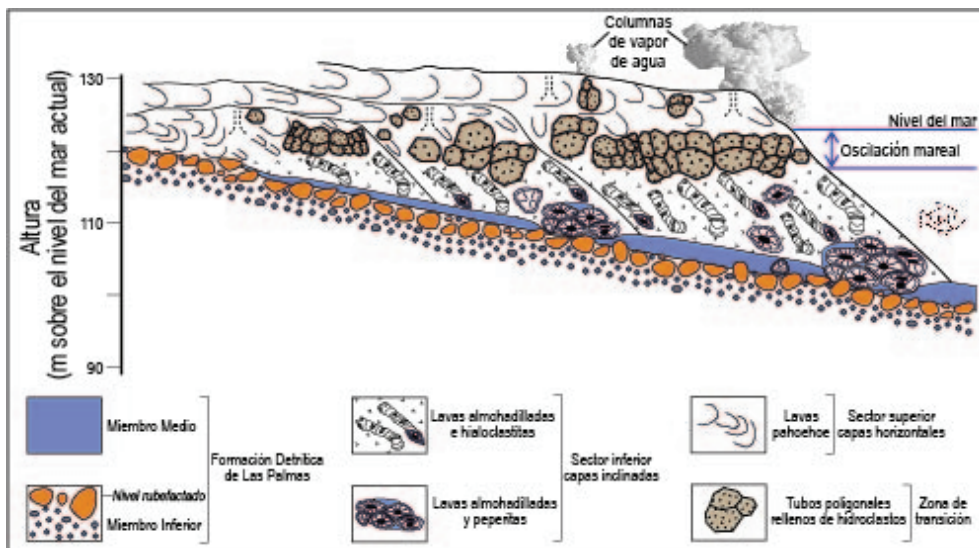
La reconstrucción en el tiempo de la posición relativa del nivel del mar es una tarea compleja que requiere de numerosos estudios pluridisciplinares. Los beneficios de esas reconstrucciones son numerosos pues permite comprender la evolución de las costas, del clima, de ecosistemas, etc.

Desde el punto de vista geológico, la reconstrucción de la línea de paleocosta normalmente está asociado a estudios del registro sedimentario⁽¹⁾. Pero el nivel del mar también puede quedar impreso en sucesiones volcánicas, como ocurre con la emersión de una nueva isla volcánica o cuando lavas subaéreas alcanzan la costa y generan deltas de lava. Este último caso ocurrió en la isla de Gran Canaria en el Plioceno, hace unos 4 millones de años (m.a.), cuando en la cumbre de la isla se erigió un gran edificio volcánico conocido como Roque Nublo.

Lavas subaéreas y lavas subacuáticas

En las erupciones volcánicas efusivas (es decir, no explosivas) los magmas emergen a la superficie terrestre en forma de "ríos" de roca fundida que se

Fig. 3. Modelo de crecimiento del delta de lava del volcán Roque Nublo en Gran Canaria. Obsérvese la posición de los tubos poligonales rellenos de hidroclastos in situ en la zona de transición, marcando, por tanto, la posición del nivel del mar hace unos 4 millones de años (figura modificada de Pérez-Torrado et al., 2015 –cita 7-).



En el tránsito entre ambas partes se localiza una estrecha zona definida por primera vez como “passage zone” por Jones y Nelson en 1970⁽⁵⁾. Esta zona de transición supone una herramienta paleoambiental de primer orden porque marca con exactitud la posición del nivel del mar en un tiempo específico. Ello es debido a que la construcción de los deltas de lavas son procesos que duran años a decenas de años, por lo que a escala geológica se consideran instantáneos.

El delta de lava del estratovolcán Roque Nublo en la isla de Gran Canaria

Después de unos 3 m.a. de inactividad volcánica en la isla de Gran Canaria (entre 8 a 5 m.a., aproximadamente), los agentes geológicos externos habían esculpido una isla parecida a la actual, con una red radial de profundos barrancos y anchas plataformas de abrasión en la costa. Los materiales sedimentarios de unos y otros forman la denominada Formación Detrítica de Las Palmas (FDLP) por situarse sus mejores afloramientos en los alrededores de la capital grancanaria. Esta formación sedimentaria se divide en varios miembros, representando el miembro inferior los depósitos de los paleobarrancos y el miembro medio los depósitos marinos costeros⁽⁶⁾. Este miembro medio, localizado a alturas entre 50 a 120 m, se formó con un nivel del mar más alto que el actual, representando un importante episodio transgresivo marino de edad Pliocena cuyo inicio puede estimarse hacia los 5 ma.

