

# OKEANOS

Revista de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

Nº 1 julio 2015

ISSN: 2444-4758



P.V.P. 4,00 €

## Después de la marea negra

Cómo responden los ecosistemas con el  
paso del tiempo

La imagen de la acuicultura hoy en día

La acústica en la investigación pesquera

Propuesta de mejora para poblaciones algales de Marruecos

Contaminación y eutrofización en el litoral marino

Museo de Otago: Mar y Cultura

La fijación del nitrógeno en los océanos

Valía de los sebaales en las Islas Canarias







Estimados amig@s, lector@s, y oceanógrafo@s,

con gran satisfacción les presentamos el primer número de la revista OKEANOS. En el 2012, fruto del entusiasmo de la reunión para celebrar el XXV aniversario de los Estudios de Ciencias del Mar en España, y de la primera promoción de Licenciados por la Universidad Española, pusimos en marcha la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos, y entre nuestras metas nos propusimos publicar una revista de divulgación científica.

Por fin, podemos hacer realidad este objetivo, con el que esperamos acercar a todos los públicos algunas cuestiones de actualidad de las Ciencias Marinas y la Oceanografía, a lo largo y ancho de la geografía costera y marina.

Desde ahora los invitamos a participar.

Saludos cordiales,

*Vicente Benítez Cabrera*

Presidente de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

**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 Julio López. **Coordinadores de la sección bibliografía y fuentes de información:** Avelina Fernández Manrique de Lara. **Artículos de divulgación:** Antonio Barrera Luján, Mar Benavides Gorostegui, Angela M<sup>º</sup> Caballero Alfonso, José Juan Castro Hernández, Houda Chiheb, Fernando Espino Rodríguez, Pilar García-Jiménez, Ricardo Haroun Tabraue, Leopoldo O'Shanahan Roca, Hassane Riadi, Rafael Robaina Romero, Fernando Tuya Cortés y José Manuel Vergara Martín. **Material fotográfico:** Aketza Herrero Barrencua y Yeray Pérez González. **Entrevista:** Theodore Train Packard.

**Mantenimiento web de la Revista:** Francisco José Machín Jiménez.

**Edición papel y online:** Mercurio Editorial. Correo electrónico: [sao.oceanos@gmail.com](mailto:sao.oceanos@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)**



## 04 PERSONAJES/EFEMÉRIDES

Carlos Bas I Peired (José J. Castro Hernández)

## 06 La imagen de la acuicultura hoy en día

(José Manuel Vergara Martín)

## 15 La Acústica en la Investigación Pesquera

(Antonio Barrera Luján y José J. Castro Hernández)

## 20 Propuesta de mejora para las poblaciones algales de Marruecos: Banco de Semillas

(Houda Chiheb, Rafael Robaina, Hassane Riadi y Pilar García-Jiménez Romero)

## 22 Dr. Malcolm R. Clarke (1930-2013), *in memoriam*

(Vicente Hernández García)

## 24 Contaminación y Eutrofización en el litoral marino

(Leopoldo O'Shanahan Roca)

## 29 Museo de Otago (Nueva Zelanda): Mar y Cultura

(Ángela M<sup>a</sup> Caballero Alfonso)

## 32 *Okeanos* de fotos

(Aketza Herrero Barrencua y Yeray Pérez González)

## 44 La fijación de nitrógeno en los océanos: cruzando fronteras

(Mar Benavides Gorostegui)

## 48 Valía de los 'sebadales' en las Islas Canarias: una aproximación a su valor pesquero

(Fernando Espino Rodríguez, Ricardo Haroun Tabrave y F. Tuya Cortés)

## 51 Después de la marea negra: Como responden los ecosistemas con el paso del tiempo

(José J. Castro Hernández)

## 56 Entrevista a Theodore T. Packard

(Juan Francisco Betancort Lozano y Alexandre Redondo Arolas)

## 59 Noticias de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

## 60 Reseñas bibliográficas

## 64 Agenda SAO

# Editorial

Bienvenidos a bordo de *Okeanos*, la Revista de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos, la nueva plataforma difusiva de las Ciencias del Mar. Esta publicación semestral está dirigida a toda persona interesada en las Ciencias del Mar, sea o no profesional. El principal propósito es ofrecer un foco de atención a las actividades desarrolladas por los miembros de la comunidad oceanográfica. En esta sociedad de la información y del conocimiento donde todo "lo que no se comunica, no existe" (García Márquez), nace una nueva alternativa directa, y con base científica, donde poder exponer las ideas, las opiniones y los conocimientos de toda aquella persona ligada de una manera u otra con las Ciencias del Mar, desde estudiantes de grado y posgrado, hasta los profesionales e investigadores del sector público y privado.

En estos días, en los cuales la dedicación presupuestaria destinada a la I+D+i española se sitúa cerca de la zona hadal, es difícil pensar en un afloramiento a corto plazo que genere gran productividad científica. Así pues, en este periodo de incertidumbre surge aún más, la necesidad de ofrecer visibilidad a las actividades de los profesionales de las Ciencias del Mar, gente cualificada y apasionada por el medio marino.

El proyecto es una realidad gracias a la participación entusiasta y altruista de especialistas de las Ciencias del Mar de diversos ámbitos, tanto del sector empresarial como de la investigación. Además de contar con la inestimable colaboración de profesionales del mundo de la edición como es el caso de Mercurio Editorial. Esperamos que la nueva singladura recorra muchas páginas y permita recalcar en puertos donde acoger a bordo numerosos expertos y amantes de las Ciencias del Mar que anhelan contribuir en cualquiera de las secciones de la publicación.



[www.mercurioeditorial.com](http://www.mercurioeditorial.com)



# Carlos Bas i Peired

## La pesca como ciencia

**José J. Castro Hernández (Dr. en Ciencias del Mar)**

Carlos Bas i Peired, con el espíritu y curiosidad científica propia de los naturalistas europeos de los siglos XVIII y XIX, ha sido uno de los impulsores de la moderna investigación marina en España. Su papel tanto, como investigador, coordinador e impulsor de equipos de científicos y responsable de centros de investigación (e.g.: Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona) permitió dar una dimensión internacional a la investigación marina española, concretamente al estudio de las pesquerías, integrándola en el contexto europeo.

El Dr. Bas, nacido en Barcelona en 1922, puede ser considerado uno de los padres de la Biología Pesquera en España y, a pesar de contar con 92 años, continúa incansablemente trabajando en el desarrollo de nuevos conceptos sobre esta disciplina. Tanto es así, que en 2002 publicó "El Mar Mediterráneo: recursos vivos y explotación" (traducido al inglés en 2006) (1) que sin duda es una referencia obligada en el estudio sinóptico de la pesca en el Mediterráneo; y entre 2003 y 2010 fue coautor de una serie de trabajos sobre una nueva visión de la dinámica de poblaciones, a través de relaciones no lineales y fractales de las variaciones espacio-temporales de las poblaciones de peces y su conexión con los cambios del clima (2). En esta se introduce, matemáticamente, el concepto de capacidad de carga variable en los modelos de evaluación de stocks. Por otra parte, su expresión de que: "*Los pescadores no salen a pescar peces, sino dinero*", pone de relieve como la sociología, incluyendo en ella los sistemas económicos, han de ser siempre tenidos en cuenta como un elemento fundamental para implementar una adecuada estrategia de gestión pesquera, poniendo el acento, por encima de todo, en las interrelaciones entre los recursos y el medio ambiente (incluyendo a los hombres en este último concepto).

Se licenció en Ciencias Naturales en 1946 (Universidad de Barcelona) y se doctoró en 1953 (Universidad de Madrid). Entre sus múltiples méritos científicos destaca el haber sido nombrado Director

del Laboratorio de Biología Marina de Blanes en 1950, en 1953 se incorporó como Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, alcanzando la categoría de Profesor de Investigación en 1972. En 1958 tomó posesión como Secretario del Comité de Recursos Marinos del Consejo Internacional para la exploración del Mar de la FAO, organización dependiente de la ONU, comité del cual, además, fue vicepresidente en 1962 (hasta 1964) y presidente en 1972. En 1977 fue nombrado presidente del Comité Científico Asesor del Consejo Internacional de las Pesquerías del Atlántico Sureste (ICSEAF). En 1980 fue presidente del Centro Nacional de Investigaciones Pesqueras y, tres años más tarde, Director del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (hasta 1987). Posee la Orden al Mérito Civil y es miembro, desde 1990, de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.

### Inicios en la botánica

Aunque sus inicios científicos estuvieron inclinados hacia la botánica, pronto mostró un claro interés por la biología pesquera y las pesquerías, área en la que ha publicado más de 100 trabajos, entre artículos y libros. Ha sido director de casi una treintena de tesis doctorales, la mayoría de las cuales pertenecen a los que hoy son destacados científicos marinos, tanto investigadores como profesores universitarios, en España y algunos países hispanoamericanos.

Supo conjugar su perfil netamente investigador con la actividad docente y divulgativa, de modo que en 1989 fue nombrado Profesor Honorífico de la Universidad Politécnica de Cataluña y en 1995 Rector Honorario de las Aulas del Mar de la Universidad de Murcia. Tras su jubilación, entre 1989 y 1993, impartió docencia sobre dinámica de poblaciones y pesquerías en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), universidad que lo nombró doctor *honoris causa* en 2005. Fue también a esta última universidad a la que donó toda su biblioteca personal, con más de quinientos volúmenes, lo que pone de manifiesto la profunda vinculación del Profesor Bas con Canarias.



## Bibliografía

- (1) Bas, C. 2002. El Mar Mediterráneo: recursos vivos y explotación. Ariel.
- (2) Solari, A.P. et al. 2010. ICES J. Mar. Sci., 67: 1565-1573.

Durante su etapa como profesor universitario en la ULPGC hizo gala de una envidiable capacidad de ver el medio marino, y las ciencias aplicadas a su estudio, como un conjunto dinámico, con una perspectiva de conjunto que muchos científicos quisieran para sí. Esta visión global, y su cercanía con los jóvenes científicos, le ha permitido poner en desarrollo ideas totalmente revolucionarias en el mundo de las pesquerías, donde aún existe un importante dominio de las escuelas más clásicas. Por otra parte, en cuanto a la importancia geoestratégica de las Islas Canarias, y de la Facultad de Ciencias del Mar de la ULPGC, siempre ha puesto énfasis en la necesidad de apoyar el desarrollo de la investigación marina desde las Islas, al ser éstas las que ofrecen las mejores oportunidades al estar inmersas en la Corriente de Canarias y uno de los sistemas marinos más productivos e importantes del Planeta, y que ellas mismas se configuran como el mejor buque oceanográfico que existe. Esta visión del potencial de Canarias, en lo que a investigación marina se refiere, la desarrolló no sólo en su etapa como docente en la ULPGC, sino a lo largo de las múltiples campañas oceanográficas que realizó para el estudio de las pesquerías del Banco Sahariano, Angola, Namibia y Sudáfrica. Un ejemplo de ello fue su paso como asesor del Cabildo Insular de Gran Canaria para la creación, en 1972, del ya desaparecido Instituto de Investigación Pesquera de Taliarte.

Carlos Bas, de profunda convicción religiosa, tiene una perspectiva ampliamente cosmopolita, como buen científico que es, pero sin duda es un profundo enamorado de su tierra, Cataluña. Él siempre se ha definido a sí mismo como: *"catalán, catalán, y más catalán, pero también canario"* (frase que incluso dijo durante su nombramiento como doctor *honoris causa*), como definición de sus sentimientos. Sin olvidar su tierra, siempre ha mantenido una visión amplia y abierta, nunca excluyente. En este sentido, hay una frase que define, en cierto modo, su forma de pensar: *"Usted. crezca como persona y su tierra crecerá con Usted, es lo mejor que puede hacer por sus islas"* (me dijo).

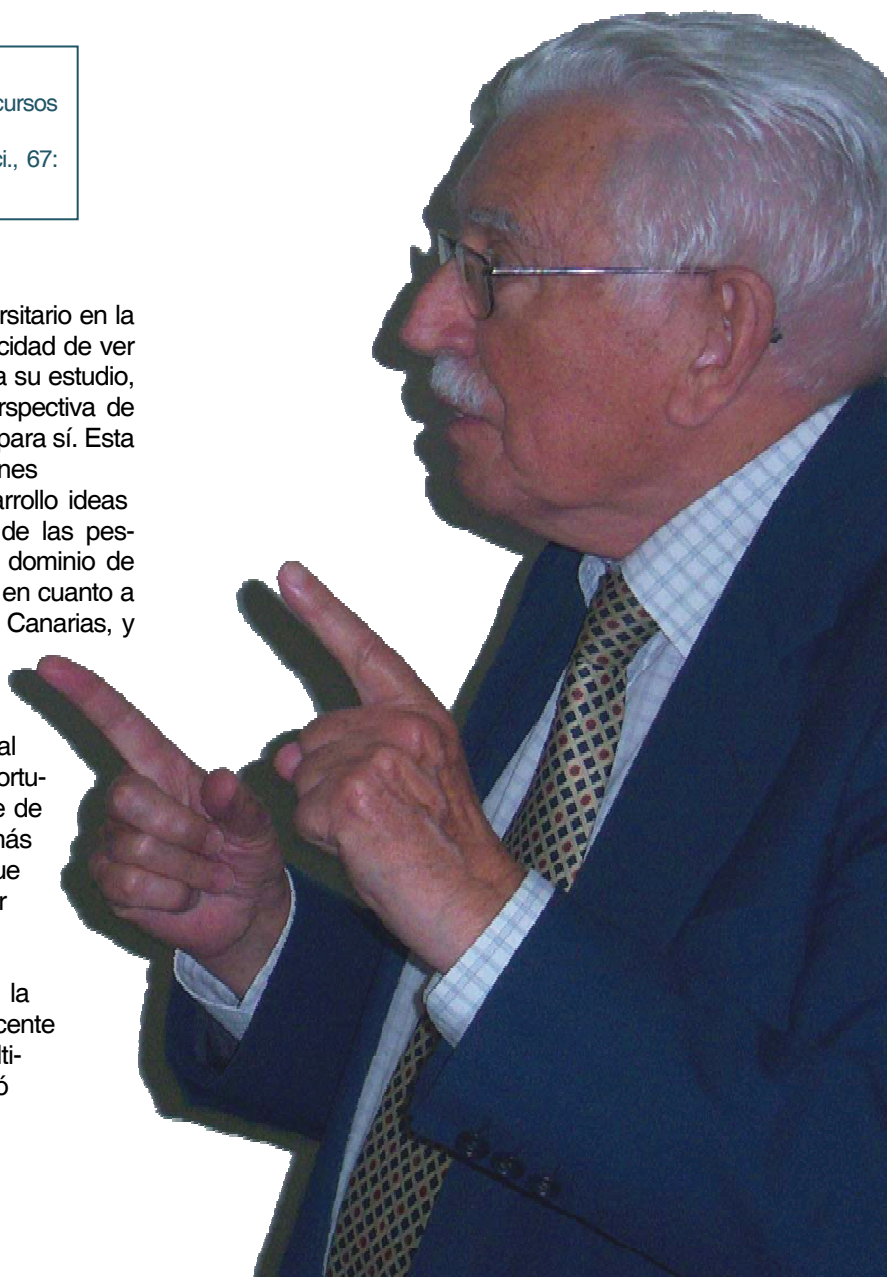


Fig. 1.. El Dr. Carlos Bas Peired, en presencia del Rector de la ULPGC Dr. Manuel Lobo, en el momento de leer su discurso durante el acto de investidura como doctor *Honoris Causa* (Fuente: archivo fotográfico ULPGC, junio de 2005).



# La imagen de la acuicultura hoy en día

José Manuel Vergara Martín

En este mundo, resulta difícil que la imagen que se tiene de un individuo o de un colectivo sea objetiva. Quizás siempre ha sido así, y puede que nuestra naturaleza lo haga inevitable. Cuando se descubrió que la “opinión pública” podía ser manipulada a través de los medios de comunicación de masas, distintos colectivos sociales han venido utilizando esta poderosa herramienta para defender sus intereses. Si el que una parte de nuestra alimentación sea carnívora es un hecho, también lo es el que en algún momento tendremos que sacrificar a los animales cuya carne consumimos. Mientras la imagen que tenemos acerca de las granjas de animales terrestres que usamos con este fin es bastante neutra (excepción hecha de colectivos vegetarianos radicales), la acuicultura, que consiste en criar también en granjas a peces y otros animales y vegetales acuáticos para nuestro consumo, goza en la actualidad de una imagen peor que la del primer tipo de instalaciones.

El sector de la acuicultura tiene una variada imagen dependiendo de los países. En Europa, mientras que en los países nórdicos la acuicultura se percibe como una industria que controla de una manera segura la calidad del producto, en Italia por ejemplo, difícilmente se acepta un pez cultivado en la dieta. En Francia y España, los peces capturados (considerados como “salvajes y naturales”) poseen una mejor imagen que los producidos en granjas. Pero a pesar de estas diferencias entre países, la acuicultura marina posee en general una imagen negativa en la opinión pública europea, compartiendo recriminaciones generalizadas como: “actividad contaminante”, “sin control sobre la descarga de productos químicos al medioambiente”; su identificación durante un tiempo con el problema de las “vacas locas”; “tiene un impacto visual que afecta negativamente a nuestras costas”; puede representar una “contaminación genética para el medioambiente”, etc. Así que, en general, esta depreciación de la imagen de la acuicultura se basa principalmente en aspectos relacionados con su impacto medioambiental.

*«En este mundo traidor / nada es verdad ni mentira / todo es según el color / del cristal con que se mira».*

*Ramón de Campoamor.*

## LA IMAGEN NEGATIVA SEGÚN LOS DIFERENTES GRUPOS DE INTERÉS

### Los francotiradores

En un artículo de opinión de Fred Pearce, periodista *freelance*, consultor medioambiental de la revista *New Scientist*, en *The Guardian* (1), dibuja una imagen muy negativa de la Acuicultura. En concreto, relata sus pesquisas acerca del origen de los langostinos de su plato de curry del sábado por la noche. Cuenta que en las últimas dos décadas los grandes terratenientes han convertido Bangladesh en uno de los principales países productores en granjas del langostino tigre (*Penaeus monodon*).

Según Pearce, este hecho ha acarreado toda una serie de efectos negativos, tanto ecológicos como sociales, debido al desarrollo en este país de mafias que controlan estas granjas de langostinos, incluyendo no menos de siete intermediarios diferentes entre los granjeros y el consumidor. De esta manera, continúa, el privilegiado estilo de vida occidental requiere de la existencia de una enorme multitud de esclavos subdesarrollados a lo largo de todo el mundo. De acuerdo con el autor, los langostinos son parcialmente responsables de la actual crisis alimentaria en Bangladesh, Vietnam y otros países del Sudeste Asiático: “En la década de los 80, el Banco Mundial apoyó las exportaciones desde muchos países en vías de desarrollo con el fin de obtener divisas, y el gobierno de Bangladesh recibió estas ayudas para desarrollar esta nueva industria del langostino, que ahora da trabajo a miles de personas, pero con ello han dejado de utilizarse miles de hectáreas de terreno de agricultura, y ha dejado sin tierras a cientos de miles de personas”.





Finaliza su artículo argumentando que, desde el punto de vista ecológico, la construcción de estanques en cientos de granjas de engorde de langostino se ha realizado a costa de la destrucción de bosques de manglar, y el uso intensivo del agua ha incrementado la intrusión salina, lo que ha afectado negativamente a miles de agricultores. Además, concluye, en muchas zonas donde proliferan las granjas de langostinos, las comunidades locales poseen ahora menos animales domésticos y cultivan menos árboles frutales.

### Las ONGs

Como la mala imagen de la acuicultura se basa principalmente en aspectos de su impacto medioambiental, no es de extrañar que prácticamente todas las ONGs de carácter ecologista se dediquen a denunciar permanentemente a la acuicultura y sus negativos efectos sobre el medio natural. Veamos algunos ejemplos, en un rango desde los moderados hasta los muy radicales.

- En un artículo titulado “¿Por qué a los americanos no les gusta la Acuicultura?”, Keith Hayse-Gregson y

James Diana (2) argumentan como respuesta a su pregunta que uno de los motivos pudiera ser la insignificante presencia que la acuicultura tiene en la vida de los americanos (Norteamérica produce sólo alrededor del 2% de la acuicultura mundial).

- En otro artículo de Jeniffer Welsh: “La desagradable verdad acerca de los peces y langostinos procedentes de granjas asiáticas”, se citan algunos ejemplos del tipo de desagradables atajos que las granjas Asiáticas de peces y langostinos realizan para ahorrar algunos dólares. Entre los ejemplos que se citan figuran:

- “Las Tilapias en las granjas chinas son alimentadas con excrementos de cerdo y ganso, a pesar de contener salmonella y hacer a la tilapia más susceptible a enfermedades.
- En Vietnam, los langostinos cultivados y comercializados en el mercado norteamericano, se mantienen con montones de hielo fabricado con agua en la que abundan bacterias patógenas.
- En la misma compañía vietnamita “hay basura sobre el suelo, y las moscas vuelan en abundancia





sobre las cestas de los langostinos procesados, que se amontonan en una habitación sin refrigerar”.

- Como los granjeros en EEUU, los granjeros asiáticos usan grandes cantidades de antibióticos, muchos de los cuales tienen su uso prohibido en EEUU.
- La cadena ABC publicó que en un estudio a lo largo de todo EEUU, de 30 muestras de langostinos importados de granjas asiáticas, tres de las muestras contenían niveles detectables de estos peligrosos antibióticos.
- De acuerdo con un reciente estudio publicado por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, una cuarta parte de los brotes de enfermedades causadas por la alimentación entre 2005 y 2010 se debieron a la ingesta de peces y mariscos importados, representando un porcentaje mayor que el originado por cualquier otro producto alimenticio”.

### **Greenpeace (3): Acuicultura Sostenible**

Esta organización no gubernamental ecologista argumenta sobre la acuicultura:

“La acuicultura no es una solución a la sobrepesca. Muchas prácticas modernas de acuicultura son manifiestamente insostenibles. Así, por ejemplo, el rápido crecimiento y la expansión de la acuicultura intensiva de especies como el salmón y el langostino, ha producido amplios efectos de degradación medioambiental, así como el desplazamiento de comunidades costeras de pescadores y granjeros. La acuicultura insostenible también ha impactado negativamente sobre la disponibilidad y seguridad

del alimento de países costeros en desarrollo, ya que el desarrollo de la acuicultura a menudo bloquea el acceso a territorios comunitarios, previamente usados por la gente local para la pesca y el marisqueo, acaparando por otro lado fuentes tradicionales de alimento para su uso en la producción de harinas y aceites de pescado que son ahora empleados en la fabricación de piensos para la acuicultura”.

Según esta organización, los principales problemas existentes con la acuicultura son:

- “La captura de especies marinas salvajes, incluyendo ejemplares juveniles vitales para el crecimiento de los futuros stocks, incrementando así la presión sobre los stocks salvajes y generando importantes implicaciones negativas sobre la seguridad alimentaria;
- Las harinas de pescado y los así llamados “resos de pescado” empleados en la fabricación de piensos, son a menudo fuente de alimentación principal de poblaciones locales;
- La liberación de residuos orgánicos, que por ejemplo actúan como nutrientes desencadenantes de dañinos blooms algales, y el vertido de emisarios tóxicos en los océanos;
- La destrucción de ecosistemas costeros, el desplazamiento de comunidades costeras y el agotamiento de fuentes de agua dulce para la construcción de estanques de acuicultura”.
- En su informe “Desafiando a la industria de la acuicultura en sostenibilidad”, Greenpeace ofrece consejos al sector de cómo convertirse en sosten-

nibles, y ofrece una guía a mayoristas, minoristas y consumidores de alimentos acuáticos de cómo comprobar y asegurarse de que sólo compran productos de acuicultura procedentes de instalaciones sostenibles.