Contemporáneo con ese ascenso del nivel mar, la isla de Gran Canaria vio resurgir su actividad volcánica con la construcción de un gran edificio volcánico similar al actual Teide en la vecina isla de Tenerife. Este edificio, bautizado como el estratovolcán Roque Nublo, dominó los paisajes de las cumbres de la isla durante casi 2 m.a. (entre 4,6 a 2,8 m.a.). Un episodio efusivo importante tuvo lugar hacia los 4 m.a., donde cuando un conjunto de lavas surgidas desde el foco principal del volcán y después de recorrer más de 20 km a lo largo de los paleobarrancos de la época, alcanzaron la costa en áreas del NE, N y O de la isla. En las dos primeras áreas (entre los barrancos de Guiniguada y Tenoya) construyeron un



Fig. 4. Delta de lava en la isla de Hawaii, formando lo que en Canarias conocemos como isla baja (foto tomada en julio 2006). Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).



Fig. 5. Delta de lava formado en la isla de Hawaii (foto tomada en marzo de 2005) (USGS).



Fig. 6. Delta de lava formado en la isla de Hawaii (foto tomada en febrero de 2009) (USGS).



Fig. 7. Lavas penetrando en el mar y formando un delta de lava (isla baja) que gana terreno al mar (foto tomada en febrero de 2005) (USGS).



Fig. 8. Lavas penetrando en el mar y formando un delta de lava (isla baja) que gana terreno al mar (foto tomada en mayo de 2004) (USGS).

La localización actual de esta litofacies, en una franja constante de altura comprendida entre 118-125 m constata un periodo transgresivo del mar Plioceno muy importante que, para el caso concreto de Gran Canaria, debe conjugar tanto movimientos eustáticos como isostáticos.

delta de lava que ofrece en la actualidad magníficos afloramientos para su reconstrucción tridimensional. Se calcula que este delta de lava ganó al mar una superficie de al menos $18,7 \text{ km}^2$ e hizo avanzar la línea de costa unos $3 \text{ km}^{(7)}$.

El delta de lava presenta una sucesión estratigráfica de litofacies en la vertical común a otros delta de lavas en el mundo, con dos sectores claramente diferenciados separados por una zona de transición (Fig. 2A). El sector inferior se apoya sobre los sedimentos costeros del miembro medio de la FDLP y está conformado por un juego de capas inclinadas ($30-40^\circ$) preferentemente hacia el mar en las que se observan típicas estructuras de enfriamiento submarino, como lavas almohadilladas, hialoclastitas y peperitas (Fig. 2B). El sector superior se dispone discordantemente sobre el inferior, desarrollando capas horizontales en las que se distinguen morfologías pahoehoe y diaclasado vertical, típicos de enfriamiento subaéreo.

El elemento diferenciador del delta de lava del Roque Nublo se localiza en la zona de transición, donde se observan unas estructuras peculiares que permiten caracterizarlas como una nueva litofacies, nunca antes citada en la bibliografía.

Descubrimiento de nueva litofacies en la zona de transición

La nueva litofacies está compuesta por un empaquetamiento compacto de tubos con morfología poligonal en sección transversal, de 3 a 5 m de diámetro que muestra una clara división entre las paredes y el relleno interior (Fig. 2C). Las paredes externas, de varios centímetros a decímetros de espesor, están formadas por lava muy cristalina y poco vesicular. Por su parte, el relleno interior está compuesto por fragmentos centimétricos angulosos (hialoclastos) que se distribuyen a modo de piezas de un rompecabezas, con separaciones milimétricas entre los distintos fragmen-

tos. Este hecho pone de manifiesto que la fragmentación debió ocurrir in situ, es decir, dentro de los tubos, sin ningún tipo de transporte posterior.

Las estructuras que conforman esta nueva litofacies apuntan a una interacción explosiva agua-magma en el interior de tubos de lavas. Ello tiene que ocurrir en el primer contacto de las lavas subaéreas con el agua marina, es decir, en la misma línea de costa y bajo un régimen mareal de varios metros.

En consecuencia, a diferencia de las lavas almohadilladas e, incluso, los sedimentos marinos del Miembro Medio de la FDLF, que se formaron a distintas profundidades bajo el mar, la nueva litofacies descubierta marca la posición exacta del nivel del mar, incluso con su rango mareal, hace 4 m.a. (Fig. 3). La localización actual de esta litofacies, en una franja constante de altura comprendida entre 118-125 m constata un periodo transgresivo del mar Plioceno muy importante que, para el caso concreto de Gran Canaria, debe conjugar tanto movimientos eustáticos como isostáticos.

Como conclusión, se puede afirmar que esta nueva litofacies, bautizada por sus descubridores como tubos poligonales alimentadores de lava rellenos de hidroclastos (ver cita 7), representa una herramienta paleoambiental de primer orden para el estudio de las oscilaciones del nivel del mar.