### **Las organizaciones más radicales: los vegetarianos**

Se incluye aquí un informe excepcionalmente negativo sobre la acuicultura publicado por el colectivo vegetariano “Gente por el trato ético de los animales (PETA)” (4), que ilustra los extremos, frecuentemente ridículos (incluso hilarantes), a los que se puede llegar en este tipo de críticas:

“Una gran diversidad de productos químicos y la ingeniería genética se emplean para acelerar el crecimiento y cambiar las conductas reproductivas de los animales acuáticos en las granjas. En éstas, intensamente pobladas, los peces pequeños son acosados, asesinados y devorados por los peces más grandes, así que los granjeros los clasifican continuamente para asegurarse de que aquéllos que crecen más rápido se agrupan con los de su mismo tamaño.

En cada clasificación los peces son capturados con redes o bombeados para su traslado a otros tanques, haciéndolos pasar a través de una serie de barras y parrillas con espacios variables de tamaño con el fin de dividirlos por tallas y redistribuirlos en diferentes jaulas o tanques. Esta práctica resulta extremadamente estresante para los peces, produciendo en ellos múltiples lesiones en la epidermis, y haciéndolos muy vulnerables a enfermedades.

Son muy frecuentes tasas de mortalidad elevadas, enfermedades, deformidades e infecciones por parásitos, y muy a menudo hasta el 40% de los peces acaban ciegos (un problema que ni se aborda al no representar pérdidas económicas para el granjero).

Muchos peces enferman debido a las condiciones de estrechez y falta de espacio en las granjas, ya que están diseñados para navegar por vastos océanos y usar todos sus sentidos para ello. Sus apretados encierros inhiben su habilidad para nadar correctamente, ocasionándoles choques entre ellos y contra los bordes de sus tanques o jaulas, causándoles llagas y daños diversos en las aletas.

Los granjeros deben mantener la mayor cantidad de peces en los volúmenes más pequeños posibles con el fin de incrementar sus beneficios. Así, las granjas de salmones están tan pobladas (con al menos 50.000 ejemplares en cada jaula), que un pez (él o ella) de medio metro de longitud, pasa su vida entera en un espacio del tamaño de una bañera. En las granjas de truchas la situación es incluso

peor, con hasta 27 ejemplares adultos en el mismo espacio de un salmón.

Muchas de las especies de peces cultivados son carnívoras, lo que significa que otros peces deben ser capturados en nuestros ya exhaustos océanos para alimentar a estos peces de granja. Así, son necesarios más de 2 kg de peces capturados para producir 0,5 kg de salmón o lubina cultivados. Los granjeros han comenzado incluso a alimentar con harinas y aceites de pescado a peces que naturalmente comen sólo plantas, con el fin de hacerlos crecer más rápidamente.

Los granjeros utilizan incluso piensos conteniendo potentes productos químicos y antibióticos para ayudar a los peces a sobrevivir a las mortíferas enfermedades originadas por la superpoblación y la deteriorada calidad del medio en que viven. Es muy probable que estos piensos sean la causa de los elevados niveles de contaminación por Policlorobifenilo (PCB) y dioxinas encontrados en peces de granja, siete veces superiores a los ya peligrosos niveles encontrados en sus congéneres salvajes.

Los residuos contaminantes liberados por las piscifactorías de jaulas (excrementos, pienso cargado de productos químicos, y enjambres de parásitos) se propagan por el océano circundante, y las enfermedades rampantes en el interior de las jaulas son contagiadas a los peces salvajes del área, incrementando en algunos casos la incidencia de piojos marinos hasta mil veces. Estos parásitos se alimentan de los peces, ocasionándoles la pérdida de escamas y grandes llagas. En condiciones de extrema superpoblación, los piojos llegan a alimentarse incluso de los huesos de la cabeza de los peces, y es tan frecuente que los granjeros la denominan la “corona de la muerte”.

En los EEUU no existen regulaciones que velen por el bienestar animal en el manejo de los peces en las granjas, y hasta el 40% de éstos mueren antes de que el operario de la granja se disponga a su sacrificio.

Aquéllos peces que sobreviven son sometidos a ayuno para reducir la contaminación por residuos del agua durante su transporte. El salmón, por ejemplo, es sometido a ayuno durante diez días completos.

Las plantas donde los peces son sacrificados en EEUU no se preocupan en anestesiarlos, por lo que son plenamente conscientes cuando son introducidos en la línea de procesado. En estas condiciones se les cortan las branquias y se les deja desangrar hasta morir, convulsionándose de dolor.

Los peces de gran tamaño como los salmones son algunas veces golpeados en la cabeza con un



bate de madera llamado “el sacerdote”, y muchos ejemplares gravemente dañados pero todavía vivos y sufriendo son entonces fileteados. Otros peces más pequeños como las truchas son sacrificados a menudo simplemente dejándolos sin agua hasta que se asfixien lentamente, o incluso empaquetándolos directamente con hielo mientras aún están completamente conscientes.

Debido a que los peces son animales de sangre fría, su sacrificio mediante inmersión en agua y hielo prolonga su sufrimiento, dejándoles de esta manera sufrir un agudísimo dolor hasta 15 minutos antes de morir”.

### **En Canarias**

Finalmente, se debe mencionar en este apartado de ONGs la anécdota acaecida cuando, durante la realización por parte de nuestro grupo de investigación de un estudio de impacto ambiental de varias granjas de engorde de dorada y lubina en la isla de Gran Canaria entre los años 2000 y 2001 (5), un colectivo ecologista local publicó en la prensa escrita isleña un artículo de denuncia muy agresivo, cuyo contundente titular era “Las granjas de peces contaminan nuestras costas”. Puestos en contacto con el presidente de este colectivo, proponiéndole que compartiera con nosotros los datos en los que basaba tal afirmación con el fin de contrastar y ampliar los que estábamos recogiendo en nuestro trabajo, la decepcionante e ilustrativa respuesta fue algo así como “No tenemos datos, pero todo el mundo sabe que estas granjas contaminan mucho”.

## **LOS HECHOS**

### **Los resultados científicos**

Los efectos potencialmente negativos de la acuicultura están ampliamente documentados en la literatura científica (86,7,8,9,10). Éstos se localizan generalmente en un área limitada alrededor de las granjas, y consisten en:

Enriquecimiento local de la columna de agua y disminución del oxígeno en el sedimento del fondo marino, encontrado en las primeras granjas de engorde de salmón en fiordos con pobre renovación del agua. Este problema se ha detectado también en algunas zonas con características similares de Croacia y Grecia. La anoxia del sedimento puede también ocurrir en zonas más abiertas como consecuencia de una mala gestión de la alimentación o una mala ubicación de la granja. El impacto sobre los sedimentos, acompañado de una reducción en la biodiversidad de la fauna bentónica suele

ser muy limitada, generalmente bajo las jaulas. Muy frecuentemente, la relevancia de este efecto es mínima a largo plazo, debido a la recuperación periódica natural de estas zonas durante los temporales estacionales.

Efectos negativos sobre poblaciones específicas de algas, como *Posidonia* o *Cymodocea*: Limitados a áreas puntuales del sedimento bajo las jaulas, tanto por la acumulación de materia orgánica como por la sombra ejercida por las jaulas.

Escapes de peces e impactos genéticos: En el caso del salmón, y debido a su comportamiento específico de refugio, el impacto de ejemplares escapados de las granjas ha alcanzado niveles significativos. Por el contrario, y después de más de 20 años de su cultivo, no se han publicado indicios específicos de este tipo de impacto sobre poblaciones salvajes de dorada y lubina.

Transferencia de enfermedades a especies salvajes: La introducción de especies foráneas, la excesiva concentración de ejemplares o el estrés pueden producir brotes de enfermedades o desastres medioambientales y económicos como en el caso del cultivo de langostinos en Tailandia o Ecuador. Este tipo de impactos no se han detectado hasta la fecha en el Mediterráneo. En Australia, las autoridades nacionales decidieron concentrar el engorde (engrase) de atún en jaulas en una única bahía con el objetivo de limitar los conflictos por el uso de áreas costeras, lo que condujo a un incremento de brotes de enfermedades y su posterior impacto sobre el medioambiente local.

Impactos visual y oloroso: El impacto visual ha ido reduciéndose progresivamente mediante el uso de boyas y redes cada vez más simples. En Croacia, diversas malas prácticas en la actividad de engorde de atún dieron lugar a efectos negativos de olor que afectaron al turismo local. Estos defectos fueron sin embargo corregidos rápidamente.

Incremento de materia orgánica y mineral asociados al cultivo de moluscos bivalvos: La acumulación de materia mineral suele producirse en zonas cerradas, como lagunas costeras de aguas salobres semi-cerradas. Son asimismo conocidos efectos ambientales como las mareas rojas producidas por la elevada acumulación de materia orgánica procedente de las bateas de mejillones en las Rías Gallegas.

### **Medidas correctoras**

Numerosas publicaciones (11, 12, 13) que estudian las interacciones de la acuicultura y el medioambiente, muestran un amplio consenso acerca de que

tales impactos pueden minimizarse o evitarse mediante la adopción de buenas prácticas de cultivo por parte de los productores, incluyendo protocolos normativos, de control y de vigilancia ambiental.

En 2013, la UE aprobó un documento sobre “Guías Estratégicas para una Acuicultura Sostenible” (14), con el objetivo de ayudar a cada uno de los países miembros a desarrollar sus propias estrategias al respecto, definiendo sus propios objetivos según sus diferentes puntos de partida y circunstancias específicas. Se propusieron los siguientes objetivos:

1. Simplificar los procedimientos administrativos, en particular los relacionados con las licencias (el tiempo de tramitación de éstas en la actualidad oscila entre los 6 meses de Noruega y 24 meses de Eslovenia e Italia).

2. Asignar espacios terrestres y acuáticos para el desarrollo de granjas de acuicultura, tanto dulceacuícolas como marinas, de forma planificada y ordenada.

3. Promover la diversificación del sector para permitir el desarrollo de fuentes adicionales de ganancias y el crecimiento de la acuicultura sostenible.

4. Explotar todos los factores competitivos del sector, como sus actuales altos estándares en medioambiente, salud animal y protección al consumidor. Asimismo, el sector tiene acceso a tecnologías muy desarrolladas y a un sector de investigación de primer nivel, pudiendo además suministrar productos de alta calidad y extra frescos. Si se consigue comunicar a la opinión pública la sostenibilidad y bajos niveles de impactos medioambientales, ello podría incrementar la demanda y hacer al sector más competitivo. También es importante fortalecer y mejorar la imagen de la acuicultura en aspectos medioambientales, salud animal y alimentación.

#### **Algunas iniciativas positivas y acciones realizadas para mejorar la imagen de la acuicultura**

Valorización de protocolos de calidad: Algunos sectores como la industria del salmón se anticiparon a las restricciones legales europeas como consecuencia de la crisis de la enfermedad de las “vacas locas”, y dejaron de emplear fuentes de proteína extra en los piensos para peces provenientes de mataderos animales desde 1996.

Progresiva integración de la gestión medioambiental en la piscicultura: La industria noruega de cultivo de salmón ha reducido el uso de antibióticos en piensos desde 1,065 gramos hasta 0,003 gramos/ Kg en los últimos años, y la mayoría de granjas en el Mediterráneo han eliminado completamente su uso.







Los animales acuáticos (peces, crustáceos y moluscos) son un alimento excelente (saludables, con proteína de alta calidad, y bajos en grasa, que además es más sana que la grasa de animales terrestres). Son parte integrante de una dieta saludable, y están considerados como una aspiración dietética en países en desarrollo.

Desarrollo de un Código de Conducta por el sector (Federation of European Aquaculture Producers FEAP) (22), que integra sus guías mediante la implantación de este Código de buenas prácticas en varios países Mediterráneos (Grecia, Italia).

Programas Europeos CRAFT: Cooperación entre centros de investigación y productores para producir datos y objeciones científicas a todas las críticas irracionales, así como generar proyectos conjuntos de investigación.

Progresiva mayor capacidad de las Organizaciones de productores de ejercer como lobbies ante las Administraciones Europeas, como herramienta de moderación y adaptación a presiones y legislaciones locales e internacionales.

Desarrollo de diferentes programas educativos sobre la acuicultura, en los que cooperan pequeñas granjas y centros de investigación.

Desarrollo de varias iniciativas positivas, espontáneas u organizadas, con actores locales (turismo, buceo, pescadores) ayudan a mejorar la imagen de la acuicultura. Algunos ejemplos de ello son el empleo de pescadores en la industria de engrase de atún rojo, la mejora de las capturas de pescadores locales en las inmediaciones de jaulas de engorde de peces en Grecia, o el empleo de la alimentación de atunes en jaulas como atracción de buceo deportivo, o bien alrededor de jaulas de dorada y lubina en Chipre.

Iniciativas positivas respecto a las harinas de pescado: Algunos programas de investigación recientes sobre mejora de alimentos, han obtenido resultados tales como que el uso de ingredientes alternativos vegetales a las harinas de pescado co-

mo fuentes de proteína puede llegar hasta un 90% de sustitución para la salmonicultura, y un 60% para otros peces marinos, sin afectar negativamente al crecimiento de los animales.

Programas de investigación sobre acuicultura integrada, concentrados en su viabilidad y beneficios sociales, medioambientales, económicos y técnicos. Como ejemplos podemos citar el cultivo integrado de salmón y algas, o varios programas sobre producción integrada en estanques de bivalvos y doradas, o meros y algas.

ISO 14000 o proceso de calidad organizativa, implementado en muchas granjas de acuicultura.

Gestión de la alimentación: Los programas de formación profesional y diversas organizaciones del sector hacen cada vez más hincapié en este aspecto, en paralelo a las diversas normativas nacionales, que conducen progresivamente hacia mejores prácticas.

## Conclusiones

Como se indica en la introducción, la inmensa mayoría de nosotros consume carne y pescado en su dieta, y los peces y mariscos criados en granjas cumplen el mismo papel que los animales terrestres de los que nos alimentamos. Parece pues, que la mayor parte de las críticas que hacia la acuicultura realizan los grupos vegetarianos, consiste en una similar dramatización antropomórfica de los sufrimientos a los que todos los animales son supuestamente sometidos en las granjas. Sin embargo, estos grupos parecen ignorar que hoy en día existe una amplia regulación sobre bienestar animal, cada vez más extendida, acerca del trato al que los animales deben ser sometidos en las granjas (terrestres y acuáticas), incluyendo el empleo de métodos de sacrificio que minimicen su sufrimiento.

Respecto a los impactos de la acuicultura sobre el medioambiente, una amplia literatura científica prueba sin lugar a dudas que éste se limita a un área puntual en las inmediaciones de las granjas, debido en su mayor parte a restos sólidos del pienso no consumido por los animales. Este impacto, además de poder minimizarse empleando una adecuada gestión basada en buenas prácticas, cada vez más extendidas, resulta ser además muy inferior al impacto producido por cualquier otra actividad humana en el mismo medio.

Otros efectos negativos sobre el medio, como la deforestación de bosques de manglar, el uso de medicamentos en los piensos, la contaminación genética y la transmisión de enfermedades, debidos a escapes de ejemplares de estas granjas, se han producido

puntualmente como consecuencia de malas prácticas y han sido corregidas en su mayoría.

Los medios de comunicación y las ONGs tienen razón al denunciar los abusos de malas prácticas, sean éstas sociales, medioambientales o cualquier otro tipo. Lo equivocado es calificar toda la industria de la acuicultura como negativa, pues existe el peligro de que la opinión pública pueda ser erróneamente conducida a creer que estos ejemplos de malas prácticas representan la historia completa, y ciertamente no lo son. En un mundo que sufre una progresiva escasez de alimentos en muchas zonas, debido tanto al crecimiento exponencial de la población humana como al cambio climático, la acuicultura es, y probablemente será, una herramienta importante para ayudar a combatir el problema y alimentar a la población global, especialmente en el Sur de Asia y China. En 2013 la acuicultura aportó el 50% de los alimentos acuáticos en todo el mundo, y la FAO (16) estima que para el 2030 esta aportación llegue al 63%. De hecho en China, el cultivo de carpas es uno de los mayores ejemplos en el mundo de una muy vieja tecnología de producción de alimento de baja intensidad que suministra proteína barata de buena calidad a poblaciones rurales. En Europa, tanto las industrias de cultivo de salmón en países nórdicos como Noruega, o de dorada y lubina en la cuenca del Mediterráneo, son muy importantes en términos económicos y alimentarios, y elevan sus estándares medioambientales continuamente.

Los animales acuáticos (peces, crustáceos y moluscos) son un alimento excelente (saludables, con proteína de alta calidad, y bajos en grasa, que además es más sana que la grasa de animales terrestres). Son parte integrante de una dieta saludable, y están considerados como una aspiración dietética en países en desarrollo. Con el continuo descenso de las capturas pesqueras a nivel mundial, la única opción para producir más peces es mediante los diferentes tipos de acuicultura.

Durante las últimas tres décadas la acuicultura se ha expandido, diversificado, intensificado y realizado numerosos avances tecnológicos. El potencial de este desarrollo para mejorar la seguridad alimentaria local, luchar contra la pobreza e incrementar la calidad de vida en entornos rurales ha sido ampliamente reconocido, así como recomendada la necesidad de que el sector de la acuicultura continúe este desarrollo hacia su completo potencial.

Finalmente, quizás sea procedente la pregunta de si los alimentos acuáticos podrían llegar a constituir un alimento únicamente para ricos en el caso de que la acuicultura no existiera.



Respecto a los impactos de la acuicultura sobre el medioambiente, además de poder minimizarse empleando una adecuada gestión basada en buenas prácticas, cada vez más extendidas, resulta ser además muy inferior al impacto producido por cualquier otra actividad humana en el mismo medio.

#### **Bibliografía** (páginas 6-13)

- (1) Pearce, F. 2008. A wise course of action? The Guardian. <http://www.theguardian.com/environment/2008/apr/23/food.ethicaliving> (03/12/2014).
- (2) Welsh, J. 2012. Businessinsider. <http://www.businessinsider.com/disgusting-truths-about-asian-aquaculture-2012-10> (03/12/2014).
- (3) Greenpeace International. 2008. Sustainable Aquaculture. <http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/oceans/sustainable-aquaculture/> (03/12/2014).
- (4) People for the Ethical Treatment of Animals (PETA). Aquafarming. <http://www.peta.org/issues/animals-used-for-food/factory-farming/fish/aquafarming/> (03/12/2014).
- (5) Vergara Martin, J.M., Haroun Tabraue, R., Gonzalez Henriquez, M.N., Molina Dominguez, L., Briz Miquel, M.O., Boyra Lopez, A., Gutierrez Martinez de Maranon, L. & Ballesta Mendez, A. 2005. Oceanografica, Telde. ISBN:84- 609-4073-X. 110pp.
- (6) Iwama, G.K. 1991. Critical Reviews in Environmental Control, 21(2), 177-216.
- (7) Gräslund, S., Bengtsson, B.E. 2001. Science of the Total Environment, 280, 1-3, 93-131.
- (8) Carroll, M. L., Cochrane, S., Fieler, R., Velvin, R., and White, P. 2003. *Aquaculture*, 226(1), 165-180.

- (9) Yokoyama, H. 2003. *Aquaculture*, 226(1), 45-56.
- (10) Cochrane, K.; De Young, C.; Soto, D. & Bahri, T. (eds). 2012. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura. No 530. Roma. FAO. 237 p. <http://www.fao.org/docrep/015/i0994s/i0994s.pdf> (03/12/2014).
- (11) Holmström, K., Gräslund, S., Wahlström, A., Pongshompoo, S., Bengtsson, B. E., and Kautsky, N. 2003. *International journal of food science & technology*, 38(3), 255-266.
- (12) Tacon, A. G. and Forster, I. P. 2003. *Aquaculture*, 226(1), 181-189.
- (13) Nobre, A. M., Robertson-Andersson, D., Neori, A., and Sankar, K. 2010. *Aquaculture*, 306(1), 116-126.
- (14) UE. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: "Directrices estratégicas para el desarrollo sostenible de la acuicultura de la UE". COM (2013) 229 final. Bruselas, 29.4.2013 [http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/official\\_documents/com\\_2013\\_229\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/official_documents/com_2013_229_es.pdf) (03/12/2014).
- (15) Federation of European Aquaculture Producers (FEAP). 2008. Code of Conduct for European Aquaculture. <http://www.feap.info/Default.asp?CAT2=0&CAT1=0&CAT0=0&SHORTCUT=610> (03/12/2014).
- (16) FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>



# La acústica en la investigación pesquera

Fig. 1. Ecograma generado por las primeras ecosondas (el registro se hacía en papel que era quemado por el movimiento oscilatorio de una plumilla), donde se muestran las manchas asociadas a bancos de peces y el perfil del fondo marino.

## Antonio Barrera Luján y José J. Castro Hernández

Tras el hundimiento del Titanic, en 1912, el meteorólogo británico L. F. Richardson sugirió la utilización del eco como un medio para detectar la ubicación de los icebergs, que comprometían la seguridad de la navegación en una de las rutas comerciales más importantes del Atlántico Norte. Así surgieron las primeras ecosondas, que fueron utilizadas por el Almirantazgo Británico durante la Primera Guerra Mundial. No obstante, la primera referencia científica a las ecosondas se publicó en 1929 (Kimura), en la revista del Instituto Imperial de Pesca del Japón. Fue sólo a comienzos de la década de 1930 cuando las ecosondas comenzaron a funcionar como un método efectivo para reemplazar el tradicional "escandallo". Este consistía en una larga, gruesa y pesada cuerda que actuando como plomada, se lanzaba hasta que tocara el fondo y así poder determinar la distancia al lecho marino en ese punto. La primera ecosonda dedicada específicamente a la pesca profesional, la comercializó Simrad en 1957.

### El uso del sonido para ver peces

El rápido avance de la tecnología acústica, durante y después de la Segunda Guerra Mundial, ha permitido el uso generalizado de instrumentos acústicos en la pesca. Las primeras ecosondas solo proporcionaban una información muy cruda sobre los peces y su distribución. Posteriormente se vio que los métodos acústicos podían ser también aplicables a estimar el tamaño de los stocks. Información cuantitativa y cualitativa sobre los peces puede ser obtenida a partir del perfecto entendimiento y medida de los

procesos de formación de ecos y transmisión de sonidos en el mar.

Las ecosondas y sonares son instrumentos que miden la distancia existente entre la superficie del agua y los objetos suspendidos en la misma o que reposen sobre el fondo, utilizando para ello la capacidad del sonido para propagarse en dicho medio y reflejarse parcialmente (ecos) cuando encuentra objetos de diferente densidad (e.g. peces). Las ondas sonoras emitidas al chocar con un objeto, se reflejan volviendo de nuevo al punto de emisión. La velocidad de propagación del sonido en el agua varía con la salinidad, temperatura, etc., pero a efectos prácticos puede considerarse constante y aproximadamente de 1500 m/s. Midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la onda, multiplicándolo por la velocidad y dividiéndolo por dos, obtenemos la distancia a la que se encuentra el objeto.

Debido a la intensidad de los ecos reflejados por el fondo marino, los ecos procedentes de los peces situados a 2 ó 3 metros del fondo son enmascarados. Algo similar ocurre con los peces que se encuentran en los primeros 5 metros bajo la superficie, ya que también la superficie del océano es una importante fuente de reflexión de los sonidos emitidos. Sin embargo, muchas especies de interés comercial permanecen gran parte del tiempo en la capa intermedia de la masa de agua, entre estos dos extremos, lo que permite que la hidroacústica sea una técnica adecuada para su detección, cuantificación y estudio de su comportamiento.

En el campo de las actividades pesqueras se utilizan para obtener la profundidad, naturaleza del fondo, detectar bancos de peces, diferenciar espe-



cies y observar su comportamiento. En la mayoría de las instalaciones de los buques pesqueros la frecuencia de emisión de los equipos se aproximan a los 30 KHz.

Han habido muchos intentos de estimar el número de peces que componen un stock a través del conteo de los ecos procedentes de peces individuales, y no han sido totalmente satisfactorios. El problema es que las condiciones bajo las cuales el contador de ecos da estimaciones precisas raramente se consiguen en la práctica. En primer lugar, los peces deben estar lo suficientemente separados, ya que de lo contrario no es posible diferenciar cambios apreciables en los ecos procedentes de dos o más peces (estos ecos coinciden). Por tanto el conteo de ecos no es aplicable en el caso de especies que forman densos cardúmenes, como ocurre con caballas, sardinas, etc. No obstante, hace aproximadamente 60 años, los científicos noruegos desarrollaron el método de la ecointegración, que podía ser usado sin tener que distinguir entre ecos procedentes de peces individuales. En este método, la energía recibida por el receptor de señal es sumada, o integrada, durante un período de tiempo. En definitiva, la energía integrada recibida de muchas transmisiones es convertida a peso de peces por unidad de área, generalmente por milla recorrida, en el intervalo de profundidad seleccionado. El factor de conversión depende de la amplitud del pulso transmitido, la resistencia del pez, la ganancia del receptor y el ángulo equivalente del haz de la ecosonda.



Fig. 2. Grabado mostrando a los marineros recogiendo los escandallos utilizados para determinar la profundidad por donde navegaba el barco.

### La investigación hidroacústica en Canarias

Las primeras campañas de hidroacústica de las que se tienen constancia en Canarias fueron realizadas en abril de 1984, por el Instituto Español de Oceanografía, con objeto de evaluar la abundancia de especies pelágico costeras (1). Esta primera evaluación permitió cuantificar la biomasa de estas especies en 73 mil toneladas, destacando la caballa (*Scomber colias*) y la boga (*Boops boops*) como especies más importantes. No obstante, la mayor actividad en temas de evaluación acústica en Canarias se realizó desde el ya desaparecido Centro de Tecnología Pesquera de Taliarte, por parte del equipo de Fernando Bordes y colaboradores.

A mediados de la década de 1980, el B/O Taliarte fue equipado con ecosondas Simrad (EK-S 38 y 120) con objeto de dedicarlo a la evaluación sistemática de los recursos de las Islas. Desgraciadamente no ocurrió así. No obstante, casi simultáneo, se inició el interés por el estudio de la composición de la Capa de Reflexión Profunda (DSL), un gran acúmulo de biomasa de 200 m de espesor, que se visualizaba en los ecogramas de papel a partir de los 400-600 m de profundidad. Posteriormente, con la adquisición de equipos de hidroacústica más modernos y precisos (i.e. EK 500) y sondas de red, instalados en el B/E La Bocaina y posicionados por satélite (GPS), se desarrollaron siete campañas científicas de arrastre profundo (hasta los 1000 m), entre 1997 y 2002, destinadas al estudio de la composición faunística de la DSL.

Muchos de los organismos que habitan la DSL (pequeños peces, crustáceos y cefalópodos) realizan migraciones diarias condicionadas por el nivel de luminosidad solar, ascendiendo durante la noche a aguas superficiales para alimentarse de la producción fitoplanctónica superficial.

Durante estas campañas se capturaron 204 especies de peces, 25 de las cuales fueron nuevas citas de especies mesopelágicas y batipelágicas para Canarias, siendo las familias Gonostomadidae y Myctophidae (peces linterna) los que representaban casi el 50% de la biomasa de peces de la DSL. También se identificaron como parte de la fauna de esta capa 32 especies de cefalópodos y 45 especies de crustáceos decápodos, 12 de las cuales fueron nuevas citas para aguas de Canarias.

Aunque en este periodo, 1984-2002, también se realizaron en Canarias otras campañas de evaluación acústica de especies pelágico-costeras y bentodemersales, ninguna con la distribución espacial afrontada en 1984 y que arroja datos de biomasa tan concretos como en esa primera evaluación.

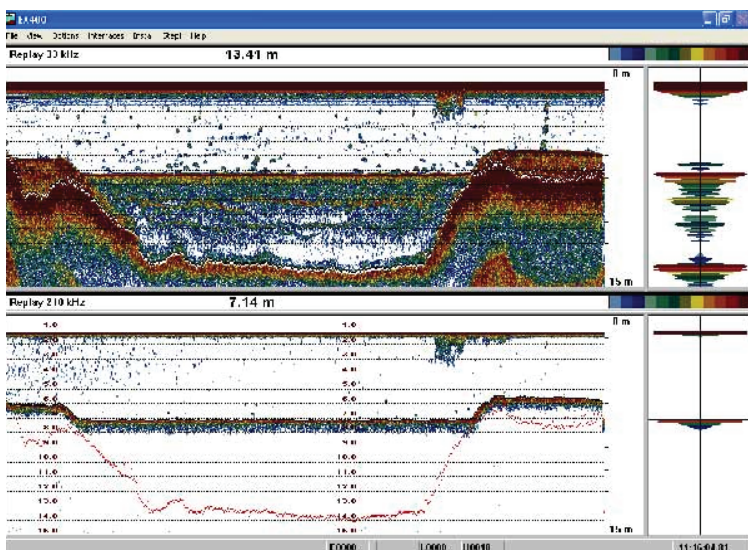


Fig. 3. Diagrama de un ecograma donde se aprecia (en la parte superior) los múltiples ecos recibidos por el transductor, la ganancia del equipo (margen derecho), y el ecograma una vez eliminados todos los ecos no deseados por debajo de una profundidad fijada (mitad inferior).

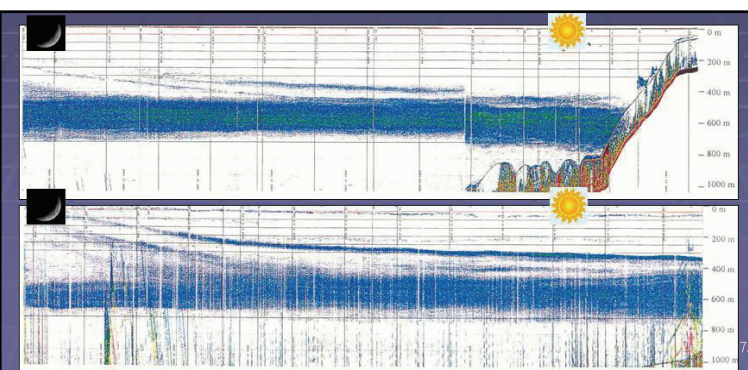


Fig. 4. Ecograma donde se muestran los desplazamientos verticales realizados por parte de los organismos que componen la Capa de Reflexión Profunda (DSL) en Canarias, desde el atardecer hasta el amanecer (Autor: F. Bordes).

## La acústica del futuro

Las posibilidades que se configuran entorno al desarrollo de la hidroacústica del futuro son enormes, si es que ya no son una realidad en el mundo militar y de los submarinos. La sofisticación tecnológica de estos equipos junto con el enorme desarrollo de la informática seguro que permitirán en un tiempo no muy lejano el poder ver bajo el mar, en las zonas más oscuras, con la misma nitidez que en tierra firme en un día soleado. Incluso los más mínimos detalles y los colores reales de los peces y otras criaturas abisales serán totalmente visibles gracias al sonido.

A modo de ejemplo, el sonar de barrido lateral multi haz Klein 3000 presenta la tecnología de obtención de imágenes digitales a partir de ecos verdaderamente puntera y que hace presente las previsiones planteadas para el futuro.

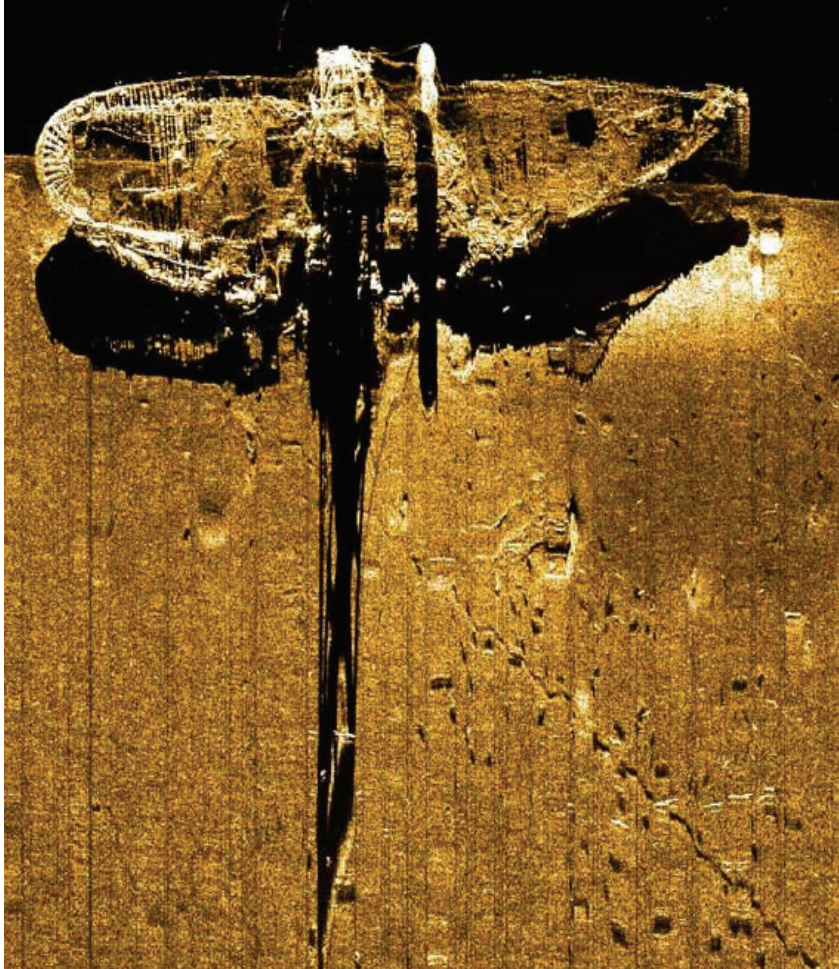
## Los sonidos y el rendimiento de pesca

La utilización de sonidos para atraer peces hacia un determinado área de pesca no es un fenómeno reciente en la historia de las pesquerías mundiales. Desde muy antiguo se ha utilizado la capacidad auditiva de los peces y la alta velocidad que alcanza el sonido en el agua, para incrementar la eficiencia pesquera. Igualmente, siempre ha sido problemático el ruido emitido por los motores de los buques y las artes durante las faenas de pesca y sus efectos negativos sobre la misma, existiendo infinidad de estudios e investigadores que destinan sus esfuerzos a reducir este ruido mecánico. Algunos buques arrastreros generan ruidos del orden de 10 KHz, produciendo la suficiente energía como para que los peces los puedan oír desde grandes distancias.

El número de utensilios destinados a producir sonidos con fines pesqueros es relativamente amplio, con un mayor o menor grado de complejidad y efectividad. Estos pueden variar desde el simple chapoteo de la superficie del agua, utilizado desde los orígenes de esta actividad humana, para ahuyentar a los bancos de peces y dirigirlos hacia un punto concreto donde poder capturarlos con mayor facilidad, hasta los más sofisticados sistemas de ultrasonidos destinados a ahuyentar a los temibles tiburones de las playas muy frecuentadas por bañistas.

El Dr. Marín y Cubas en su obra *Naturaleza, costumbres y ejercicios de los canarios*, describe como los antiguos habitantes de Gran Canaria valiéndose del ruido que generaban mientras nadaban conducían a los bancos de peces hacia las redes. La atracción de delfines con música, canciones y llamadas por parte de pescadores del Mediterráneo es ya mencionado por Plinio, y el fenómeno es también descrito por Ateneo (s. III), dando la autoridad de la fuente documental a Aristóteles. En Mauritania, cuando los pescadores localizan un banco de "lisas" (*Mugil spp*) desde la orilla, comienzan a golpear el agua con sus bastones. Seguidamente, aparecen en el horizonte una manada de delfines, como si obedecieran a una señal, empujando al banco de lisas hacia las redes dispuestas en la costa. Esta asombrosa asociación hombre-delfín se ha llevado a cabo desde tiempos remotos y en infinidad de lugares. Un método de pesca similar ha sido comprobado en Nueva Zelanda. Por otra parte, los pescadores de Madeira durante la pesca de la caballa cortan el cebo en el barco después de llegar al área de pesca durante la noche. Piensan que el sonido producido por la acción de cortar el cebo atrae a los peces. En varios lugares de Indonesia y Japón el arrojar el cebo por la borda va acompañado por el golpeo de la superficie del agua,





La producción de sonidos en el océano no queda limitada, ni mucho menos, a los peces y a los mamíferos marinos. También los crustáceos (cangrejos, langostas, etc.) y los cefalópodos (calamares, potas, etc.) producen gran variedad de sonidos y reaccionan ante determinadas frecuencias sonoras.

Fig. 5. Imagen 3D de barco hundido obtenida con la Klein Dual Frequency System 3000 (Image courtesy of L-3 Klein Associates, Inc.). La imagen obtenida permite ver con total nitidez incluso las cuerdas del barco.

con un instrumento especialmente diseñado para este propósito. Crean que esta acción atrae a los atunes hacia el cebo. Hasta hace tan solo unos pocos años, durante las maniobras destinadas a calar los "chinchorros" en las playas de Gran Canaria, no resultaba extraño ver a los pescadores apalea la superficie del agua, con el objeto de que los peces no escaparan del cerco o se dirigiesen hacia la zona donde ya había sido calada la red. No hay que olvidar los "cantos" usados durante la pesca de la morena en Canarias y Madeira.

La verdad es que el denominado "mundo del silencio" no es tan silencioso, sino todo lo contrario. Es muy conocido el hecho de que los cetáceos en general emiten sonidos muy variados, llegando a configurar complejos sistemas de comunicación sonora. Los peces usan los sonidos para propósitos muy variados, por ejemplo: identificación de congéneres, defensa del territorio ante posibles intrusos, búsqueda de presas, ahuyentar a los predadores e incluso para elegir pareja. La producción de sonidos en el océano no queda limitada, ni mucho menos, a los peces y a los mamíferos marinos. También los crustáceos (cangrejos, langostas, etc.) y los cefalópodos (calamares, potas, etc.) producen gran variedad de sonidos y reaccionan ante determinadas frecuencias sonoras.

Todos estos sonidos tienen una serie de particularidades totalmente dependientes de la especie que los produzca y la forma en que son ejecutados. Dependiendo de la frecuencia e intensidad de los mismos y de los pulsos o regularidad temporal con que son emitidos van a causar un estímulo positivo, o no, en los individuos, grupos o especies receptoras.

A finales de la década de los sesenta, los investigadores japoneses Hashimoto y Maniwa (2) consiguieron registrar la huida aparente de roncadores de cola amarilla, barracudas y jureles, al reproducir grabaciones de sonidos originados por delfines, así como atraer a algunas de estas especies usando grabaciones de los propios sonidos que emiten mientras se alimentan. Por otro lado, Steinberg y colaboradores (3) consiguieron atraer algunas especies de peces hacia una fuente sonora que emitía pulsos de 20 Hz.

Es muy difícil capturar un banco de peces que se encuentra muy cerca del fondo por parte de un cerquero, debido a que las redes pueden ser fácilmente dañadas por las rocas. Lo ideal sería poseer un sistema que fuese capaz de atraer a los peces hacia la superficie, alejándolos del fondo, cerca del barco de pesca. Algunos experimentos realizados en Japón hace algunas décadas demostraron que tanto la caballa, chicharro y algunas especies de medregal, eran





Fig. 6. Delfines y pescadores brasileños colaborando en la captura de lizas (*Mugil spp*) (Outwardbounder.wordpress.com).

atraídos hacia la superficie por sonidos de 22 dB que reproducían sus propios ruidos mientras comían. Los experimentos demostraron la eficacia de los sonidos en barcos cerqueros que no utilizaban luz artificial para atraer a los peces, e incluso eran efectivos durante períodos de luna llena o durante pescas diurnas. También existen datos de atracción de especies de espáridos por sonidos de 24 dB.

Emisiones de tonos puros de 600 Hz de frecuencia incrementaron las capturas de cefalópodos pelágicos (potas) de barcos japoneses con sistemas de poteras automáticas, entre un 56 y un 108 %. Por otro lado, la reproducción del ruido producido por los motores del barco tras ser filtrados hasta pulsos de 150 Hz, incrementaron la captura de estos cefalópodos en un 51 %. La captura de estos animales durante períodos de luna llena o durante el día es muy difícil, pero resulta un éxito con la emisión de tonos puros de determinadas frecuencias.

Algunas especies de cangrejos fueron atraídas de forma efectiva por sonidos de frecuencias entre 2.4 y 4.7 KHz, de 15 a 18 dB, que reproducían el ruido que generan mientras comen. Existe literatura que describe situaciones similares para otras muchas especies de crustáceos del tipo de la langosta.

Actualmente muchos barcos de pesca comercial en Japón usan equipos de transmisión sonora submarina como señuelo de peces o cefalópodos. Estos equipos consisten en un amplificador, una grabadora y un proyector acuático de sonidos. Los sonidos de peces nadando o comiendo suelen ser los más atractivos. Estos sonidos se suelen emitir en pulsos de unos pocos segundos (5 aproximadamente) seguidos de periodos de silencio de igual duración.

### Bibliografía

- (1) Pastor X. y A. Delgado de Molina. 1985. ICES CM H:39/Ref. B: 24 pp
- (2) Hashimoto, T. y Y. Maniwa. 1967. Marine Bioacoustic Vol. 2, Pergamo Press, NY.
- (3) Steinberg et al. 1965. Bull. Mar Sci., 15:942-963

A finales de la década de los sesenta, los investigadores japoneses Hashimoto y Maniwa consiguieron registrar la huida aparente de roncadores de cola amarilla, barracudas y jureles, al reproducir grabaciones de sonidos originados por delfines, así como atraer a algunas de estas especies usando grabaciones de los propios sonidos que emiten mientras se alimentan.





(Dcha.) Fig. 1. Sobreexplotación de los recursos naturales por comunidades costeras. (Izda.) Fig. 2. Fragmentos de *Gelidium sesquipedale* en cultivo.

## Propuesta de mejora para las poblaciones algales de Marruecos

# Banco de Semillas

**Houda Chiheb, Rafael R. Robaina Romero, Hassane Riadi y Pilar García-Jiménez**

El territorio del reino de Marruecos está situado en la intersección de tres grandes superficies: el mar Mediterráneo ( $\approx 512\text{Km}$ ) al norte, el océano Atlántico ( $\approx 2.934\text{Km}$ ) al oeste y noroeste y la parte delantera del desierto del Sahara hacia la sureste. Esto le supone una serie de peculiaridades que abunda en una elevada biodiversidad.

El mayor grupo de organismos vegetales representados en Marruecos se corresponde con las algas, con más de 650 especies registradas, y está ampliamente dominado por algas rojas.

En Marruecos, las algas representan una fuente nutricional y de valor industrial importante,

productos farmacéuticos, y la medicina, utilizándose desde los albores del tiempo con referencia a los usos realizados por los egipcios de más de 3.500 años.

Los usos de las algas son muy diversos y su importancia está aumentando continuamente, además de que constituyen una enorme reserva de moléculas naturales potencialmente activas (1, 2, 3).

Marruecos es uno de los principales productores mundiales del poligalactano denominado agar, que se extrae a partir de poblaciones naturales de algas rojas, principalmente del alga *Gelidium sesquipedale*.

Este producto tiene la propiedad de formar geles de utilidad, en una variada industria, con unas características que los hacen insustituibles.

La industria del agar permite el desarrollo a lo largo de las costas marroquíes de una actividad que

proporciona un empleo permanente o temporal a más de 10.000 personas (Fuente Ministerio de Pesca Marítima del Reino de Marruecos, 2005). Para dar una idea de la importancia de esta industria, solamente la producción de agar asegura un ingreso de divisas de más de 20 millones de euros anuales, de tal manera que esta industria posiciona a Marruecos, entre los principales exportadores.

Sin embargo, el descontrol en la explotación de este recurso ha llevado a las poblaciones algales a la regresión, temiéndose por su desaparición. En las últimas décadas, dos son las principales causas que se pueden aducir, i) el extensivo desarrollo urbano que está llevándose a cabo en las áreas costeras y ii) el efecto de distintos contaminantes en las costas. Esta desenfrenada explotación pone en grave riesgo el equilibrio ecológico en las costas marroquíes, temiéndose por una regresión irreparable de estas poblaciones. Entre 1999 y 2004, se estimó que las costas marroquíes habían perdido casi un 40% de las algas rojas (Fig. 1) (4, 5).

Este déficit se debe considerar, desde el punto de vista social, donde la explotación de algas marinas es llevada a cabo por comunidades costeras. Aquí la razón familiar es esencial, especialmente porque son los familiares de los pescadores los que dirigen las labores extractivas. Por otro lado, desde el punto de vista económico, la producción sostenida de las algas asegura ingresos familiares regulares, a diferencia de la estacionalidad derivada de la actividad pesquera.

Esta situación nos ha impulsado a la formulación y el desarrollo de nuevos modelos y sistemas de aprovechamiento sostenibles basados en la tecnología de cultivo *in vitro*. Así el trabajo desarrollado en el departamento de Biología de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria pretende el establecimiento de un banco de semillas a partir de fragmentos de talo algal y/o esporas, y la posterior repoblación para la especie *Gelidium sesquipedale*, para su transferencia al sector productivo de la región marroquí. La propuesta ha sido la fijación de fragmentos a sustratos artificiales mediante la inducción de la rizogénesis en sistemas de cultivo semi-controlados. La selección de *G. sesquipedale*, de entre los recursos algológicos endémicos, obedece a que ella presenta un alto valor comercial, con mercados de venta consolidados.

El cultivo *in vitro* de *Gelidium* con vistas a establecer un banco de propágulos fue inicialmente estudiado mediante esporas sexuales. La emisión de las esporas sexuales se forzó *in vitro* mediante estrés hídrico. Si bien el número de esporas emitidas fue considerable, existen dos hándicaps importantes a soslayar. El primero es la presencia de endófitos asociados a los talos



de las algas, fundamentalmente de las agarofitas, que favorece el desarrollo masivo de estos frente al propio de la espora. Otro inconveniente es que la espora retrasa su crecimiento y desarrollo a favor del anclaje (6).

Para la inducción de la rizogénesis, hemos implementado una estrategia basada en el papel de las poliaminas. Las poliaminas son moléculas que tienen su papel ampliamente descrito como regulador de crecimiento en las algas rojas (7, 8). También dada la naturaleza policatiónica de estas moléculas se podría favorecer la interacción con los iones del agua de mar, formando cristales y cooperando en la adhesión de los fragmentos de alga a estos “sustratos artificiales”. Los resultados preliminares han permitido discernir aquellos tratamientos y concentraciones de poliaminas que favorecen el anclaje de los fragmentos y el desarrollo de yemas laterales (Fig. 2).