Bibliografía

- (1) (Coe, A.L., D.W.J. Bosence, K.D. Church, S.S. Flint, J.A. Howell y R.C.L. Wilson (2003) The sedimentary record of sea-level change. The Open University & Cambridge University Press, 287 pp.
- (2) Lockwood, J.P. y R.W. Hazlett (2010). Volcanoes: Global perspectives. Wiley-Blackwell, 552 pp.
- (3) Skilling, I.P. (2002) Basaltic pahoehoe lava-fed deltas: Large-scale characteristics, clast generation, emplacement processes and environmental discrimination. En: Smellie, J.L. & Chapman, M.G. (eds) *Volcano-Ice Interaction on Earth and Mars*. Geological Society, London, Special Publications, 202: 91–113.
- (4) Smellie, J.L., T.I. Wilch y S. Rocchi (2013) *Geology*, 41:403–406
- (5) Jones, J.G. y P.H.H. Nelson (1970) *Geological Magazine*, 107:13–19.
- (6) Cabrera, M.C., D. Gimeno y F.J. Pérez-Torrado (2008) Vulcanismo y sedimentación: Interrelación en ambientes costeros. En: Pérez-Torrado, F.J. & Cabrera, M.C. (eds) *Geo-Guías 5: Itinerarios Geológicos por las Islas Canarias*. Gran Canaria. Sociedad Geológica de España, 73–88.
- (7) Pérez-Torrado, F.J., D. Gimeno, M. Aulinas, M.C. Cabrera, H. Guillou, A. Rodríguez-González, G. Gisbert y J.L. Fernández-Turiel (2015) *Journal of the Geological Society*, 172:29–43.

Enero

- ECODIM — Ecology and Diversity of Marine Microorganisms. Dichato, Chile (11-30/01/2016). <http://ecodim.imo-chile.cl/>
- CECOMA 2016. Challenges in the Environmental Management of Coastal and Marine Areas. Las Palmas de Gran Canaria. España (25-29/01/2016). <http://ecoaqua.ulpgc.es/CECOMA>
- Programa UN MAR DE CIENCIAS 2016- Proyecto de ciencias para estudiantes de Primaria, Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional. Sociedad Atlántica de Oceanógrafos (inscripción hasta el 29/01/2016). <http://www.sociedadatlanticadeoceanografos.org/un-mar-de-ciencias-edicion-2016>

Febrero

- Mares Conference on Marine Ecosystems Health and Conservation. Olhão, Portugal (01-05/02/2016). <http://www.maresconference.eu/>
- Ocean Sciences Meeting. New Orleans, Louisiana, Estados Unidos (21-26/02/2016). <http://osm.agu.org/2016/>

Marzo

- ICS2016 — International Coastal Symposium 2016. Sydney, Australia (06-11/03/2016). <http://ics2016.org/>
- Día Mundial de la Meteorología (08/03/2016).
- Oceanology International, Londres, Reino Unido (15-17/03/2016). <http://www.oceanologyinternational.com/>

Abril

- IV Congreso de Docentes de Ciencias (Biología, Geología, Física y Química). Madrid. España (12-15/04/2016). <http://www.epinut.org.es/CDC/4/>
- IX International Congress on the History of Oceanography: Discovery of changes in the oceans of the World. Adelaide, Australia (12-15/04/2016). http://www.flinders.edu.au/science_engineering/environment/activities/icho-2016.cfm
- European Geosciences Union General Assembly 2016. Viena, Austria (17-21/04/2016). <http://www.egu2016.eu/>
- Galdones Océanos 2016 en reconocimiento a la labor personal, colectiva y empresarial para el estudio y conservación de los océanos. Cierre de candidaturas el 30/04/2016. <http://www.sociedadatlanticadeoceanografos.org>

Mayo

- XXXVI Congreso de Ciencias del Mar-Chile. Universidad de Concepción, Chile (23-27/05/2016). <http://cienciasdelmar2016.cl/>
- International Association of Sedimentology Meeting of Sedimentology. Marrakech, Marruecos (23-25/05/2016). <https://www.sedimentologists.org/ims2016>

Junio

- Día Mundial de los Océanos (08/06/2016).
- VI Congreso Ibérico de Ictiología: "Ictiología: vocación por los peces de mar, los peces de río y la acuicultura." Murcia, España (21-24/06/2016). <http://www.um.es/sibic6/es/murcia/>
- Goldschmidt 2016. Yokohama, Japón (26/06-01/07/2016). <http://goldschmidt.info/2016/>

Julio

- 4th International Conference on Oceanography & Marine Biology, Brisbane, Australia (18-20/07/2016). <http://www.oceanographyconference.com/call-for-abstracts.php>
- V Simposio Internacional de Ciencias del Mar. Universidad de Alicante. España (20-22/07/2016).



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

Noticias de avances en Ciencias Marinas



Mortalidad de tiburones en las pesquerías de atunes

Desde hace mucho tiempo se conoce bien la tendencia de los peces pelágicos a agregarse en grandes cantidades bajo objetos flotantes, comportamiento que es explotado por las pesquerías de cerco dirigidas a los atunes. Sin embargo, muchas especies no objetivo son capturadas conjuntamente con los atunes, destacando entre esta a muchos tiburones que son posteriormente desechados al no tener valor comercial. Cory Eddy, Richard Brill y Diego Bernal (Fish. Res., Feb. 2016) han cuantificado que la mortalidad total de tiburones pelágicos en el Océano Pacífico oriental ecuatorial asociados con pesquerías de cerco al objeto, usando marcas seguidas por satélite. De este modo, entre 2011 y 2012, la proporción de tiburones capturados que mueren a bordo de los barcos osciló entre 15% a 70%, y la tasa de mortalidad total (incluyendo los tiburones muertos después de ser liberados) varió entre el 80% a 95%.

Los riesgos de las pesquerías certificadas como sostenibles

En los últimos años ha habido una proliferación en el mercado de productos certificados como ambientalmente sostenibles. Por lo general, los organismos certificadores proporcionan etiquetas que aseguran que estos productos han sido extraídos o producidos utilizando prácticas responsables con el medio am-

biente. De forma ideal, los consumidores pueden tomar decisiones informadas y seleccionar productos certificados frente a los no certificados. No obstante, María Hedjimichael y Troels Hegland (Fish. Res., Feb. 2016) discuten las ventajas y las limitaciones asociadas con este tipo de sistemas de certificación, usando como ejemplo las pesquerías de colín de Alaska, carbonero de las Islas Feroe y la gamba del Norte de Australia, todas ellas certificadas por MSC (Marine Stewardship Council). Observaron que los incentivos generados por las fuerzas del mercado ponen en riesgo los sistemas de certificación, cuestionando los mismos con el fin de aumentar o mantener las cuotas de mercado. Pero además, la monopolización del concepto de sostenibilidad pone en dificultad a los productores menos capaces de responder a las nuevas exigencias del mercado, así como a aquellos que responden a criterios de sostenibilidad diferentes a los establecidos por MSC u otras certificadoras.

La resiliencia de los océanos a prueba

Mare Zark, Ulf Riebesell y Thorsten Dittmar (Science Advances, Oct. 2015) han simulado el efecto que podría tener la acidificación del océano sobre la materia orgánica disuelta. Esta materia orgánica disuelta juega un papel especialmente importante, ya que se estima actúa como almacén de unos 700 Gt de carbono. Para ver su comportamiento ante un escenario de acidificación, diseñaron cinco experimentos de mesocosmos en un fiordo sueco, enriqueciendo la concentración de CO_2 hasta alcanzar la presión parcial que se espera tenga este gas en el año 2100 (900 μatm), de mantenerse la tendencia actual de emisiones de gases invernadero. La acidificación del océano afecta negativamente a la biodiversidad marina y la biogeoquímica del océano, con una incidencia especial sobre organismos con esqueletos calcáreos (corales, moluscos, etc.). No obstante, y a pesar del sistema dinámico enormemente complejo dinámico, observaron que la acidificación no afectó de forma significativa al comportamiento de la materia orgánica disuelta. Esto significa que al menos el carbono secuestrado en esta materia disuelta no se verá afectado por la acidificación del océano como consecuencia de las emisiones masivas de CO_2 a lo largo de este siglo.

El efecto del calentamiento sobre el hielo de Groenlandia

Bajo la tranquila superficie helada de Groenlandia existen ríos de hielo que están fluyendo hacia el océano, y algunos de ellos lo hacen a gran velocidad. A medida que las aguas más cálidas del océano socavan la costa, los glaciares de la zona oeste están vertiendo kilómetros de hielo al mar cada año, contribuyendo al potencial aumento del nivel del mar. Pero ahora, Carolyn Gramling (Science, Nov. 2015) ha observado que un glaciar en la costa este de la isla, parte del flujo masivo de hielo conocido como Corriente de Hielo del Noreste de Groenlandia, está siendo también afectado por el efecto del calentamiento de los océanos, y es muy probable que continúe su carrera hacia el mar en las próximas décadas.

En la estructura de las barbas de las ballenas se registran todos los eventos importantes que ocurren en sus vidas

La queratina es un componente importante de las barbas (ballenas), las estructuras en forma de peine que surgen de las mandíbulas superior de aproximadamente 14 especies de ballenas y que les sirven para atrapan el alimento. Según Kathleen Hunt y Rosalind Rolland (New England Aquarium), las puntas de las placas de estas barbas se desgastan con el tiempo, por lo que estas estructuras crecen continuamente añadiendo nueva queratina para reemplazar lo que se pierde. De este modo se van almacenando productos químicos en las mismas, tales como las hormonas o contaminantes, que están circulando en la sangre de la ballena en el momento en que se produce la renovación de estas estructuras. Eso hace que cada barba o ballena, lo cual puede haber necesitado años o décadas de crecimiento, actúe como una cápsula del tiempo donde se van grabando los eventos importantes de la vida de estos animales, tales como embarazos o exposición a situaciones estresantes (Science, 350(6266):1300-13001, 2015).