## Bibliografía

- (1) Chiheb, I., Riadi, H., Martínez-López, J., Domínguez Seglar, J. F., Gómez Vidal J.A., Bouziane, H ET Kadi, M., 2009. African Journal of Biotechnology, 8 (7) :1258-1262.
- (2) Zbakh, H., Chiheb, H., Bouziane, H., Sánchez, V.M. & Riadi, H., 2012. J Microbiol Biotechnol Food Sci., 2(1) : 219-228.
- (3) Bouhlal, R., Riadi, H. & Bourgoignon, N., 2013. J Microbiol Biotechnol Food Sci., 2(6):2431-2439.
- (4) Riadi, H., 1998. Rapport biodiversité au Maroc. Programme des nations unies pour l'environnement (PNUE). Ministère de l'environnement du Maroc.
- (5) Givernaud, Th., Sqali, N., Barbaroux, O., Orbi, A., Semmaoui, Y., Rezzoum, N., Mouradi, A. and Kaas, R., 2005. Phycologia. 44(1): 66-71.
- (6) García-Jiménez, P., Marián, F.D., Rodrigo, M. and Robaina, R. R. 1999. J. Biotech. 70: 227-229.
- (7) García Jiménez, P., Rodrigo, M. & Robaina R., 1998. J. Appl. Phycol. 10:95-100.
- (8) Guzmán-Urióstegui, A., García-Jiménez, P., Marián, F., Robledo, D. & Robaina, R., 2002. J. Phycol.38 :1169-1175.





# Dr. Malcolm R. Clarke

(1930-2013), *in memoriam*

**Vicente Hernández García**

El Dr. Malcolm Roy Clarke FRS (1930–2013) fue un biólogo (1) marino británico bien conocido por su extensa labor de investigación sobre los cefalópodos y las ballenas, en particular sobre los cachalotes (2-3). El Dr. Clarke fue pionero en utilizar los picos de los cefalópodos, presentes en los contenidos estomacales de los grandes depredadores marinos, para identificar las especies presa y cuantificar la biomasa de cefalópodos consumidos a escala global. El Dr. Clarke fundó el *Cephalopod International Advisory Council*, en la que desempeñó los cargos de Secretario y Presidente (2). Fue nombrado Académico de la Royal Society (FRS) en 1981.

Tras graduarse en Zoología en 1955 (Univ. de Hull), inició su carrera científica como inspector del Gobierno Británico en el Antártico, a bordo del buque factoría ballenero *Southern Harvester*. A este trabajo de campo siguió su tesis doctoral sobre los parásitos de las ballenas. Durante el desarrollo de su trabajo sobre el contenido alimenticio de los cachalotes (*Physeter macrocephalus*), Malcolm se dio cuenta de cuanta información podría ser obtenida si los miles de picos presentes en los estómagos pudiesen ser identificados y estimada la biomasa en peso vivo que estos representarían. Así, es como llegaría a encausar su actividad investigadora, a la cual dedicaría el resto de su vida.

En un artículo publicado en *Nature* (1), Clarke puso de manifiesto con énfasis el valor de los picos de los cefalópodos como parte fundamental en la investigación sobre el papel de estos moluscos en los ecosistemas marinos. Ese mismo año dio a conocer la existencia de relaciones entre la talla de los picos y la masa corporal de estos moluscos (2). En 1980 publicó su gran aportación para la ciencia sobre los cefalópodos en la dieta de los cachalotes del hemisferio sur (3). Todo lo anterior, permitió a Malcolm usar sus datos para estimar la biomasa de los cefalópodos consumidos por los cachalotes a nivel mundial (4). No obstante, la edición del manual de

Fig. 1. Dr. Malcolm R. Clarke (Berlín, septiembre de 2002)

## **Dr. Malcolm Roy Clarke**

(Birmingham -UK-, 24 oct. 1930 – Isla del Pico –Azores-, 17 mayo 2013)

Trabajó primero en el National Institute of Oceanography, en Wormley (1958-1972), y después en la Marine Biological Association of the UK (MBA), en Plymouth (1972-1987).



Fig. 2. Grupo de participantes en el *International symposium "Coleoid cephalopods through time"* (Free University of Berlin, Alemania; 17-19 de septiembre de 2002). Malcolm Clarke sentado, segundo por la derecha, entre la Dra. Kerstin Warnke y el Prof. Desmond T. Donovan (el autor de esta nota es el 4º, de pie, por la derecha).

identificación de los picos de los cefalópodos, fue lo que hizo que ésta materia fuese accesible al conjunto de la comunidad científica (5). En 1996 editó una revisión sobre la importancia de los cefalópodos en los océanos en un número especial de la *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (6). También hizo contribuciones importantes al conocimiento de la anatomía del cachalote, a la flotabilidad, taxonomía y paleontología de los cefalópodos.

Además del grueso del trabajo ya indicado, Malcolm realizó otras investigaciones con una especial significación para Canarias, al haberse realizado en gran medida en su entorno, con aportaciones a la biología, ecología, migración vertical, etc. (7,8). Estos incluyen el desarrollo de nuevos métodos de muestreo para los cefalópodos con objeto de cubrir los vacíos de conocimiento existentes. Destacan así, sus trabajos junto al Dr. C.C. Lu sobre la migración vertical de los cefalópodos (9, 10, 11). Sobre la alimentación de distintas especies contribuye con su experiencia, participando en otros trabajos (12). Con los Drs. Piatkowski y Hernández-García contribuye al conocimiento de la biología y del desarrollo de los picos y sus relaciones con el crecimiento y la reproducción del momastréfido *Todarodes sagittatus* (13,14). Con todos estos trabajos, Malcolm realiza una contribución de gran valor al conocimiento de los cefalópodos del entorno de Canarias.

En 1978 le fue otorgado un Doctorado en Ciencias y en 1981 fue elegido miembro de la *Royal Society*. Malcolm Clarke es autor y coautor de más de 150 trabajos científicos, además de editor y coeditor de diversos libros. Unos años después de haberse retirado, se trasladó junto con su esposa Dorothy a Lajes Do Pico (Is. Pico, Azores), donde fundaron un museo privado sobre mamíferos marinos, de manera especial sobre el cachalote, y cefalópodos. Con el establecimiento de dicho centro, además de continuar trabajando, "creando", la familia Clarke desea poner en valor a los cefalópodos y al cachalote por la singularidad de estos organismos.

Clarke puso de manifiesto con énfasis el valor de los picos de los cefalópodos como parte fundamental en la investigación sobre el papel de estos moluscos en los ecosistemas marinos.

Malcolm fue una persona muy especial, generosa, entusiasta y siempre ávida de conocimientos. Destacaba en él su capacidad de transmitir una gran satisfacción cuando apreciaba que lo enseñado había merecido el esfuerzo. Quienes le conocimos, ya sea como profesor o como colega, no le olvidaremos por su calidad humana y por su legado científico.

**Agradecimiento:** A la dra. Krestin Warnke (Berlín, Alemania) la amabilidad que ha tenido al ceder fotografías originales que ha facilitado la ilustración de esta dedicatoria.

#### Bibliografía

- (1) Clarke, M. R. 1962a. *Nature*, 193: 560-561.
- (2) Clarke, M. R. 1962b. *Bull. Br. Mus. (Nat. Hist.) Zool.*, 8: 419-480.
- (3) Clarke, M. R. 1980. *Discovery Rep.*, 37: 1-324.
- (4) Clarke, M. R., 1983. *Mem. Natl. Mus. Victoria*, 44: 95-107.
- (5) Clarke, M. R. (Ed.). 1986. Clarendon Press, Oxford. 273 pp.
- (6) Clarke, M.R. (Ed.). 1996. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 351: 977-1112
- (7) Clarke, M. R. 1962a. *Norsk Hvalfangst-Tidende*, 5: 173-191





Fig. 1. Vertido de aguas fecales no depuradas en la desembocadura del Barranco Real de Telde (Gran Canaria). (Google Earth, 30 de octubre de 2010). Este efluente vierte desde hace más de tres décadas (1).

# Contaminación y eutrofización en el litoral marino

Fig. 2.

## Leopoldo O'Shanahan Roca

El concepto de Contaminación. Según la definición de J. G. Davis (1): *Contaminación es la introducción por el hombre en el medioambiente de materiales o efectos a un nivel perjudicial*". El uso de los términos materiales y efectos es necesario para cubrir aspectos de la contaminación por radiación, ruidos, calor u otros contaminantes no materiales. El término nivel perjudicial asevera que un material o un efecto llegan a constituir *contaminación* cuando la concentración o la intensidad alcanzan un nivel en el que las consecuencias perjudiciales son evidentes. La utilización en esa definición del término "por el hombre" es necesaria, para distinguir entre causas naturales y causas artificiales de esa "introducción" en el ambiente, aunque los efectos sean similares. Así, no es lo mismo la aparición por causas naturales de una enfermedad epidémica producida por un virus patógeno que se transmite entre la población que la aparición de un brote de hepatitis vírica por la ingestión, por ejemplo, de moluscos filtradores contaminados por el vertido al mar de los microbios contenidos en aguas residuales domésticas. La utilización en esa definición del término "por el hombre" es, por lo tanto, necesaria, para distinguir entre causas naturales y causas artificiales de esa "introducción" en el ambiente.

### Transmisión de los contaminantes en el medio natural: la cadena trófica

Los contaminantes en el medio marino van pasando de un ser vivo a otro, sobre todo cuando ambos forman parte de una "cadena trófica" o "red trófica" como prefería decir el ecólogo Ramón Margalef. Como es sabido, una cadena o red trófica (alimenticia) la constituye una serie de especies vegetales y animales (eslabones) que van sirviendo sucesivamente de alimento al siguiente. En el siguiente cuadro podemos ver cómo un contaminante se distribuye en la naturaleza mediante la cadena trófica.

Cualquier contaminante que pueda asimilarse en los productores primarios (Plancton, Algas superiores) adquiere en ellos unas determinadas concentraciones. Lo más importante de la idea es que al pasar a los productores secundarios herbívoros (moluscos bivalvos, peces aterínidos, anguila) las concentraciones del contaminante se han multiplicado por un factor de diez y, de nuevo, al pasar al siguiente eslabón de los carnívoros se vuelve a multiplicar por diez. De esta forma, un contaminante llegado al medio marino en concentraciones analíticamente indetectables, puede alcanzar valores que implican toxicidad en los eslabones más lejanos de la cadena trófica.



### El concepto de Eutrofización

Es un concepto ligado al de contaminación. En ecología el término *eutrofización* designa el *enriquecimiento masivo o excesivo en nutrientes de un ecosistema*. El uso más extendido se refiere específicamente a nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático (tomado de Wikipedia). Un ecosistema o un ambiente natural se dice que está *eutrofizado* cuando recibe cantidades excesivamente altas de nutrientes. La eutrofización está ligada a la contaminación, puede ser una consecuencia de ella.

Según Margalef (2) la eutrofización es un *aumento de la producción* de un sistema acuático. La producción la llevan a cabo organismos autótrofos (productores), es decir, vegetales que realizan la fotosíntesis: plantas superiores, algas y cianobacterias. El exceso de nutrientes en un medio acuático produce ese crecimiento masivo o excesivo de alguno de los vegetales que lo pueblan. En el litoral canario es habitual ver áreas "eutrofizadas", caracterizadas por un crecimiento vegetal muy exuberante como consecuencia de la contaminación de los vertidos de aguas residuales, muy frecuentes en nuestras orillas. Las zonas del litoral influidas por los vertidos se caracterizan por un excesivo crecimiento de las algas macrófitas más resistentes a las condiciones impuestas por las aguas fecales, sobre todo *Ulva*, *Enteromorpha* y *Corallina*. Además son más pobres en diversidad de especies.

Siguiendo a M. Aubert y J. Aubert (3), el término "trofia" o "trophie" (procedente del griego *trophos*: nutrición, alimento) expresa la base de procesos de "proliferación de la biomasa primaria", los productores vegetales. El prefijo "eu" calificaría de *excelente* la biomasa de vegetales en un sistema acuático





pero no suele responder a la realidad puesto que una sobreabundancia vegetal (fitoplanctónica, algal) suele ser, el primer estadio de una evolución hacia la “distrofia”, es decir, la destrucción de la flora y la fauna de un sistema biológico.

### Algunos antecedentes bibliográficos del binomio contaminación-eutrofización

La eutrofización sucede de forma natural, está normalmente asociada con fuentes antropogénicas de nutrientes contaminantes y supone un proceso de cambio de un estadio trófico a otro superior a causa de la adición de nutrientes. Las repercusiones de la contaminación y la eutrofización en el mar han sido recogidas por numerosos autores. Así, la contaminación por residuos nitrogenados de una factoría de pescado produjo eutrofización, con excesivo crecimiento de *Ulva lactuca* estropeando una “plantación” del alga productora de agar-agar, *Gracilaria verrucosa* (4).

Algunos, como Harlin, M.M. (5), estudian en una pequeña cala contaminada por un vertido de aguas residuales, cómo una comunidad eutrofizada se regenera cuando cesa la causa de la contaminación y eutrofización. Inicialmente sólo crecía prácticamente el alga *Ulva lactuca*. El vertido fue desviado y después de un año, el área total cubierta por el alga se había reducido desde el 74% hasta el 3%. Y el número de especies aumentó notablemente, de forma que del “monocultivo” de *Ulva* se pasó a una población vegetal compuesta por angiospermas (dos especies), y algas superiores: seis especies de clorofitas, nueve de feofitas y 12 de rodofitas, además de un aumento del número de invertebrados. La utilización de *Ulva* sp. como bioindicador también es citada por algunos autores (6). Esta alga se encuentra con mucha frecuencia creciendo en luga-

(Izda.) Fig 3. Barranco Real de Telde. Afloramiento de las aguas fecales que ascienden del fondo, por la rotura de un antiguo emisario submarino, en rojo en las fotografías. (Dcha.) Fig. 4. Extensísima zona eutrofizada de la punta de La Mareta muy poblada de *Ulva rigida*.

res contaminados por aguas residuales domésticas, reflejando así su capacidad para crecer bajo tales condiciones.

La Charca de Maspalomas, un sistema acuático muy antropizado, en el que frecuentemente se producen mortandades de peces, está sometida a una intensa contaminación de nutrientes que la ha llevado hasta su situación eutrófica actual. La entrada de nutrientes que ha provocado la contaminación está asociada al agua dulce del acuífero que la alimenta, y se hace más patente en las épocas en las que las entradas de agua son mayores (7).

Finalmente, Pinedo *et al.* (8) desarrollan la idea de que las comunidades de algas en el litoral rocoso definen el estado de contaminación-eutrofización, situando las comunidades de *Ulva* sp. como el estado más deteriorado por ambos factores y las de *Cystoseira mediterranea* como el menos deteriorado.

### CONTAMINACIÓN Y EUTROFIZACIÓN: ESTUDIO EN EL LITORAL DE TELDE

Un ejemplo del binomio contaminación-eutrofización producido por aguas residuales sin depurar en una playa de baños y su entorno litoral rocoso lo hemos estudiado en el litoral de la playa de La Garita en Telde (Gran Canaria), a partir de datos bacteriológicos de los años 2002 a 2010 y de los asentamientos de algas macroindicadoras. Del estudio se concluye que todo el litoral comprendido entre el barranco Real de Telde (Fig. 1, 3) hasta la rasa intermareal de Hoya del Pozo, hacia el sur, sufre una contami-

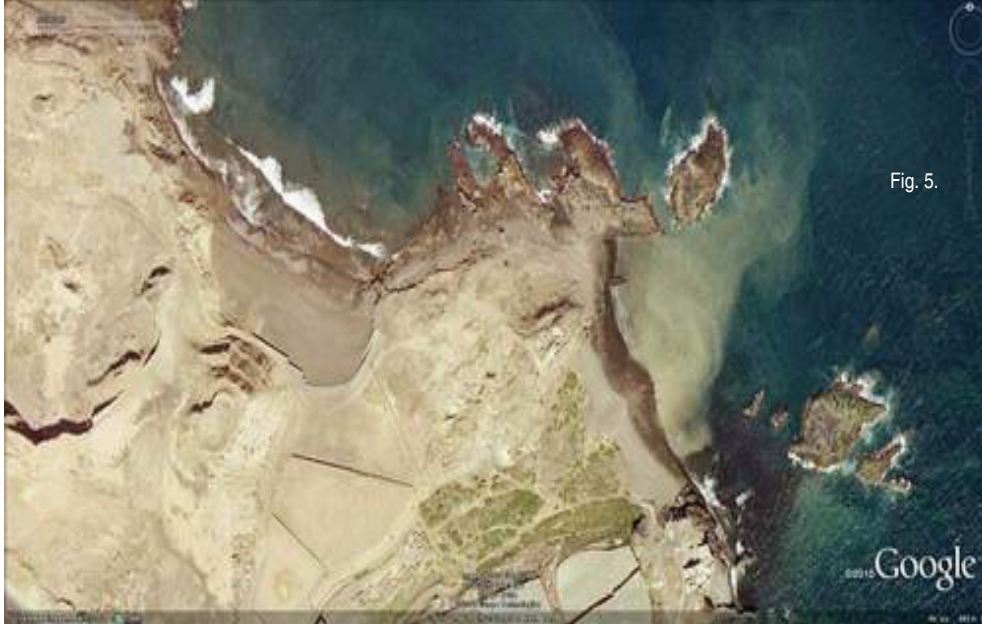


Fig. 5.



nación crónica por aguas residuales. Es decir, el agua de baño de La Garita no satisface la normativa europea de aguas de baño, la Directiva 2006/7/CE, de gestión de la calidad de las aguas de baño porque está contaminada por el vertido de aguas residuales del Barranco Real de Telde, situado a unos 2900 m al norte (9).

Las aguas del vertido forman un penacho litoral (Fig. 1) que alcanza la playa de San Borondón, la Punta de La Mareta y prosiguen hacia el sur (Fig. 4), contaminando la zona de baños de La Garita y los primeros 200-250 metros de la rasa intermareal entre La Garita y Hoya del Pozo.

El crecimiento exuberante de *Ulva rigida* en las rocas de la zona de baños, denota eutrofización causada por la contaminación del Barranco de Telde. Si a las rocas le llegan nutrientes para generar ese crecimiento, al agua de la playa le llegan, además, los patógenos que suponen un riesgo sanitario para los bañistas. Sobre la arena de la playa no crecen las macroalgas al ser un sustrato muy inestable por la dinámica de las olas.

En la fotografía de satélite del vertido del Barranco de Telde (Fig. 5) que vemos en esta página, se puede ver que las aguas residuales vertidas son transportadas hacia el Norte por la corriente superficial marina generada por el viento reinante (en este caso viento S-SE). Esta variación de la dirección de la corriente contribuye a que las aguas de baño de La Garita no se encuentren siempre “contaminadas”, como veremos más adelante (Fig. 6). En todo caso, la dirección del viento más frecuente en la zona es la de NE (vientos alisios), que producen corrientes superficiales de dirección Sur que arrastran las aguas vertidas originando la eutrofización del litoral rocoso y la contaminación microbiana de las aguas de baño.

### Contaminación microbiana de las aguas de baño de La Garita

Hasta ahora hemos analizado la eutrofización a partir de la gran biomasa de las algas macroindicadoras de contaminación, *Ulva rigida*. El “estado o nivel de contaminación” se determina por el valor cuantitativo que alcanza un “contaminante” en un medio natural. Las zonas de baños se definen a través de los parámetros bacterianos indicadores de contaminación. La Directiva 2006/7/CE establece los parámetros *Escherichia coli* (Coliformes Fecales-CF) y Enterococos Intestinales. Por tanto para establecer si hay o no contaminación en un agua de baño se han de realizar análisis bacteriológicos con una determinada frecuencia y un número suficiente de muestras durante un período de tiempo también suficientemente extenso, a criterio de los especialistas.

En nuestra opinión la playa de La Garita se contamina a causa del vertido del Barranco Real de Telde. Dentro de un mismo período de muestreo (que suelen abarcar un año natural), presenta una gran variabilidad de concentraciones de CF/100 ml. Encontramos subidas y bajadas repentinas de la concentración de CF de un muestreo al siguiente. También se constata que la playa permanece contaminada o libre de contaminación durante varios muestreos seguidos. Este hecho se debe a que las aguas del vertido no acceden de forma continua a la zona de baños: depende de la intensidad y la dirección de las corrientes superficiales marinas originadas por el viento. Los alisios de NE crean una corriente marina superficial hacia el sur, acercando el penacho hacia la playa y los vientos de componente Sur originarán corrientes hacia el Norte que alejan la contaminación de la zona de estudio.

En los resultados de los análisis bacterianos a lo largo de los años vemos este comportamiento de



subidas y bajadas bruscas de la concentración de CF de un muestreo al siguiente o, al contrario, la constancia de la contaminación entre varias muestras consecutivas. Como ejemplo, véase que en el año 2006 pasamos de 610 CF/100 ml a aprox. 20 CF/100 ml o como en ese mismo año se obtienen concentraciones muy parecidas en tres muestras consecutivas (336, 360 y 344).

Como resultado de la contaminación producida por las aguas residuales, si aplicamos de forma retrospectiva la Directiva 2006/7/CE, la playa de La Garita no satisface los objetivos de calidad establecidos por la Directiva europea, de forma que en los años 2002 a 2010 nunca obtuvo la Calidad Excelente, que es imprescindible para ser declarada apta para el baño. En siete ocasiones produce Calidad Insuficiente y sólo en dos Calidad Buena (Fig. 6).

Figura :Playa de La Garita 2006.: Valores de Coliformes Fecales/100 ml obtenidos a lo largo del año

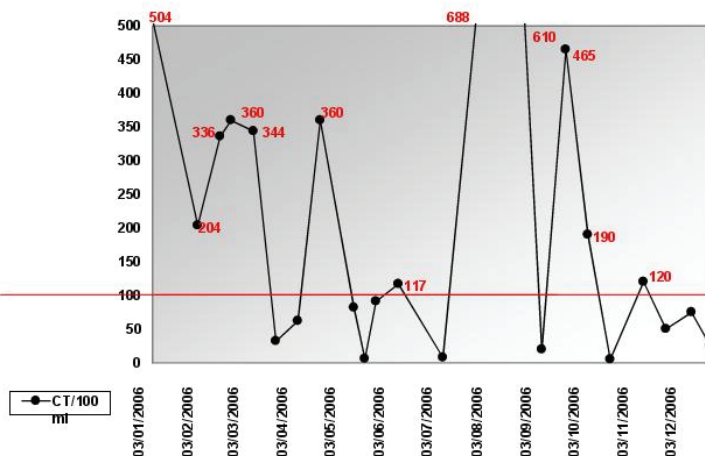


Fig 6. En las dos primeras gráficas se representa la evolución de las concentraciones de Coliformes Fecales en dos años típicos del estudio. Se observan continuas oscilaciones a lo largo del año, lo que indica que las aguas del vertido no acceden siempre con la misma intensidad. En la tercera gráfica se comprueba la no satisfacción de la Calidad Excelente en todo el periodo estudiado.

FIGURA : Playa de La Garita 2002. Valores de Coliformes Fecales/100 ml obtenidos a lo largo del año.