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 €

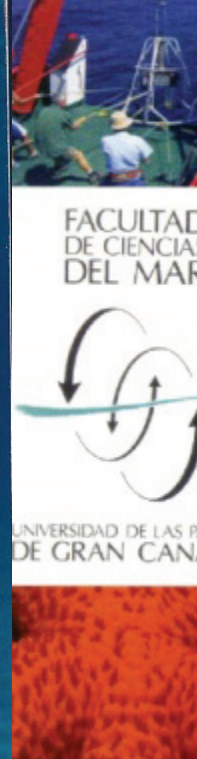
La suscripción se hará de forma anual y se proroga automáticamente si no hay una comunicación en sentido contrario por parte del suscriptor.

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.



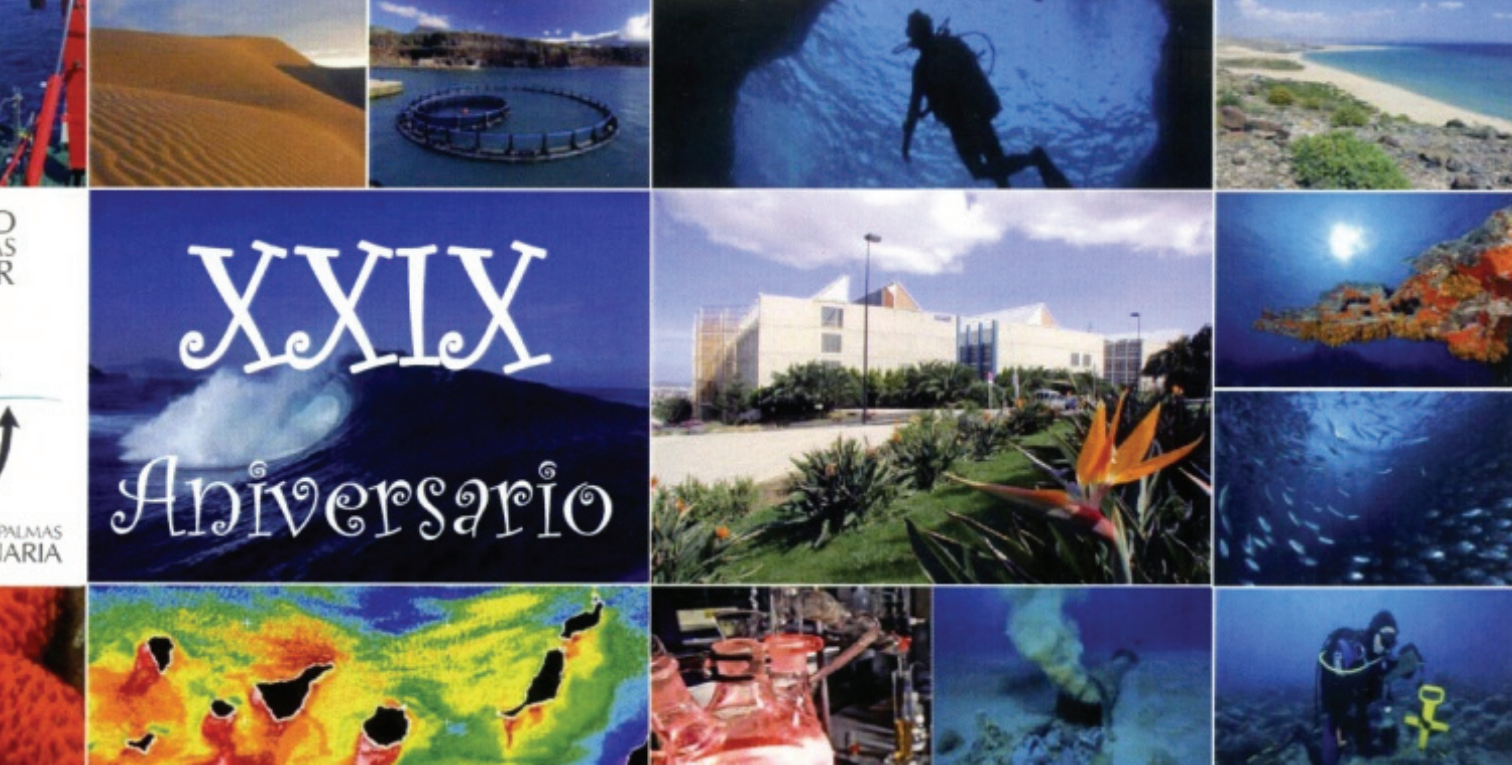
Evaluación de la calidad de los títulos de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria



Milagros Rico Santos y Pilar García Jiménez

La ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, exigida por el proceso de construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, con la Declaración de Bolonia, ha dado un nuevo enfoque a todas las universidades españolas. Desde esta visión europeísta, el diseño de los títulos requiere de un sistema de garantía de calidad (SGC) que avale la mejora continua de todas las titulaciones y los servicios que ofrece. Es el SGC, el instrumento para que esta nueva organización de las enseñanzas funcione eficientemente y para crear la confianza sobre la que descansa el proceso de acreditación de títulos. El Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre obliga a las universidades españolas a que sus títulos oficiales pasen por un proceso de evaluación que consta de una fase de seguimiento y renovación de la acreditación. Esta renovación de la acreditación consiste en una resolución dictada por el Consejo de Universidades, previo informe favorable de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) o de otros órganos de evaluación que la ley de las comunidades autónomas determinen. Los órganos autonómicos de evaluación deben estar inscritos en el Registro Europeo de Agencias de Calidad (European Quality Assurance Register, EQAR) tras haber superado con éxito una evaluación externa europea de acuerdo con los Criterios y Directrices de Garantía de Calidad en el Espacio Europeo de Educación Superior (European Standards and Guidelines for Quality Assurance of Higher Education). ANECA, por su parte, está avalada por tres sellos europeos como son ENQA, EQAR y INQAAHE.

Para conseguir la renovación de la acreditación, los centros deben someterse, en primer lugar, a una autoevaluación en la que se reflexiona y discute sobre los resultados del título (satisfacción de los estudiantes, tasa de graduación, abandono del título, alumnos que aprueban sobre matriculados, alumnos aprobados sobre presentados, reclamaciones, etc.) y de la que se obtiene un informe de autoevaluación. Posteriormente, el título se somete a una auditoría externa en la que expertos en la rama de conocimiento del título (2 profesores y un estudiante, todos con formación en calidad y en estos procesos de evaluación proporcionada por la ANECA) comprueban lo recogido en el informe de autoevaluación y los compromisos adquiridos en la memoria de verificación de los títulos mediante el análisis de la documentación del centro relativa al título (actas, documentos de coordinación, ejemplos de exámenes realizados por los estudiantes que han cursado el título, etc.) y mediante entrevistas con miembros de los distintos grupos de interés implicados en la docencia (estudiantes, profesores y personal de administración y servicios, titulados y empleadores). Si dicha resolución es positiva, la renovación de la acreditación del título será inscrita en el RUTC y el título podrá seguir impartándose, con la posibilidad de que se produzcan recomendaciones de las agencias para la mejora del plan de estudios. En caso de que la resolución no sea favorable, implicará la pérdida de su carácter oficial y de su validez en todo el territorio nacional. En este caso, la propia resolución declarará la extinción del plan de estudios.



XXIX Aniversario

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) ha apostado por la implantación de los SGC de los centros, de tal manera que es la única universidad de España que tiene cinco centros con la implantación del SGC certificada por la ANECA, es decir, evaluada positivamente después de pasar por una auditoría externa realizada por expertos en calidad de esa misma agencia de calidad.

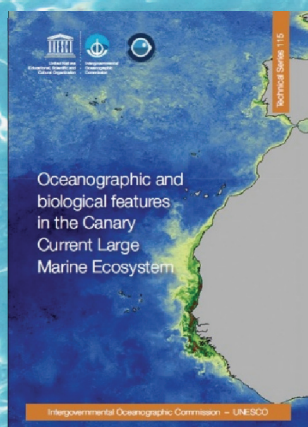
En el mes de noviembre, la ULPGC se ha enfrentado a la visita de 6 paneles evaluadores (auditores) para la renovación de la acreditación de 13 títulos oficiales y en el transcurso de 2016 se tendrá que renovar la acreditación de otros 25 títulos, en los que se está trabajando actualmente para la elaboración de los informes de autoevaluación. Todo este proceso conlleva un esfuerzo muy grande de los centros que imparten los títulos (tanto de sus equipos directivos como de todos los agentes implicados en esos títulos: estudiantes, profesores y personal de administración y servicios) y de la propia universidad como motor impulsor y gestor del proceso, que pone a disposición de los centros las herramientas necesarias.

En este marco, la Facultad de Ciencias del Mar ha obtenido el certificado de la implantación del SGC, de acuerdo al modelo AUDIT y con número de registro 17/2015, demostrando el cumplimiento adecuado de los criterios y directrices de calidad establecidos en este modelo. Si bien el certificado tiene un periodo de validez de cuatro años renovables, su vigencia está condicionada a la superación de las actividades de seguimiento anual previstas.