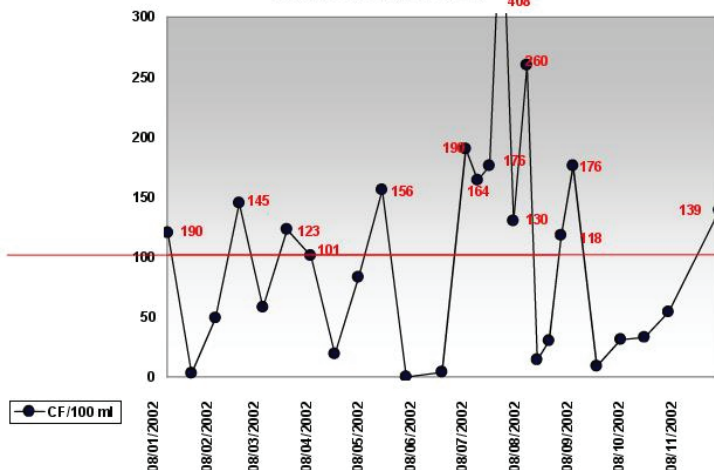
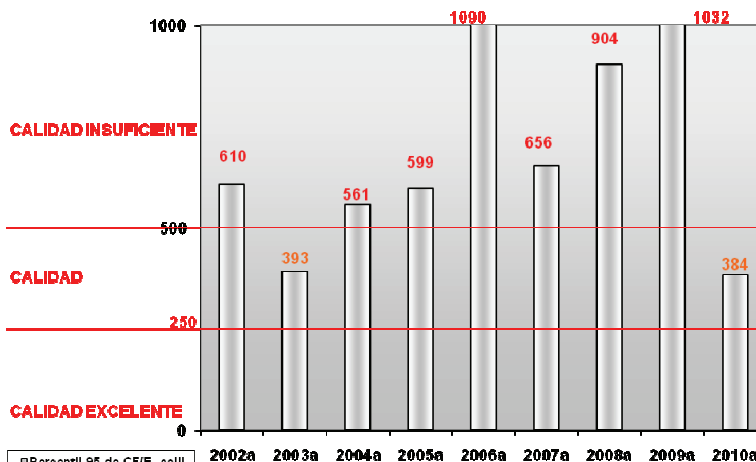


Figura : Playa de La Garita (Telde, Gran Canaria). Valores del percentil 95 de CF/E. coli/100 ml de los años 2002 a 2010.



## Bibliografía

- (1) Davis, J.G. 1971. Dairy Microbiology (R.K. Robinson, Ed.). Vol 1, PP. 31-90. Applied Science. London.
- (2) Margalef, R. 1982. Ecología. Omega. Barcelona. 951 págs.
- (3) Aubert, M. and J. Aubert. 1986. C.E.R.B.O.M. 83 at 84. Niza.
- (4) Anderson, R.J., P.M.S. Monteiro & G.J. Levi. 1996 Hydrobiologia 326-327: 291-296.
- (5) Harlin, M. M. 1989. Journal of Phycology. 25 (2 suppl): 16.
- (6) Ho, Y.H. 1988. Aquatic Botany. 29 pp. 367-372.
- (7) Almunia, J. 1998. Tesis Doctoral. ULPGC.
- (8) Pinedo, S. et al. 2011. Ayuntamiento de Telde.

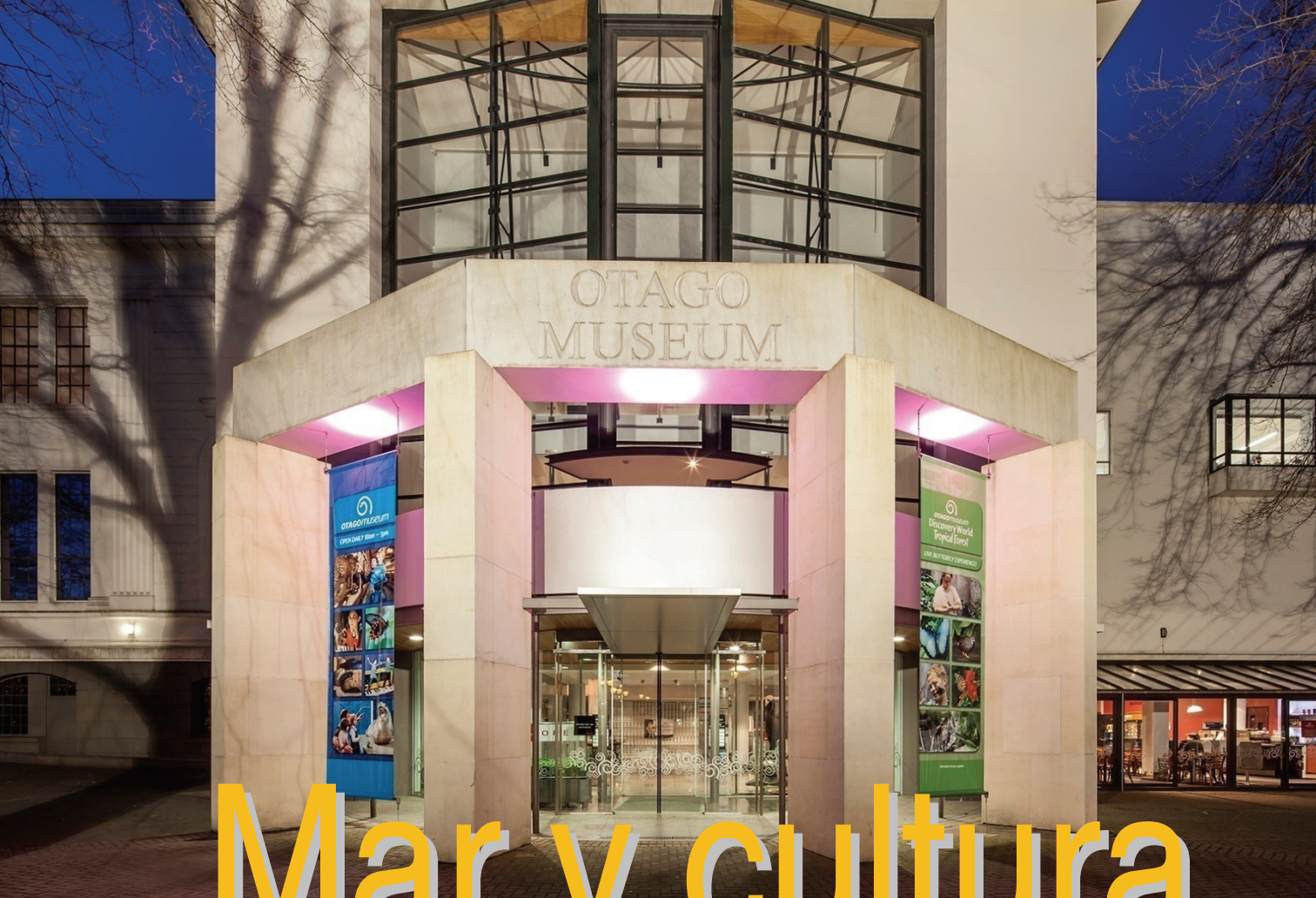


Fig. 1.

# Mar y cultura

## Museo de Otago (Nueva Zelanda)

**Ángela M<sup>a</sup> Caballero Alfonso**

Dunedin es una ciudad ubicada en la costa sureste de la isla sur de Nueva Zelanda. Según los datos proporcionados por el ayuntamiento (1), tienen una población de 123.000 personas de los que unos 25.000 son estudiantes. Con esa proporción no es de extrañar que ciencia, naturaleza y herencia cultural jueguen un papel importante en la ciudad. Por ser una ciudad costera, tiene acceso a un impresionante y diverso ambiente marino. Playas de arena, estuarios, costas rocosas y un puerto hacen que este lugar tenga un valor especial, tanto para los residentes como para los visitantes. Dentro de los límites de la ciudad está la única colonia reproductiva en tierra del Albatros Real del Norte (*Diomedea sanfordi*), una ave marina inmensa con una envergadura de 3 metros cuando tiene las alas abiertas.

La Península de Otago (Dunedin) también alberga a uno de los pingüinos más raros del mundo, el Pingüino de Ojo Amarillo, (*Megadyptes antipodes*) es el mayor pingüino que anida en Nueva Zelanda y que además está en peligro de extinción por la destrucción de su hábitat y la introducción de animales como el perro o el armiño. También se pueden ver al león marino de Nueva Zelanda (*Phocarctos hookeri*), lobos marinos de Nueva Zelanda (*Arctophoca fosteri*) y pingüinos azules (*Eudyptula minor*).

El Museo de Otago (2) en Dunedin abrió sus puertas por primera vez el 15 de Septiembre de 1868. Comenzó siendo un pequeño museo de historia natural, pero en 1877 se trasladó a su ubicación actual (Fig. 1). Ya en 1929 era considerado el mejor museo didáctico de la *Commonwealth*, debido al fuerte vínculo que tenía con la Universidad de Otago. A comienzos de 1900 la colección del Museo se



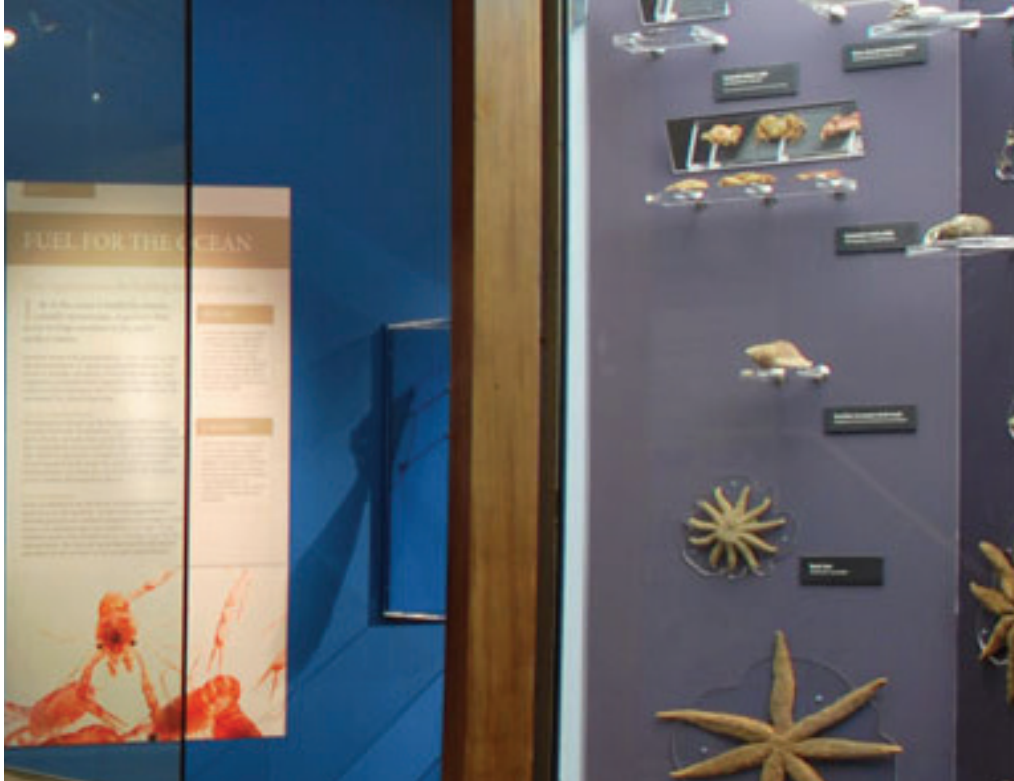


había ampliado con la incorporación de numerosos objetos de humanidades, con un enfoque especial hacia los elementos Maoríes. Hoy el Museo de Otago cuenta con siete galerías permanentes y numerosas exhibiciones especiales. En 1991 se creó *Discovery World*, un centro interactivo de ciencia para incorporar así la Física a los temas ya existentes de Ciencias Naturales y Cultura. A comienzos del 2000 se incorporó el *Search Centre*, donde los visitantes pueden observar de cerca diferentes objetos como huesos de Moa (un ave no voladora nativa de Nueva Zelanda que se extinguió hace unos 500 años), y donde también son introducidos al método de investigación científico. En 2007 se abrió el *Tropical Forest*, un espacio en el que se reproduce lo que es un Bosque Tropical con unas mil quinientas mariposas procedentes de Filipinas y Sudamérica, tortugas, tarántulas y varias especies de pájaros y plantas; todo en torno a una cascada que ayuda a mantener una humedad aproximada del 80%.

### La cultura maorí en la forma de acción del museo

En muchas de las galerías se puede ver como cultura y medioambiente están íntimamente relacionados en Nueva Zelanda, así como una gran influencia del medio marino. Los Maoríes tienen vínculos muy fuertes con la naturaleza y esto ayuda a entender por qué el Museo de Otago trabaja para promover esa relación entre las ciencias naturales, la población local y la investigación, exhibiendo y dando a conocer cualquier hallazgo a los visitantes. El ejemplo más claro de esto es Autahi (Fig. 2), una

hembra de leopardo marino que murió en la playa de Waikouaiti, al norte de Dunedin, en Noviembre de 2009. Los leopardos marinos viven en la Antártida durante el verano y en las islas Subantárticas durante el invierno. Sin embargo, a veces los juveniles se atreven a viajar más lejos, llegando incluso a las islas Cook, por lo que no es raro encontrar alguno en las costas de Otago, durante el invierno. Pero lo que hace a Autahi especial es que es un adulto. El Departamento de Conservación de Nueva Zelanda (DOC) y la *iwi* (Maoríes locales) fueron notificados de la muerte del animal, que fue retirado una vez bendecido por miembros de la *runaka* (consulado de la *iwi*) local *Kati Huirapa ki Puketara-ki*. Esto es porque cada *runaka* cuida y vigila por su *rohe* (un territorio dentro de un área mayor que pertenece a la *iwi*). La ubicación del mamífero marino varado es la que indica qué representantes *iwi* deben formar parte de la ceremonia. En este caso, la *runaka* a la que se le asignó la leopardo marino la llamó Autahi, en referencia a la estrella que aparece en el cielo al amanecer durante el Año Nuevo Maorí (*Matariki*). La necropsia determinó que cuando Autahi murió sufría de una infección en la encía, porque se le había clavado una espina de pez elefante (*Callorhinchus milii*), de la familia *Chimeridae*. Sin embargo, la causa final de la muerte fue una infección por neumonía, que seguramente se agravó por la infección de la boca y el hecho de que no pudiera alimentarse. Toda esta información aumenta nuestro conocimiento sobre Autahi y la vida que tenía, aumentando la información que podemos compartir con los visitantes.



## Referencias

- (1)  
<http://www.dunedinnz.com/visit/about/facts-figures> (Última visita: 2/11/2014)
- (2)  
<http://www.otagomuseum.govt.nz/> (Última visita: 2/11/2014)

Fig. 2. Autahi, una hembra de leopardo marino exhibida en el Museo de Otago tras su varamiento en 2009.

En ocasiones, DOC y la iwi le dan permiso al Museo de Otago para involucrarse cuando un mamífero marino aparece varado. Emma Burns y Trudi Webster, miembros del equipo de Colecciones e Investigación, son las encargadas de responder a esa llamada. El papel que juegan en la investigación varía y puede implicar desde asistir a la iwi y al DOC con información o coger datos y muestras. Como parte del proceso de recuperación, Emma y Trudi deben considerar si el animal o partes del él son de interés para la colección del museo, lo que también dependerá del consentimiento de la runaka, como ocurrió con Autahi.

### El mar como iniciación a la ciencia para los visitantes

Un museo no es sólo un lugar donde conservar y poder admirar objetos. Un museo, además, debe ser entretenido y educativo. El Museo de Otago lo tiene todo. Los equipos responsables de interacciones con el Visitante y Programas, desarrolla varias actividades para familias y colegios que cubren todos los campos. Amadeo Enríquez Ballesteros es uno de nuestros comunicadores científicos. Es de Madrid pero se mudó a Nueva Zelanda en 1999, “siguiendo un impulso” como él lo describe. Es geólogo pero una de sus pasiones es el mar, lo que trata de reflejar en muchos de los programas que desarrolla. Algunos ejemplos son sus sesiones de *Discovery Club* o las exploraciones que se hacen en *Discovery World*, donde los presentadores hablan de temas como la circulación oceánica, la acidificación de los océanos o incluso de pulpos entre otros temas mari-

nos. En el espectáculo *Fishy fishy show* por ejemplo, se explica la adaptación de los peces a su entorno mediante divertidos experimentos, como enseñar la función de la vejiga natatoria usando una botella con agua, un globo y un poquito de presión (Fig. 3).

Como científica marina interesada en la comunicación de la ciencia, me quedé embrujada por todo lo que el Museo de Otago tiene para ofrecer. Tras un año trabajando aquí, sigo viendo la infinidad de posibilidades que este trabajo me da para compartir mi pasión por el medio marino y la ciencia. Ser parte de ese proceso de aprendizaje con los visitantes, especialmente con los más pequeños, cuando descubren todo lo que los océanos escondían y que ya no les es un secreto, es una experiencia inigualable para cualquier científico marino.



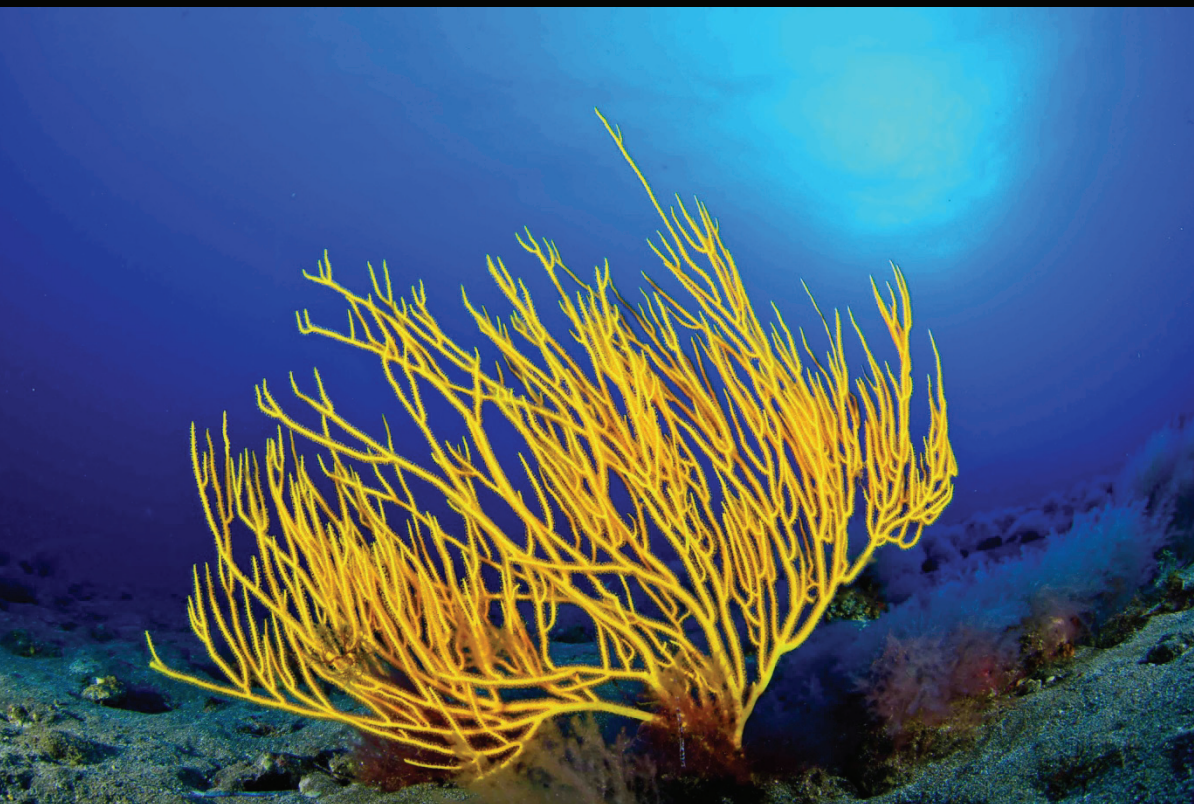
Fig. 3. Amadeo Enríquez Ballesteros frente a un acuario en el Museo de Otago explicando el funcionamiento de los peces.



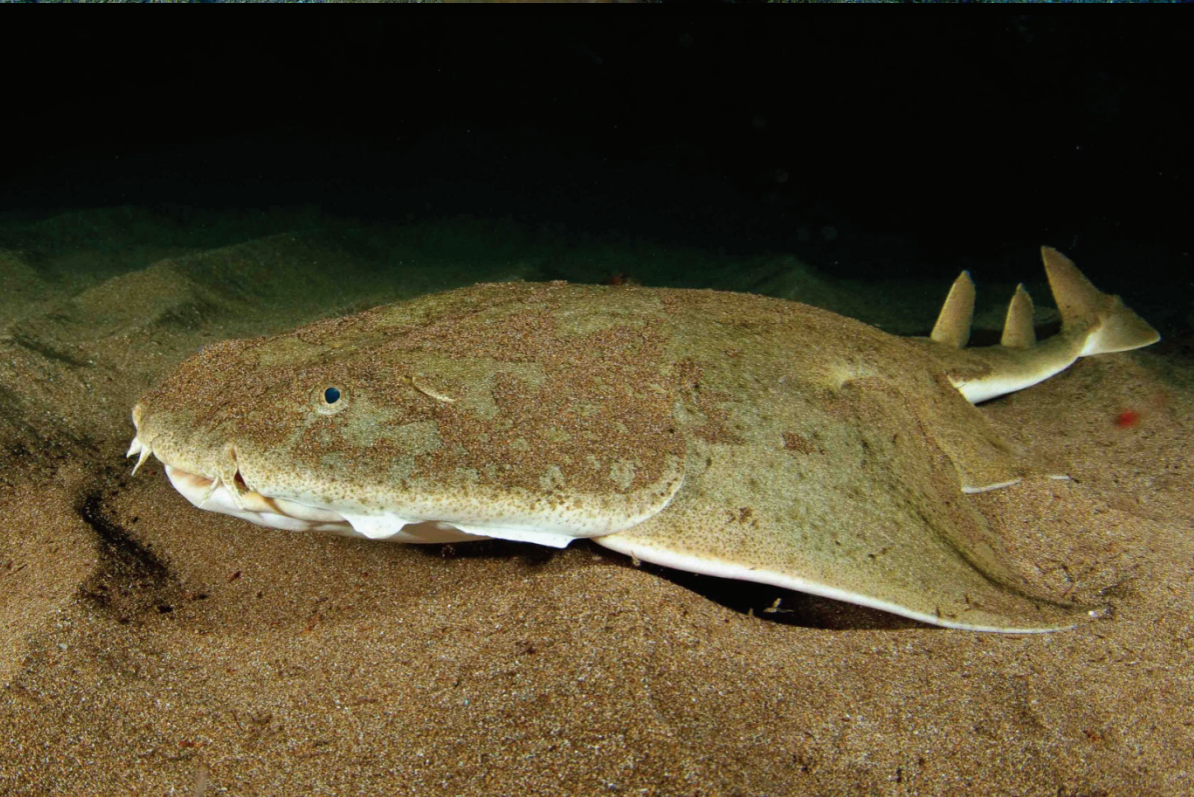
## Okeanos de fotos

**Aketza Herrero**, licenciado en Ciencias del Mar, apasionado de la fotografía submarina y enamorado de los fondos marinos de Canarias, lleva poco más de 5 años documentando las diferentes especies canarias mediante equipo autónomo de buceo. Su equipo es: una Nikon D-90 en carcasa Nauticam, dos flashes Inon Z-240, Sigma 105 mm para macro, Tokina 10-17 para ambientes y Tokina 17-70 para todo un poco. Fotos realizadas en las islas de: Gran Canaria 1,2,5,6,7 y 9), El Hierro (3), Lanzarote (4) y Tenerife (8).