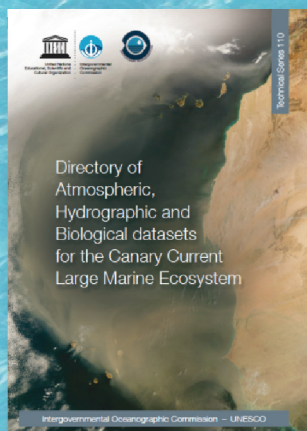
Asimismo, la Facultad ha renovado positivamente la acreditación del Máster Universitario en Gestión Costera y del Máster Universitario en Cultivos Marinos. A estas evaluaciones se suman los recientes procesos de acreditación de sus otros títulos, Máster Universitario en Gestión Sostenible de Recursos Pesqueros y el Grado en Ciencias del Mar, de los que estamos pendientes de resolución. Todos estos procesos de evaluación han impulsado la ordenación de la gestión en la facultad, aumentando la efectividad de las distintas comisiones, potenciando la participación de los estudiantes, profesores y personal de apoyo en todas las decisiones relativas a los títulos y a la facultad, y persiguiendo la mejora de la calidad de los títulos a través de un modelo de trabajo común.

Reseñas bibliográficas



Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Ecosystem. COI Technical Series 115, 2015.

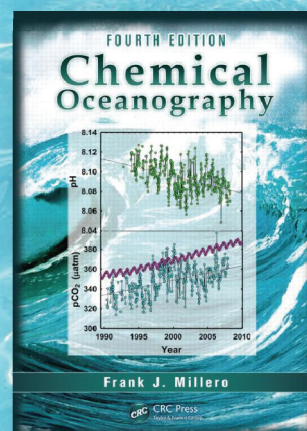
<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002332/233299E.pdf>



Directory of Atmospheric, Hydrographic and Biological datasets for the Canary Current Large Marine Ecosystem. COI Technical Series 110, 2014.

<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002314/231430e.pdf>

Comisión Oceanográfica Intergubernamental -COI- (Intergovernmental Oceanographic Commission) - UNESCO



Chemical Oceanography, Cuarta Edición

Millero, F.J., CRC Press, 2013, 591 pp.

Precio aproximado: 44,99 £

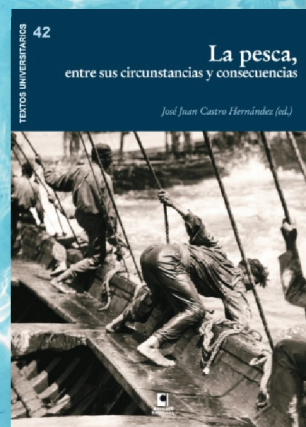
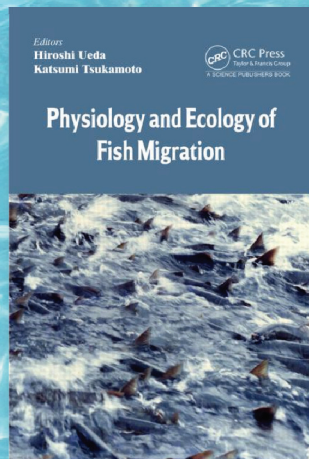
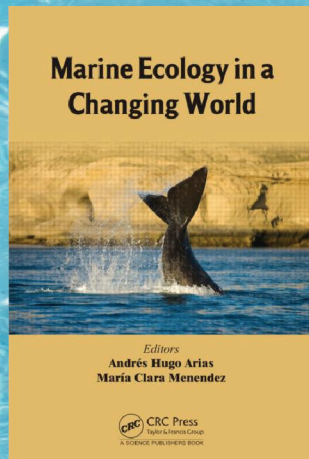
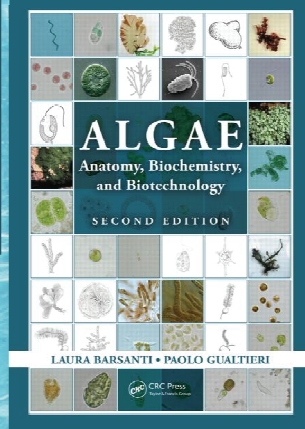
COI presenta una recopilación de trabajos orientados a la caracterización, oceanográfica y biológica, del Gran Ecosistema Marino de La Corriente de Canarias (CCLME), uno de los 4 principales sistemas de afloramiento del mundo. En este trabajo han participado 54 científicos marinos procedentes de 25 instituciones, que han logrado construir una completa caracterización del CCLME. El resultado es una descripción detallada de: (i) la geomorfología de esta parte del océano y sus materiales geológicos; (ii) la estructura hidrográfica y la circulación oceánica; (iii) la caracterización biogeoquímica del ecosistema marino; (iv) la vida en el mar; (v) y su variabilidad interanual, interdecadal y a largo plazo. Se presenta un resumen de las características oceanográficas y biológicas del CCLME, en base a la revisión del conocimiento científico acumulado durante décadas de investigación en esta región, combinada con nuevos datos suministrados por los autores de cada uno de los artículos.

Por otra parte, la mayoría de los datos incluidos en el directorio presentado también por la COI han sido obtenidos a partir de mediciones directas realizadas en diferentes campañas de investigación o programas de muestreo puntuales en el tiempo y el espacio. El directorio también incluye datos de teledetección que dan la cobertura sinóptica y espacial necesaria para la realización de modelos y predicciones. También incluye indicadores climáticos que sirven como índices de condiciones atmosféricas a gran escala espacial, tales como el índice NAO o el índice de afloramiento. Finalmente el directorio vincula algunas bases existentes de datos ambientales y biológicos, con registros derivados, interpolados o brutos, que pueden ser analizados y que pueden ser útiles como aproximaciones a diferentes características de los ecosistemas del CCLME.

En los últimos diez años, se han iniciado una serie de nuevos programas oceanográficos a gran escala. Estos incluyen el Programa de Variabilidad Climática (CLIVAR) y el Programa de Geoquímica de Metales Traza (GEOTRACES). Estos estudios y proyectos futuros generarán una gran cantidad de información sobre la biogeoquímica de los océanos del mundo. En este contexto, la 4ª edición de *Chemical Oceanography* mantiene la visión que lo ha convertido en un favorito de los estudiantes, profesores, investigadores y otros profesionales de las ciencias del mar, geoquímica y química ambiental. Esta nueva edición presenta actualizaciones sobre temas que afectan a la salud del medio marino, tales como la acidificación de los océanos, el sistema del carbonato en el océano, ofrece una nueva definición de la salinidad y una nueva ecuación de estado del agua de mar en base a recientes investigaciones, así como describe la nueva ecuación termodinámica del estado del agua de mar.

Un libro de referencia sobre la biología de las algas. Examina los taxones y las estructuras más importante de algas de agua dulce, marinas y terrestres. Abarca desde aspectos relativos al papel histórico de las algas, su taxonomía y ecología, hasta sus posibilidades como productos naturales. Esta segunda edición, completamente revisada, contiene muchos cambios y adiciones, entre las que podemos destacar los espectros de absorción de clorofilas y pigmentos accesorios de todas las divisiones de algas, así como una actualización de las toxinas y moléculas bioactivas de las algas. También se analizan las aplicaciones biotecnológicas, incluyendo posibles productos nutricionales y farmacéuticos.

Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology, Segunda Edición
Barsanti, L. y P. Gualtieri,
CRC Press, 2014, 361 pp.
Precio aproximado: 76,99 £



Marine Ecology in a Changing Word

Arias, A.H. y M.C. Menéndez
(eds.), CRC Press, 2013, 270 pp

Este libro examina cuestiones ecológicas clásicas relacionadas con los ecosistemas marinos en el contexto del cambio climático. Se examinan fundamentos de la ecología marina como la estabilidad de los ecosistemas, calidad del agua y la biodiversidad en el contexto de los cambios que están teniendo lugar a nivel mundial. Además, se revisan los principales ecosistemas marinos en el mismo contexto, desde los productores primarios hasta los grandes mamíferos marinos. En los diferentes capítulos se analiza los consumidores primarios, las comunidades bentónicas, las comunidades de algas marinas y ecología de los humedales, las pesquerías y las aves marinas.

Physiology and Ecology of Fish Migration

Ueda, H. y K. Tsukamoto,
CRC Press, 2013, 196 pp.
Precio aproximado: 65,99 £

De las casi 30.000 especies de peces conocidas, únicamente 156 son realmente migratorias pero la mayoría de ellas conforman los recursos pesqueros mundiales más importantes. Este libro presenta los resultados de investigaciones novedosas sobre la fisiología y ecología de la migración de los peces. El libro se centra en los salmones, anguilas, lampreas y el atún rojo, examinando el comportamiento migratorio, el desove y la ecología de este comportamiento.

La Pesca, entre sus circunstancias y consecuencias

Castro-Hernández, J.J. (ed.), Textos Universitarios 42, Anroart Ediciones, 2013
Precio aproximado: 25 €

La evolución de la actividad pesquera a lo largo de la historia ha estado acompañada de un importante desarrollo tecnológico y un fracaso en la gestión, que ha desembocado en una situación crítica en muchas pesquerías del mundo. Actualmente, y de forma general en todos los océanos, se estima que la biomasa de las especies sometidas a explotación es inferior al 20% de la que había en el periodo preindustrial. En el libro, además, se describen aspectos relacionados con el desarrollo reciente y futuro de la pesca, el impacto de las artes sobre especies y ecosistemas, la modelización matemática entorno a la dinámica poblacional de la especie objeto de captura, el impacto de la pesca deportiva y de especies ornamentales, los efectos de las variaciones del clima y del cambio climático, el impacto de la contaminación de las aguas, la configuración de las comunidades de pescadores, la realidad de la acuicultura marina como alternativa, así como el mercado y la economía pesquera.



**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**