Foto 1: Gorgonia amarilla (*Leptogorgia viminalis*) Gran Canaria.  
Foto 2: Angelote (*Squatina squatina*) Gran Canaria.  
Foto 3: Mero (*Epinephelus marginatus*) El Hierro.  
Foto 4: Babosa de mar (*Flabellina affinis*) Lanzarote.  
Foto 5: Esponja amarilla (*Aplysina aerophoba*) Gran Canaria.  
Foto 6: Caracol burbuja (*Micromelo undatus*) Gran Canaria.  
Foto 7: Gerardia (*Gerardia savaglia*) Gran Canaria.  
Foto 8: Banco de roncadores (*Pomadasys incisus*) Gran Canaria.  
Foto 9: Tortuga verde (*Chelonia mydas*) Tenerife.



1



2



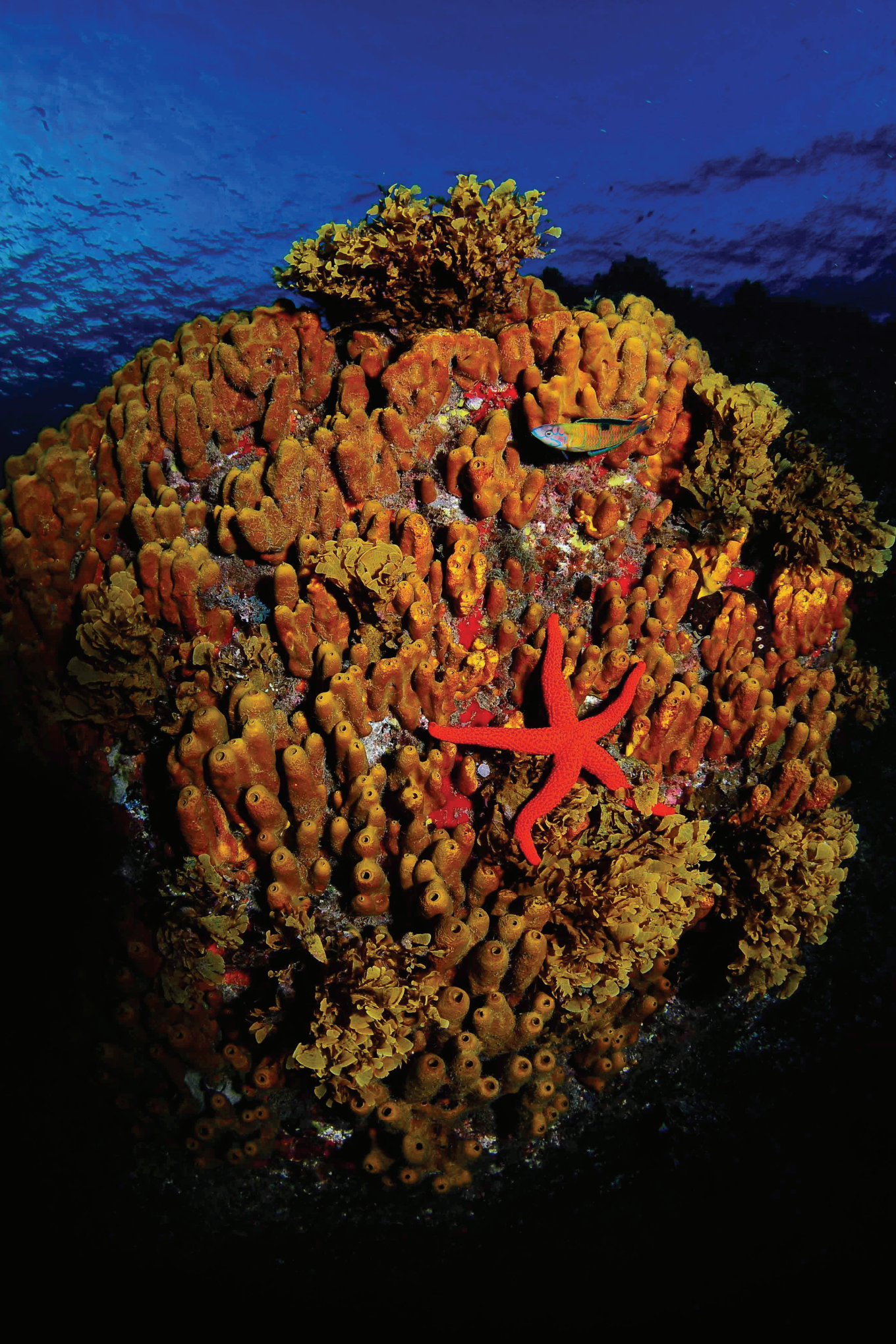


3



4

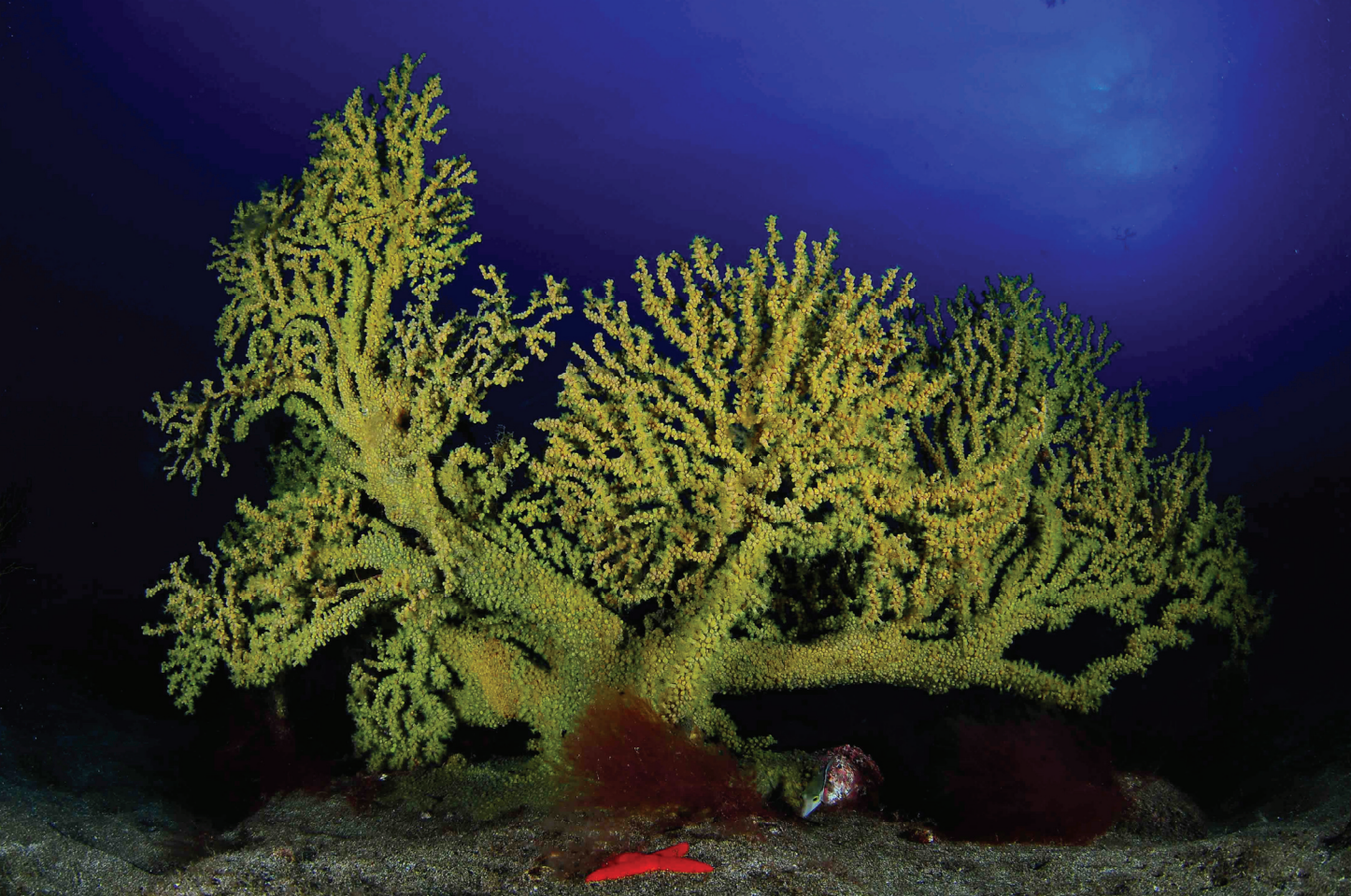












7

8









## Okeanos de fotos

**Yeray Pérez González:** naturalista por devoción, desde los 4 años, y oceanógrafo de profesión. Comenzamos, mi hermano y yo, con la fotografía a los 11-12 años, compré mi primera cámara reflex rusa a los 18 años, tras cobrar 16.000 pesetas en la obra de renovación moviliaria de un conocido hotel capitalino (LPGC).

Equipo analógico (empleado hasta 2010): Cámara Nikon F65, con 3 objetivos: Sigma zoom 28-80 mm, Nikon 50 mm, Nikon zoom 70-300 mm.

Equipo digital (desde 2010): Cámara Nikon D300s, con 4 objetivos (analógicos): Sigma zoom 28-80 mm, Nikon 50 mm, Nikon zoom 70-300 mm, Zoom 19-28.

Foto 1. Bisbita caminero (*Anthus berthelotii*) en la Isla de Lobos.

Foto 2. Camuflaje - color de agua.

Foto 3. Cangrejo moro (*Grapsus adscensionis*).

Foto 4. Charca de Maspalomas (charranes y zarapitos).

Foto 5. Charrán patinegro (*Sterna sandvicensis*).

Foto 6. La Graciosa, Lanzarote.

Foto 7. Playa costa Oeste Fuerteventura.

Foto 8. Playa Jandía Sotavento, Fuerteventura.

Foto 9. Preparado para la traña.



1



2













6

7



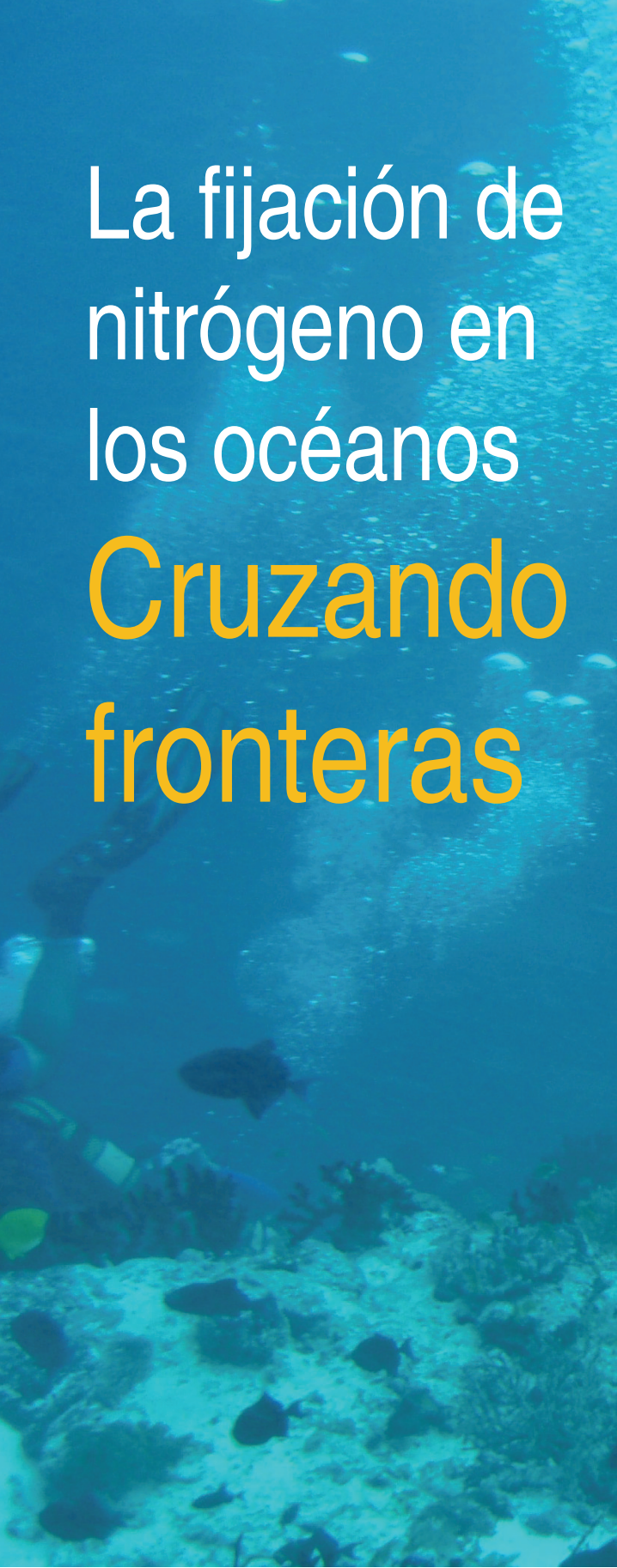










An underwater photograph showing a diver in the lower left, swimming towards the right. Several small fish are visible in the water. The background is a deep blue, suggesting a deep-sea environment. The title text is overlaid on the left side of the image.

# La fijación de nitrógeno en los océanos

## Cruzando fronteras

**Mar Benavides Gorostegui**

Una cifra que solemos escuchar sobre el océano es que ocupa un 71% de la superficie de nuestro planeta. Quizá otras cifras menos conocidas por el gran público sean el 50% del oxígeno global que producen los productores primarios marinos más abundantes (esas pequeñas algas de apenas milésimas de milímetro de tamaño que llamamos fitoplancton), o el 33% del dióxido de carbono atmosférico que absorbe el océano a escala global. Desaparece el dióxido de carbono, aparece el oxígeno y la materia orgánica, un proceso que llamamos fotosíntesis, y que sería imposible sin dos factores indispensables: la luz y los nutrientes. En este artículo quisiera hablar del nitrógeno, que es, junto con el fósforo, el principal limitante de la producción primaria en el océano.

El nitrógeno es limitante en el océano por su baja disponibilidad. El nitrógeno asimilable por las microalgas está mayormente acumulado en las grandes profundidades del océano, lejos de las aguas bañadas por el Sol donde éstas viven. Esto viene siendo una paradoja, ya que tanto los nutrientes como la luz son necesarios para la producción primaria. En zonas de mar abierto como en los giros subtropicales donde la columna de agua está estratificada a lo largo de todo el año, resulta muy difícil que estos nutrientes de las profundidades lleguen a la superficie (paso 1 de la Fig. 1), dejando concentraciones de nitrógeno en la superficie tan ínfimas que apenas se pueden medir con los aparatos disponibles actualmente. Y aquí es donde entran en juego los microorganismos que quiero presentar: los Diazótrofos (del griego di=dos, azo=nitrógeno, trofos=nutrición, o lo que es lo mismo: fijadores de dinitrógeno o  $N_2$ ). En el agua de mar, podemos encontrar nitrógeno en distintas formas: nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno orgánico disuelto, etc, pero sin duda, el que más abunda es el  $N_2$ . De todos los microorganismos del océano, únicamente los diazótrofos son capaces de utilizar esta fuente casi infinita de nitrógeno. Los diazótrofos toman el  $N_2$  y lo convierten en amonio (paso 2 de la Fig. 1), forma ya asimilable por el fitoplancton, y por tanto la “gasolina” de la producción primaria (paso 3 de la Fig. 1). La fijación de  $N_2$  constituye, por tanto, un importante proceso a escala global y ejerce un importante control sobre nuestro clima.

El paso 1 indica el afloramiento de aguas ricas en nitrato ( $NO_3^-$ ) a través de la termoclina. Un proceso inhibido en las aguas estratificadas de los giros subtropicales oceánicos. El paso 2 indica la fijación de  $N_2$ , que ocurre según la ecuación  $N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16Pi$ . Este proceso



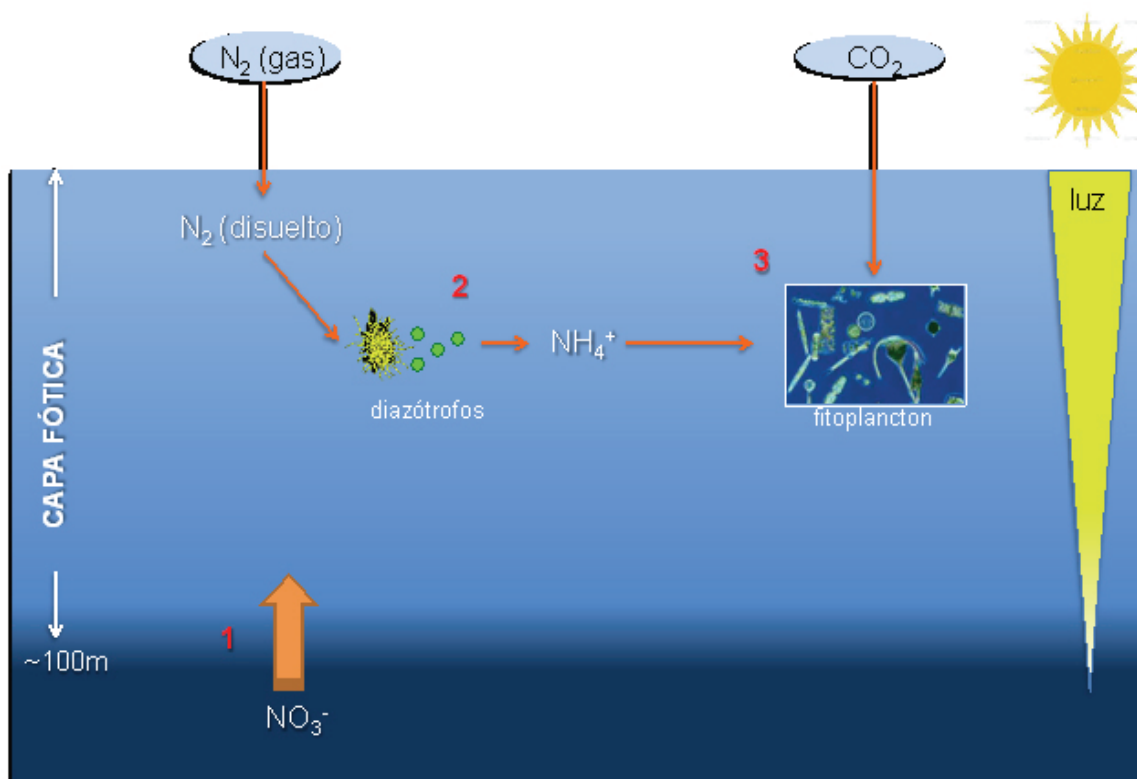


Fig. 1. Esquema de la fijación de  $N_2$  en la capa fótica del océano.

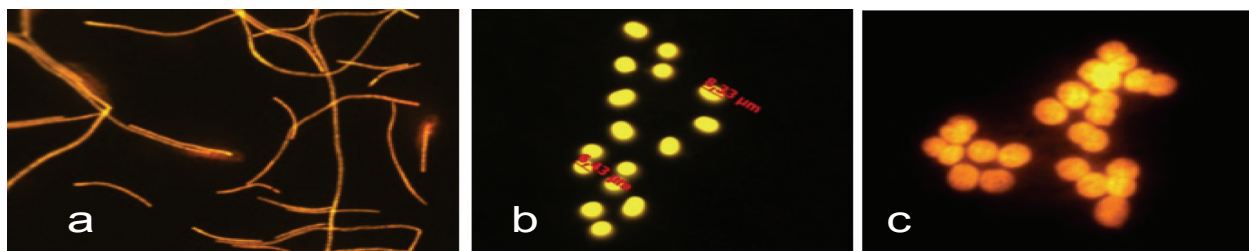


Fig. 2. Fluorescencia naranja natural de cianobacterias diazótropas marinas recogidas en la laguna coralina de Nueva Caledonia. (a) Filamentos de *Trichodesmium*; (b) *Crocosphaera* (UCYN-B); (c) UCYN-C. Fotos de Mercedes Camps y Hugo Berthelot.

produce amonio ( $NH_4^+$ ), que es un sustrato asimilable por el fitoplancton, una fuente de nutrientes para la producción primaria (paso 3). El  $NH_4^+$  puede también transformarse en  $NO_3^-$  a través de otros procesos mediados por microorganismos marinos.

Y, ¿quiénes son estos diazótropos? Fundamentalmente, se trata de cianobacterias, ya sean filamentosas como *Trichodesmium* (Fig. 2a), o unicelulares como las del grupo UCYN-B (Fig. 2b) o UCYN-C (Fig. 2c).

Sin embargo, recientemente se ha descubierto que otros microorganismos, las bacterias diazótropas, predominan en el océano (1). Esto supone un gran cambio en la dirección que deben tomar las investigaciones de fijación de  $N_2$  marina. Las cianobacterias, además de fijar  $N_2$ , hacen la fotosíntesis, pero las bacterias, aunque pueden fijar  $N_2$ , dependen de una fuente externa de materia orgánica para sobrevivir debido a su metabolismo heterotrófico ya que son

incapaces de usar el  $CO_2$  como fuente de carbono. Esto implica que, al no ser fotosintéticas, las bacterias diazótropas podrían en principio habitar más allá de la zona fótica, que solo alcanza aproximadamente los primeros 100 m de la columna de agua, mientras que la profundidad media de los océanos ronda los 4000 m de profundidad. Este hecho aumentaría de forma más que considerable, las fronteras donde se creía que la fijación de  $N_2$  podía existir.

¿Pero realmente es posible? La fijación de  $N_2$  en profundidad, donde no hay luz, puede parecer no tener sentido ecológico, y de hecho aún no comprendemos cómo ni por qué ocurre, ni en qué magnitud o en qué zonas de los océanos es más o menos importante. Una gran incógnita que algunos oceanógrafos han empezado a desvelar, como el grupo liderado por Sophie Bonnet (del Instituto Mediterráneo de Oceanografía, en Marsella, Francia) que ha medido tasas de fijación de  $N_2$  (esto es, cantidad de  $N_2$  fijado



por unidad de tiempo y unidad de volumen de agua de mar) hasta los 2000 m de profundidad en aguas cercanas a la costa chilena donde se encuentra una pronunciada zona mínima de oxígeno (2). Otra de las pocas evidencias son los estudios realizados por el grupo de Ilana Berman-Frank (de la Universidad Bar-Ilan de Israel), que ha medido fijación de  $N_2$  hasta los 700 m de profundidad en la cuenca levantina del Mar Mediterráneo y en el Golfo de Aqaba (3). En estas zonas, se ha estimado que la fijación de  $N_2$  profunda aporta >80% de la fijación de  $N_2$  total en toda la columna de agua. Si esto fuese extrapolable a otras zonas del océano, ¿cuánto aumentaría la tasa de fijación de  $N_2$  global? Conocer la cantidad de nitrógeno disponible en nuestros océanos es esencial para conocer su capacidad captadora de  $CO_2$ , y por tanto, su capacidad de atenuar el calentamiento global.

Todo apunta a que la fijación de  $N_2$  profunda ocurre asociada a partículas o a zonas mínimas de oxígeno (OMZ en sus siglas en inglés). Las OMZ son zonas donde ocurre el proceso contrario a la fijación de  $N_2$ , la desnitrificación (transformación del  $NO_3^-$  en  $N_2$  mediada por bacterias). En la costa de Perú y Chile se encuentra la mayor OMZ del mundo, donde se han encontrado tasas de fijación de  $N_2$  considerables, principalmente asociada a diazótrofos heterótrofos (2, 4). La diversidad y abundancia de diazótrofos en los océanos se ha venido estudiando a través de la diversidad de secuencias y abundancias del gen *nifH*, el gen que codifica parte de la enzima nitrogenasa, que es la que cataliza el proceso de la fijación de  $N_2$ . Las investigaciones más recientes indican que las sondas utilizadas para estimar la abundancia de diazótrofos mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR en sus siglas en inglés) no son suficientemente específicas como para abarcar la diversidad de diazótrofos heterótrofos del océano (4, 5). El diseño de nuevas sondas nos permitirá estimar con mayor exactitud la diversidad y abundancia de estos microorganismos.

Además de en las OMZ, un diazótrofo heterótrofo podría vivir a bordo de una partícula, algo que supone enormes ventajas. Las partículas desprenden materia orgánica y gozan de acusados gradientes de oxígeno, que es inhibidor de la enzima nitrogenasa, responsable última del proceso de fijación de  $N_2$ . Dado el metabolismo heterótrofo de estas bacterias diazótrofes, parece lógico que una mejor comprensión de la materia orgánica nos ayudará a comprender el *dónde*, *quiénes*, *cuánto* y *cómo* de la fijación de  $N_2$  en aguas profundas. Con el proyecto DIADOM ("Interactions between diazotrophs and organic matter in the ocean", financiado por las *Marie Skłodowska-Curie Actions*), pretendemos resol-

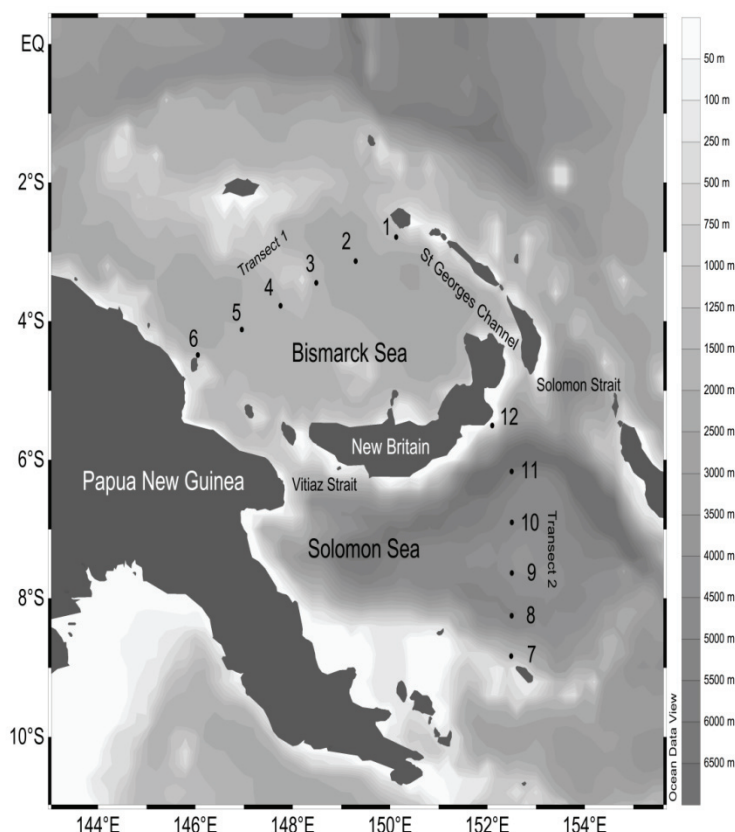


Fig. 3. Mapa de estaciones muestreadas durante la campaña MoorSPICE a bordo del buque oceanográfico estadounidense Thomas G. Thompson. La campaña tuvo lugar entre el 28 de Febrero y el 31 de Marzo de 2014. La escala de grises indica la profundidad del fondo marino.

ver este enigma combinando la geoquímica orgánica con la biología molecular para así comprender *dónde* viven las bacterias diazótrofes, *quiénes* son, *cuánto*  $N_2$  fijan, y *cómo* todo lo anterior se ve condicionado por la materia orgánica presente en el agua de mar.

La materia orgánica disuelta en el océano (DOM en sus siglas en inglés) alberga tanto carbono como hay en la atmósfera en forma de dióxido de carbono ( $700 \times 10^3$  Tg el primero y  $750 \times 10^3$  Tg el segundo; 6). Esto implica que cualquier cambio en este reservorio tiene consecuencias climáticas a escala global. A pesar de su gran importancia, la comunidad científica se ha preocupado mucho más de medir el dióxido de carbono que de medir el DOM, algo que está empezando a cambiar. En las últimas décadas hemos empezado a conocer cuál es la composición del DOM, y hasta qué punto es lábil (esto es, asimilable por los microorganismos marinos). Sin embargo, a día de hoy apenas se conoce un 30% de la composición molecular del DOM. Nuestro conocimiento ha de aumentar en los próximos años gracias



a la aplicación de técnicas de espectrometría de masas de alta resolución. En el proyecto DIADOM, hemos comenzado a aislar el DOM para analizarlo a través de la técnica conocida como “*Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry*” (o FT-ICRMS para los amigos), que nos permitirá conocer de forma detallada el DOM que hay en nuestras muestras.

El reto ahora está en poder relacionar las tasas de fijación de  $N_2$  con la abundancia de diazótrofos y la composición del DOM. Para ello estamos centrando nuestros esfuerzos en el Pacífico Sur, una zona del océano poco conocida, sobre todo en lo que a fijación de  $N_2$  se refiere. Recientemente, en una campaña oceanográfica en el Mar de Salomón y el Mar de Bismarck (Fig. 3), tomamos muestras entre 250 y 1000 m de profundidad para medir fijación de  $N_2$  en la zona mesopelágica. Los perfiles de la frecuencia de Brunt-Vaisala (Fig. 4; La frecuencia de Brunt-Vaisala es un parámetro que cuanto mayor es, indica mayor estabilidad de la columna de agua) sugieren que en las profundidades muestreadas (puntos blancos en la Fig. 4) la columna de agua era relativamente estable. Escogimos estos niveles dado que a mayor estabilidad, mayor probabilidad hay de que dicho nivel albergue una mayor concentración de partículas, y por tanto, hipotéticamente de fijadores de  $N_2$ . Especialmente, las zonas de “frontera”, esto es, de cambios bruscos en las condiciones oceanográficas, son buenas candidatas como zonas de acumulación de materiales.

En próximas campañas, queremos separar las partículas del resto de la muestra de agua para confirmar si la fijación de  $N_2$  en profundidad ocurre en relación a éstas. Además, suministraremos distintos tipos de DOM (rico en carbono, en nitrógeno o en fósforo) a muestras de agua de mar para dilucidar qué DOM “prefieren” los diazótrofos. Estos experimentos nos darán muchas respuestas sobre la magnitud de la fijación de  $N_2$  en profundidad y su regulación.

El proyecto DIADOM se encuentra ahora en su fase más experimental, en la que recogemos muestras en el océano y las analizamos en el laboratorio. En los próximos meses esperamos obtener los resultados que responderán a todas estas preguntas. Para ir conociéndolas de primera mano, os animo a entrar en nuestro blog ([diadompacific.blogspot.com](http://diadompacific.blogspot.com)) o en nuestra página de Facebook ([facebook.com/diadompacific](https://facebook.com/diadompacific)).

Así mismo, desde aquí animo a todos los estudiantes de Ciencias del Mar interesados en la oceanografía a atreverse a integrar disciplinas, como la biología molecular y la geoquímica, ya que es el único camino para solucionar las preguntas contemporáneas que nos plantea nuestro océano.

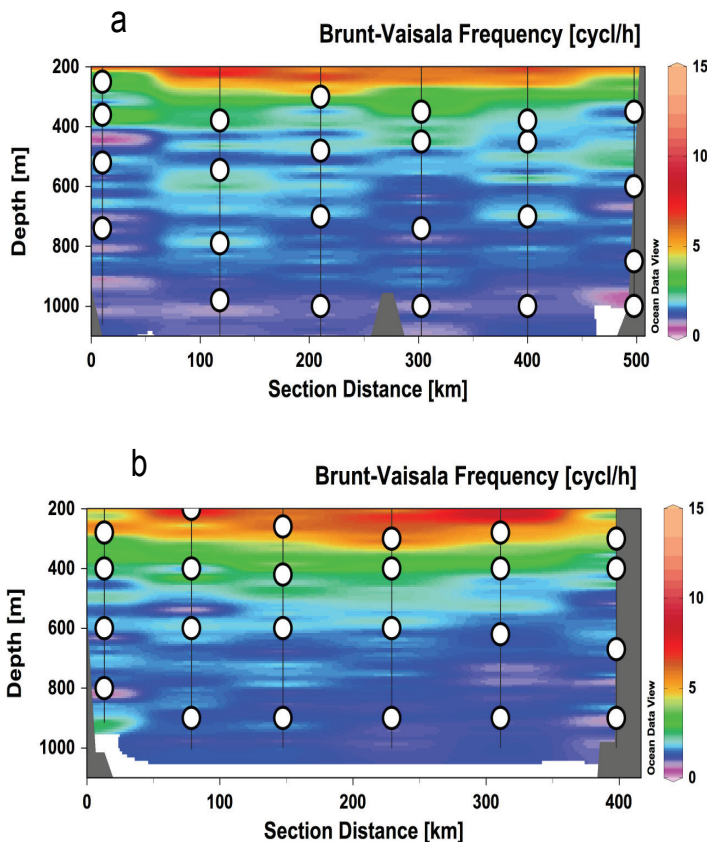


Fig. 4. Secciones de la frecuencia de Brunt-Vaisala medidas durante la campaña MoorSPICE. La figura 3a corresponde al transecto 1, la 3b al transecto 2.

### Bibliografía citada

- (1) Farnelid, H., A.F. Andersson, S. Bertilsson, W.A. Al-Soud, L.H. Hansen, S. Sørensen, G.F. Steward, Å. Hagström & L. Riemann. 2011. *PLoS ONE*, 6:e19223.
- (2) Bonnet, S., J. Dekaezemacker, K. A. Turk-Kubo, T. Moutin, R. M. Hamersley, O. Grosso, J. P. Zehr & D. G. Capone. 2013. *PLoS ONE*, 8: e81265.
- (3) Rahav, E., E. Bar-Zeev, S. Ohayon, H. Elifantz, N. Belkin, B. Herut, M. R. Mulholland & I. Berman-Frank. 2013. *Frontiers in microbiology*, 4: 1–11.
- (4) Turk-Kubo, K.A., M. Karamchandani, D.G. Capone & J.P. Zehr. 2014. *Environmental Microbiology*, doi: 10.1111/1462-2920.12346.
- (5) Loescher, C.R., T. Großkopf, F.D. Desai, D. Gill, H. Schunck, P.L. Croot, C. Schlosser, S.C. Neulinger, N. Pinnow, G. Lavik, M.M.M. Kuypers, J. LaRoche & R. A. Schmitz. 2014. *ISME Journal* 1–13.
- (6) Hedges, J. I. 2002. *Biogeochemistry of Dissolved Organic Matter* (San Diego: Academic Press, San Diego, CA), 1–33.

### Bibliografía recomendada

- Luo, Y. W., S. C. Doney, L. A. Anderson, M. Benavides, et al. 2012. *Earth System Science Data*, 4: 47–73.
- Sohm, J. A., E. A. Webb & D. G. Capone. 2011. *Nature Reviews Microbiology*, 9: 499–508.
- Kujawinski, E. B. 2011. *Annual Reviews of Marine Science*, 3: 567–599.





# Valía de los 'sebadales' en las Islas Canarias

Una aproximación a su valor pesquero





Fig. 1. Sebadal.

**Fernando Espino Rodríguez, Ricardo Haroun Tabrane y Fernando Tuya Cortés**

Las praderas de angiospermas marinas son uno de los hábitats marinos más importantes del planeta. Estas plantas son consideradas como 'ingenieros ecológicos', ya que afectan procesos físicos, químicos y ecológicos en el dominio costero. Son múltiples las funciones y servicios ecológicos que cumplen (1). Por ejemplo, suministran alimento para las redes alimenticias costeras, proveen oxígeno al agua y a los sedi-

mentos, secuestran carbono atmosférico, exportan carbono orgánico a los ecosistemas adyacentes (e.g. fondos arenosos sin vegetación), capturan y reciclan los nutrientes, estabilizan los sedimentos y atenúan el efecto del oleaje y, por tanto, evitan la erosión de playas, impiden la re-suspensión de partículas, contribuyen a la transparencia del agua, y suministran un hábitat para invertebrados y vertebrados, algunos de ellos amenazados o con valor comercial (2). El valor de los servicios de los grandes ecosistemas del mundo fue calculado por Constanza *et al.* (1), distinguiendo entre las funciones y los servicios de ecosistema. Las funciones se refieren a propiedades del hábitat, biológicas, sistémicas o a procesos ecológicos. Los bienes (e.g. como los alimentos) y servicios (e.g. asimilación de residuos) de ecosistemas representan los beneficios para la población humana que derivan, directa o indirectamente, de las funciones del ecosistema. El valor medio global anual de bienes y servicios suministrados por las praderas de fanerógamas marinas es de 19.004 US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que supone un valor global total de 3.801 x 10<sup>9</sup> US\$ año<sup>-1</sup>.

Una parte de este valor se debe a la producción de invertebrados y peces, muchos de interés pesquero y/o comercial (3). La producción se refiere a la capacidad de generar biomasa, por ejemplo actuando como área de cría, dónde es frecuente encontrar alevines y juveniles; mientras que, por otra parte, las praderas marinas también mantienen stocks de individuos adultos, e.g. peces loro con alto valor pesquero. Por ejemplo, el valor comercial de una pesquería de camarones en praderas de fanerógamas marinas fue estimado en 3.500 A\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en Queensland (Australia), con un valor total de descarga de 1,2 x 10<sup>6</sup> A\$ año<sup>-1</sup>. Los ejemplos de valoración económica de pesquerías de peces asociados a praderas marinas son escasos. Unsworth *et al.* (4) calcularon el valor económico de la captura de peces en tres lugares de Indonesia: 1) un área marina protegida (113,1 ± 31,6 US\$ ha<sup>-1</sup>); 2) un área poco pescada (22,2 ± 9,8); y 3) un área muy pescada (1,9 ± 0,7); encontraron un claro beneficio de la protección del hábitat de praderas a través de su inclusión en áreas marinas protegidas. Con frecuencia, las pesquerías asociadas a praderas de fanerógamas marinas son de subsistencia y dan soporte a comunidades enteras, con lo que adquieren un importante papel socio-económico; es decir, un claro valor añadido.

En Canarias, las praderas constituidas por la fanerógama marina *Cymodocea nodosa* reciben el nombre de 'sebadales' (Fig. 1) y se distribuyen, principalmente, por las costas este, sureste, sur y suroeste de las islas centrales y orientales (5).





Fig. 2. Ejemplar juvenil de vieja, *Sparisoma cretense*, en un sebadal. Fig. 3. Ejemplar juvenil de salmonete, *Mullus surmuletus*, en un sebadal.

En estas praderas se han registrado, hasta el momento, 62 especies de peces, de las que aproximadamente un 80% tienen interés pesquero (6). Las familias más importantes, en términos de abundancia de individuos, son: Clupeidae, Atherinidae, Sparidae, Mullidae, Scaridae y Labridae. Las especies más abundantes, por otra parte, son: *Atherina presbyter*, *Boops boops*, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Diplodus annularis*, *Pagellus erythrinus*, *Spondylisma cantharus*, *Sparisoma cretense* (Fig. 2), *Mullus surmuletus* (Fig. 3) y *Xyrichtys novacula*. Para la isla de Gran Canaria, el valor comercial total estimado de esta biomasa íctica es de  $1.690 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Las especies pelágicas suministran un valor económico total de  $991,02 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y, por otra parte, las especies epi-bentónicas y bentónicas proveen un valor económico total de  $699,16 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El valor económico de los stocks de peces de interés comercial en las praderas de *C. nodosa* resultó ser relativamente alto en comparación con los de otras zonas del mundo. Además del valor de esta fracción de biomasa, numerosas especies de peces desarrollan sus primeros estadíos de vida en estas praderas. Por ejemplo, la vieja, *Sparisoma cretense*, un icono de la gastronomía canaria, recluta en estas praderas a lo largo de todo el año. Estimaciones de producción secundaria han proporcionado un valor de  $95,75 \text{ € ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , lo que llega a un valor de casi  $70,000 \text{ € año}^{-1}$  a nivel insular.

Estas dos aproximaciones, que se complementan y solapan, suministran valiosa información para fomentar la percepción social de la relevancia ambiental de las praderas. Sin duda, estos valores monetarios ayudan a comprender, usando una visión utilitarista de la naturaleza, el importante papel que

juegan estas praderas en el bienestar humano y, por tanto, la necesidad de implementar cuerpos legislativos que favorezcan su conservación.

## Referencias

- (1) Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Naeem, S., Limburg, K., Paruelo, J., O'Neill, R.V., Raskin, R., Sutton, P. & M. van den Belt. 1997. *Nature*, 287: 253-260.
- (2) Duarte, C.M., Borum, J., Short, F. & D. Walker, D. 2008. En: Polunin, N. (Ed.), *Aquatic Ecosystems*. Cambridge, University Press, Cambridge, U.K, pp. 281-294.
- (3) Beck, M.W., Heck Jr., K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F. & M.P. Weinstein. 2001. *Biosciences*, 51: 633-641.
- (4) Unsworth, R.K.F., Cullen, L.C., Pretty, J.N., Smith, D.J. & J.J. Bell. 2010. *Ocean. Coast. Manag.*, 53: 218-224.
- (5) Barberá, C., Tuya, F., Boyra, A., Sánchez-Jerez, P., Blanch, I. & R.J. Haroun. 2005. *Bot. Mar.*, 48: 122-126.
- (6) Espino, F., Tuya, F., Brito, A. & R.J. Haroun. 2011. *Cienc. Mar.*, 37: 157-174.



# Después de la marea negra

## Cómo responden los ecosistemas con el paso del tiempo

**José J. Castro Hernández**

Como con muchas otras cuestiones sociales, el catastrófico impacto inicial que significa un vertido de petróleo se va disipando con el tiempo en la memoria colectiva, al ir progresivamente dejando de ser noticia de portada. Al cabo de unos años ya prácticamente nadie se acuerda del desastre provocado por la marea negra y la rutina vuelve a ocupar la mente de las personas directamente afectadas, y aun con más rapidez en los menos apegados. Es obvio que tras la limpieza inicial, y la desaparición de la parte con mayor impacto visual del vertido, los corazones al no ver dejan de sentir. Pero es lógico también, que en algún momento alguien se pregunte qué huellas permanecen de esos, ya casi crónicos, desastres medioambientales, y durante cuánto tiempo seguirán condicionado el desarrollo de los ecosistemas marinos.

Cuando se consulta la bibliografía existente sobre los efectos de los vertidos de petróleo en un ecosistema marino determinado, se observa una progresiva disminución en el número de trabajos a medida que pasan los años desde la catástrofe inicial. Esto puede ser debido también a una pérdida de interés social en dichos problemas con el tiempo y, por tanto, una mayor dificultad de encontrar fondos que financien la investigación, o puede que la razón sea que con el paso del tiempo sea más difícil evaluar los efectos en los ecosistemas, como respuesta de la acción de mecanismos naturales de asimilación y/o adaptación, al ser en sí mismo el petróleo un elemento de origen natural (formado por la descomposición de plantas y animales incorpora-

dos a sedimentos de origen marino). No hay que olvidar que el petróleo ha sido parte de la naturaleza durante millones de años.

### **La naturaleza del vertido y las condiciones ambientales condiciona los tiempos de recuperación**

La composición del vertido de petróleo es uno de los elementos más importantes que determinan la respuesta de recuperación de un ecosistema. Los elementos volátiles desaparecen rápidamente, por evaporación, de la zona afectada, incluyendo algunos de los componentes más tóxicos (entre el 30 y 40% de algunos crudos son componentes volátiles). Por otro lado, la radiación ultravioleta oxida otros componentes (fotólisis), pero algunos de los nuevos productos que se originan en este proceso son más tóxicos que los hidrocarburos originales, aunque se presentan en concentraciones que parecen no influir significativamente en la estructura ecológica. Quizás, la parte más preocupante de un vertido son las partículas de petróleo que se fraccionan y dispersan por acción del oleaje y el viento, y que permanecen en la columna de agua hasta que son degradadas por acción bacteriana, o sedimentan, mezcladas con arena, sobre el fondo marino (es esta fracción del petróleo la que hace que la marea negra sea más persistente). Por tanto, las condiciones ambientales reinantes, la distancia y el tiempo que invierte la mancha en llegar a la costa (con mayor o menor pérdida de sus componentes más tóxicos), van a determinar el desarrollo inicial del vertido y, a su vez, condicionará en gran medida el primer impacto sobre la flora y fauna, así como el proceso de recuperación posterior.





Fig. 1. Marea negra generada por la Plataforma Deepwater Horizon (20 Abril 2010) (La Vanguardia 23/08/2011).

Existe una clara relación entre la dinámica marina (corriente, intensidad del oleaje, etc.) y los tiempos de recuperación de los ecosistemas, de modo que en zonas muy expuestas la biota se restablece entre 3 y 4 años después del vertido, mientras que estos tiempos de recuperación pueden superar los 12 años en las zonas menos batidas. En este sentido, las zonas más afectadas por la marea negra del petrolero *Amoco Cádiz* (1978) mostraron índices similares a los previos al vertido tras ocho años, mientras que esta misma recuperación se observó en 3-4 años en el caso del *Exxon Valdez* (1989). Pero, si no han habido operaciones de limpieza de las zonas, la recuperación puede superar los 25 años, particularmente cuando el crudo tiene una alta componente de elementos pesados y asfalto.

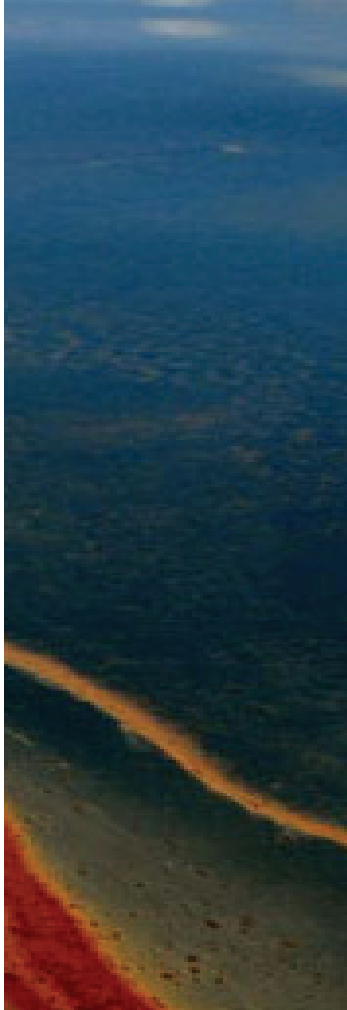
#### **Los impactos más visuales sobre la biota**

Quizás, el efecto inmediato de las mareas negras sobre las aves marinas es uno de los más impactantes, al menos desde el punto de vista social. Sólo la deliberada limpieza de tanques del *Stylis* (1981), que vertió 600 t de alquitrán, se estima que mató entre

100.000 y 400.000 aves marinas en el Estrecho de Skagerrak (entre Noruega y Suecia). Aunque solo se contabilizaron unos 30.000 cadáveres de aves, se estima que el vertido del *Exxon Valdez* (en Canadá) causó la muerte a unas 250.000 aves, pero también entre 1.000 y 2.800 nutrias y 302 focas moteadas. Casi una década después del vertido, ocho de las poblaciones de aves afectadas por el *Exxon Valdez* no mostraban signos de recuperación, posiblemente como consecuencia de diversas circunstancias que van desde una reducción de sus presas (ej. arenque del Pacífico), hasta cuestiones climáticas mesoescales que afectan a todo el Pacífico norte o de ámbito más local, no necesariamente relacionadas con el vertido y su carga contaminante. Otras nueve especies, en cambio, mostraron evidentes señales de recuperación de sus poblaciones.

#### **La bioacumulación y la exposición crónica**

Los moluscos filtradores, como los mejillones y almejas, tienden a bioacumular de forma significativa contaminantes procedentes de los hidrocarburos, hasta alcanzar niveles de toxicidad importantes.



Pero una vez que las condiciones de calidad del agua se recuperan rápidamente reducen sus niveles de concentración de tóxicos en sus tejidos (depuran un 90% en 8 días, y muestran niveles normales en 16 días). Estos elementos tóxicos pueden ser transferidos, a través de la cadena trófica a otros grupos zoológicos y potenciar así los efectos deletéreos. Sin embargo, muchos de estos compuestos son transformados en metabolitos polares, que pueden ser más tóxicos que sus precursores, pero que son fácilmente eliminados con la excreción.

No obstante, los organismos expuestos de forma muy prolongada a la toxicidad del petróleo, ya sea por contacto o por ingestión de alimento contaminado (ej. bivalvos), experimentan una reducción en la fertilidad además de procesos crónicos que reducen las tasas de supervivencia de

las crías. Algunas aves afectadas por el *Exxon Valdez*, que se alimentan de invertebrados que viven en los sedimentos, mostraron un significativo aumento en la mortalidad de los pollos incluso una década después del vertido, motivo por el cual no se habían recuperado sus poblaciones. También en peces como el salmón, cuyos embriones y juveniles se han desarrollado en contacto directo con sedimentos contaminados a niveles subletales, se observó una reducción en el crecimiento, una mayor tasa de mortalidad en la fase adulta marina, y una menor tasa de fecundidad y de supervivencia de los huevos de estos individuos, debido a los efectos de estas toxinas en su sistema endocrino y un desarrollo anormal.

### ¿Cuándo se asume que un sistema está recuperado?

La recuperación biológica de un ecosistema afectado por un vertido de petróleo comienza tan pronto como la toxicidad, u otras propiedades dañinas, del vertido se reducen hasta niveles que son tolerables por los organismos más resistentes. Es obvio que los tiempos de respuesta de cada ecosistema pueden ser muy diferentes, y tener lugar en escalas temporales de años. Por lo general, las comunidades biológicas bentónicas muestran cuatro fases



Fig. 2. Marea negra generada por la Plataforma Deepwater Horizon (20 Abril 2010) (La Vanguardia 23/08/2011).



Fig. 3. Ave cubierta por petróleo procedente del vertido de pozo de BP en el Golfo de México (Autor desconocido).



Fig. 4. Tareas de limpieza de las playas francesas afectadas por el vertido del Erika en 1999 (Publico.es 16/01/2008, EFE-Greepeace).

bien definidas: un periodo de rápida mortalidad de las especies más sensibles, un segundo periodo con un bajo número de especies y baja abundancia, una tercera fase de aumento de la biomasa de las especies oportunistas y, finalmente, un periodo de rápido descenso de estas especies oportunistas en simultáneo con la recolonización por parte de las es-



## CAMBIO DE PARADIGMAS EN LA ECOTOXICOLOGÍA DEL PETRÓLEO, PASANDO DESDE LA TOXICIDAD AGUDA EN BASE A UNA ÚNICA ESPECIE HASTA LA SÍNTESIS DE LOS ECOSISTEMAS DESDE LOS IMPACTOS DIRECTOS A CORTO PLAZO, HASTA LOS CRÓNICOS A LARGO PLAZO, RETARDOS E IMPACTOS INDIRECTOS (1).

| Antiguo paradigma                                                                                                                                                                                                               | Apreciaciones emergentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hábitats costeros</b>                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| El petróleo vertido sobre ambientes costeros, no marismas, dominados por sedimentos finos serán rápidamente dispersados y degradados por agentes microbianos y fotólisis.                                                       | El petróleo es degradado a diferentes velocidades dependiendo del ambiente, con sedimentos submareales protegidos de las perturbaciones del oleaje, oxigenación y fotólisis, reteniendo durante años los contaminantes sólo parcialmente envejecidos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Toxicidad sobre los peces</b>                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| El efecto de los contaminantes sólo ocurre en periodos cortos de exposición (unos 4 días) a la fracción soluble (compuestos de 1 o 2 anillos aromáticos), produciendo mortalidad por narcosis severa en concentraciones de ppm. | Exposiciones prolongadas de los embriones a petróleo envejecido (compuestos de 3 a 5 anillos aromáticos) en concentraciones de ppbs, tienen consecuencias en la población a través de efectos indirectos en el crecimiento, deformidad y comportamiento, con consecuencias a largo plazo en la mortalidad y reproducción.                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Toxicidad sobre aves y mamíferos</b>                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Los efectos de los contaminantes ocurren sólo durante periodos cortos de exposición en plumas o pelos, dando lugar a muerte por hipotermia, asfixia, ahogo o ingestión de tóxicos durante el atusamiento de plumas.             | Los efectos del petróleo también son sustanciales (independiente de los medios de aislamiento) a largo plazo a través de interacciones entre los estresores ambientales naturales y el compromiso de salud de los animales expuestos, a través la exposición crónica a los tóxicos al ingerir presas contaminadas o durante la búsqueda de alimento alrededor de las zonas sedimentarias con petróleo persistente, y por medio de interrupción de las funciones sociales vitales (cuidados parentales o reproducción) en especies socialmente organizadas.       |
| <b>Impacto del petróleo sobre comunidades costeras</b>                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Mortalidad masiva a través de cortas exposiciones a petróleo depositado en la costa y fondos someros, o a través de asfixia que afecta principalmente a plantas e invertebrados costeros.                                       | Los intentos de limpieza pueden ser más dañinos que el petróleo en sí mismo, con impactos recurrentes a medida que continua la limpieza (incluyendo tanto métodos químicos como físicos). Debido a la omnipresencia de fuertes interacciones biológicas en comunidades intermareales rocosas y de praderas de algas, los impactos indirectos con retardo (especialmente de cascada trófica y pérdida de hábitat) pueden ampliar el alcance de los daños más allá de las pérdidas directas iniciales y, por lo tanto, también los retardos en las recuperaciones. |

Fig. 5. Ecotoxicología del petróleo.

pecies más sensibles. La duración de cada una de estas fases, y de los procesos de recolonización, dependen entre otras cosas de las características de los ecosistemas próximos no afectados y que pueden actuar como puentes para la recolonización, de las interacciones y ciclos biológicos, así como de las condiciones ambientales. En este sentido, los ecosistemas singulares o aislados, con pocas posibilidades de ser repoblados desde áreas próximas o con especies endémicas, tienen más dificultades para la recuperación, si es que ésta fuese posible (e.g. el vertido del *Jessica* en Galápagos en 2001).

Los estudios realizados sobre las comunidades intermareales afectadas por los vertidos del *Exxon Valdez* y *Braer* (1993) muestran que estas poblaciones se recuperaron relativamente rápido, después de 1 a 3 años. Por ejemplo, el índice de cobertura de *Fucus* fue similar al que había antes del vertido en tan sólo 2 años. No obstante, las comunidades que habitan costas más expuestas se recuperan hasta tres veces más rápidamente que aquellas presentes en espacios más protegidos, debido al efecto del oleaje

en la dispersión de los contaminantes y a los procesos de recolonización. Sin embargo, el tiempo de recuperación de los ecosistemas submareales puede ser algo mayor, debido al efecto más duradero de los contaminantes retenidos en los sedimentos (pueden penetrar hasta 10 metros en el sedimento). En este sentido, las comunidades de bivalvos afectadas por el vertido del *Amoco Cadiz* en la Bahía de Morlaix (Bretaña francesa) mostraron índices poblacionales similares a los previos al vertido tras dos años, aunque no todas las especies respondieron por igual (algunos anfípodos tardaron 10 años en recuperarse). Obviamente, este tipo de catástrofes generan un profundo desequilibrio en los ecosistemas que suelen ser aprovechados por especies oportunistas, que rápidamente ocupan los nichos ecológicos abandonados por las especies más sensibles, condicionando también de este modo, los tiempos de recuperación de las poblaciones originales.

Por tanto, la recuperación de una comunidad biológica se debe evaluar sobre los mecanismos de funcionamiento (restablecimiento flujos) de los eco-



Fig. 6. Recogida de fuel en zona intermareal.

sistemas, más que en el número de ejemplares de cada una de las especies o de sus estructuras poblacionales. Es de esperar que la pérdida inicial de especies sensibles o claves, afecte a toda la estructura ecológica provocando lo que se conoce como efecto cascada, lo que puede modificar radicalmente la comunidad biológica marina. No tiene sentido, por tanto, valorar la recuperación de un ecosistema en función de su parecido con el que existía antes del vertido, puesto que tras éste, como tras el paso de un huracán por un arrecife de coral, se establecen nuevas relaciones de equilibrio entre las especies.

A la luz del conocimiento de los impactos a largo plazo producidos por los vertidos de petróleo se hace necesaria el replanteamiento de un modelo de análisis de riesgos, tanto en la toma de decisiones ambientales *a priori*, como en las estimaciones, *a posteriori*, de los daños causados a los recursos naturales. Existen incentivos para avanzar en la capacidad predictiva de la ecología que permitan desarrollar modelos más fiables sobre los efectos crónicos, indirectos y con retardo de los factores

#### Referencias

- (1) Peterson et al. 2003. Science, 302:2082-2086
- (2) Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography. Vol. 110. Diciembre 2014. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09670645>

estresantes dentro de un marco ecosistémico.

#### ¿Qué ocurre con las perforaciones?

Una reciente publicación de la prestigiosa revista Deep Sea Research (2), dedicada a la evaluación de los impactos ambientales de las perforaciones petrolíferas submarinas en el área de Terranova (Canadá), concluye que en los últimos 10 años los efectos biológicos de la perforación han sido muy limitados y, cuando ocurrieron, fueron muy localizados. Los estudios también proporcionan evidencia de que, una vez se reducen las perforaciones, la disminución de la contaminación de los sedimentos y recuperación del bentos es relativamente rápida.



# Theodore T. Packard



“Dentro de los efectos previstos del cambio climático, quizás uno de los más determinantes será la desaparición del casquete Ártico”

**Juan Francisco Betancort Lozano  
y Alexandre Redondo Arolas**

Una búsqueda sencilla en Internet sobre Theodore T. Packard (Ted Packard) ofrece una idea de la magnitud de su figura en el desarrollo de la oceanografía moderna. Es uno de los investigadores de estudio obligado por los alumnos de Ciencias de Mar o Biología Marina. Su trabajo alrededor de la Oceanografía biológica y Oceanografía química han abordado temas como: respiración, metabolismo, actividad enzimática, ecología, de organismos planctónicos y microplanctónicos entre otros.

Actualmente está adscrito al grupo de investigación Ecofisiología de Organismos Marinos (EOMAR) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, integrado además por May Gómez Cabrera (Coordinadora del Grupo), M<sup>a</sup> Ascensión Viera Rodríguez, Ico Martínez Sánchez, Alicia Herrera Ulibarri, Federico Maldonado Uribe, Igor Fernández Urruzola, Natalia Osma Prado, Vanesa Romero Kutzner, Mayte Tamés Espinosa y Alejandro Marrero Benítez.

“Canarias es un laboratorio natural magnífico. Son muy pocos los sitios a escala global donde se dan las oportunidades que Canarias presenta principalmente en relación con su localización.”

#### **¿Puede hablarnos un poco sobre sus comienzos?**

Mi interés por la oceanografía apareció cuando era un niño. Mi hermano tenía un bote y salíamos a pescar langostas. Usábamos trampas para langostas y al sacarlas del agua podía ver gran cantidad de animales y algas. Creo que ahí despertó mi curiosidad.

Estudí oceanografía el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) tomando clases de Oceanografía física, química y biología. Después fui a la Universidad de Washington en Seattle. Ahí realice una gran cantidad de cursos muy variados. La Universidad de Washington afronta el estudio del océano desde un punto de vista holístico, estudiando el océano como un sistema complejo. Cuando quise desarrollar un proyecto relacionado con el oxígeno en el océano, me pregunté: "¿Quién tiene el dinero? ¡los físicos! Así que para conseguir fondos y medios para realizar las campañas me dirigí a los oceanógrafos físicos y conseguí una pequeña entrevista, de tan sólo 15 minutos, para poder exponer mis ideas. Cuando finalicé, escuché: "¡Pon a este chico en un barco!" y me concedieron una beca para poder trabajar. Dos años después conseguí mi graduado.

#### **Algo que se desprende de su carrera y trayectoria es la cooperación con investigadores de muy diversos campos, ¿cómo valora esto?**

Bien, esta forma de trabajar viene de mi época de estudiante en el MIT. Este centro tiene una filosofía de trabajo y enseñanza universal y mis profesores eran increíbles. Uno de estos profesores fue David Baltimore, que recibió el premio Nobel en 1972. Este profesor de biología y medicina nos enseñaba como hacer disecciones en ratas, seccionar órganos, hacer ensayos clínicos, etc. En el MIT trabajas con economistas, médicos, físicos, químicos, matemáticos, y eso aporta diferentes puntos de vista. En la Universidad de Washington se entiende el océano y

el mismo planeta como un sistema complejo, donde todo está conectado. En la institución desde el principio trabajabas y estudiabas en equipos multidisciplinarios. Así, nos formaban en oceanografía física, química, biológica y geológica.

Los planes de estudio en oceanografía, sea cual sea la especialidad, deben ser multidisciplinarios. Otras carreras, como por ejemplo Biología marina, se pueden permitir centrarse únicamente en aspectos muy concretos, pero en Oceanografía debe entenderse el océano como un sistema. Debes atender a los procesos físicos, la circulación, corrientes, debes atender a la química de los procesos, a la geología. Si no, solamente se posee una visión muy pequeña de algo mucho mayor. Esto es algo que se observa en Estados Unidos, en la costa oeste se trabaja de forma multidisciplinaria mientras que en general, en la costa este se trabaja de forma muy particular, muy focalizados, sin atender a una visión global. Un ejemplo muy curioso de esto lo tenemos en las primeras visiones que se tuvieron de la dorsal pacífica, de 3000 metros de profundidad. Los primeros investigadores que tuvieron imágenes identificaban formas cónicas que interpretaron como cristalizaciones anómalas de los minerales que salían por las chimeneas debido a la actividad hidrotermal y a la presión. Se desarrollaron complejas teorías para explicar esas cristalizaciones anómalas; tan sólo eran simples caracoles. Esto ha pasado varias veces en la Ciencia y remarca la importancia de trabajar en equipos multidisciplinarios, de intercambiar ideas y puntos de vista para avanzar.

#### **¿Cuál es el papel y las oportunidades de Canarias en el desarrollo de las Ciencias del Mar?**

Canarias es un laboratorio natural magnífico. Son muy pocos los sitios a escala global donde se dan las oportunidades que Canarias presenta principalmente en relación con su localización. La corriente fría de Canarias llega desde el Atlántico norte y para entender lo que ocurre en toda esta región atlántica podemos hacer algo mucho más sencillo, observar aquí. Entre Tenerife y Gran Canaria se alcanzan profundidades que nos permiten estudiar la circulación profunda a escala global. Un proyecto como la estación ESTOC (Estación Europea de Series Temporales Oceánicas, punto fijo en el océano a unos 100 Km al norte de Gran Canaria, entre 1994 y 2004 se medía periódicamente diferentes parámetros oceanográficos) es una maravilla, con unos impactos a escala global. En Canarias podemos estudiar aguas profundas muy cerca de la costa y muy cerca de un afloramiento de aguas profundas.





sociedad y que sepan lo que hacemos, que no somos locos románticos, que la ciencia genera conocimiento y ese conocimiento siempre supone un paso adelante.

### ¿Cómo podríamos los científicos estar más cerca de la Sociedad?

Las actividades desarrolladas por la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos es una de las vías:

revistas de divulgación y acciones que nos acerquen con la gente, que conozcan nuestro trabajo, que sepan la importancia y el alcance de lo que hacemos, que adquieran conocimientos y capacidad crítica. Demostrar a la gente que la investigación genera nuevas ideas y conocimiento, y éstas generan cambios y riqueza. Debemos explicar a la gente lo que hacemos, cómo podemos ayudar, y darles una perspectiva histórica, cómo ha progresado la sociedad cuando la Ciencia progresa. Hay que involucrar a toda la Sociedad, desvinculando a la Ciencia de toda política o doctrina. La historia nos enseña que cuando ponemos en contacto dos sociedades, la que tiene éxito siempre será aquella que tenga un nivel de conocimiento, tecnología y formación mayores, esa es la que estará mejor preparada para las crisis y la que antes sale y da un paso adelante.

**“A veces tengo la impresión que desde las Administraciones se busca que la gente sepa cada vez menos, tenga menos conocimiento. No entiendo los recortes en Educación.”**

Desde la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos, queremos agradecer a Ted Pakard su colaboración y deseamos, sobre todo reconocer su cercanía.

Muchos de los que trabajamos en la Facultad de Ciencias del Mar estamos acostumbrados a verlo caminar pensando. Para muchos es un auténtico honor tener la oportunidad de conocer gente que ha marcado el desarrollo de la Ciencia, con una trayectoria personal y profesional que daría para mucho más que una humilde entrevista.

### ¿Cuál considera que será el próximo horizonte de trabajo en la Oceanografía global?

El efecto del Cambio Climático en el Ártico. Dentro de los efectos previstos del cambio climático, quizás uno de los más determinantes será la desaparición del casquete Ártico. Estamos asistiendo a un proceso de fusión paulatina de los hielos árticos, esto afectará a los procesos y sistemas biológicos y oceanográficos a escala global, esto va a cambiar todos los sistemas a escala global, en el océano y en la atmósfera.

### ¿Qué opina de la situación actual?

Estamos en un momento muy complejo. A veces tengo la impresión que desde las Administraciones se busca que la gente sepa cada vez menos, tenga menos conocimiento. No entiendo los recortes en Educación o cuando se dice que hay demasiados profesores o maestros. Eso no tiene sentido. No se valora el conocimiento, y el futuro de cualquier sociedad es el conocimiento. Cuando valoras esto y estudias la historia de los países del Mediterráneo, ves que quizás esto tenga que ver con la memoria y la historia; el papel y el control que desde la Iglesia o el Gobierno se tuvo durante mucho tiempo, remontándonos a la Edad Media y que aún perdura en la sociedad. En otros países, como los anglosajones, sí se invierte en Ciencia pero principalmente aplicada, se prima la rentabilidad económica. Solo interesa si se puede ganar dinero. Incluso mi familia, cuando les explico en qué trabajo me preguntan dónde está el negocio.

Los dirigentes de un país deben buscar que cada vez su población tenga más conocimiento, que tenga la mejor formación posible porque eso es lo que trae progreso y permite que la Sociedad avance en todos los aspectos. El desarrollo social pasa por la investigación y la formación. El conocimiento genera riqueza, piensa en *Silicon Valley* en California, jamás hubiera sido posible sin centros como las Universidades de Berkeley o Stanford. Los centros de conocimiento son núcleos críticos para el desarrollo de industrias con éxito. Debemos estar presentes en la



## Noticias de la Sociedad Atlántica de Oceanógrafos

### Programa piloto de Prácticas de laboratorio en Ciencias Experimentales (biología, química, física y geología) orientadas a alumnos de 4º curso de ESO de la Comunidad Autónoma de Canarias

A lo largo del mes de enero se ha desarrollado el proyecto de Prácticas de laboratorio en Ciencias Experimentales (biología, química, física y geología) orientadas a alumnos de 4º curso de ESO de la Comunidad Autónoma de Canarias. Este proyecto ha sido promovido y ejecutado por la Sociedad Atlántica de Océanos (SAO), y financiado por la Dirección General de Innovación y Promoción Educativa de la Conserjería de Educación, Universidades y Sostenibilidad del Gobierno de Canarias.

En el marco de esta cooperación, más de 700 alumnos de 4º de ESO de 22 centros de Gran Canaria han pasado por los laboratorios de la Facultad de Ciencias del Mar y Ciencias Básicas para realizar, en dos jornadas, prácticas de física, química, biología y geología. Estas prácticas han sido llevadas a cabo por un equipo de 10 monitores seleccionados mediante un proceso ejecutado por la Fundación Parque Científico Tecnológico.

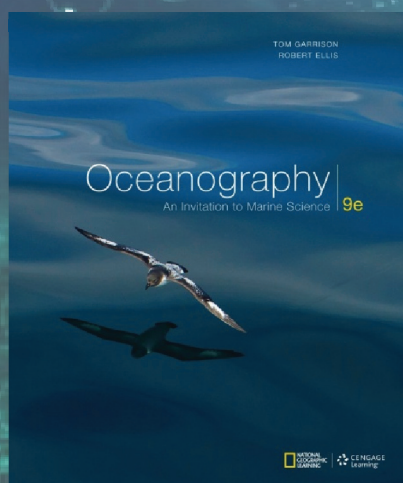
Con este proyecto se pretende acercar el trabajo y los conocimientos de los profesionales de la I+D+i en el ámbito de las Ciencias del Mar a los centros de enseñanza secundaria, promover la vocación científica entre los alumnos participantes dotándolo de nuevas experiencias y conocimientos. Este primer proyecto es una actividad piloto, con vocación de futuro y continuidad integrando a un mayor número de centros y alumnos, e incluso extendiéndose a otras islas.

Finalmente, desde la SAO se quiere agradecer la colaboración de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, la facultad de Ciencias del Mar y su personal y los departamentos de Física, Química y Biología y a su personal.





# Reseñas bibliográficas



## ***Oceanography: An Invitation to Marine Science (Enero 2015)***

Autor: Tom S. Garrison

ISBN-13: 978-1305105164

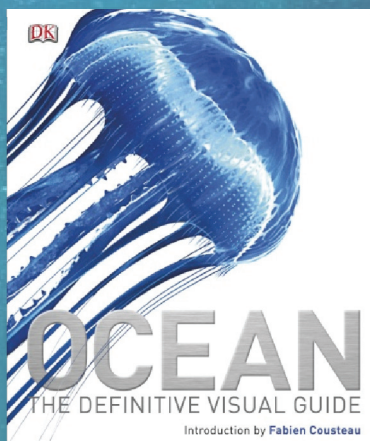
ISBN-10: 1305105168 Edition: 9<sup>th</sup>

Precio aproximado: 234,02 \$

Idioma: Inglés

Developed in partnership with the National Geographic Society, market-leading *OCEANOGRAPHY: AN INVITATION TO MARINE SCIENCE*, 9e gives you a basic understanding of the scientific questions, complexities, and uncertainties involved in ocean use as well as the role and importance of the ocean in nurturing and sustaining life on Earth. Seasoned researchers Tom Garrison and Robert Ellis emphasize the interdisciplinary nature of marine science, stressing its links to biology, chemistry, geology, physics, meteorology, astronomy, ecology, history, and economics. The book's focus on the science process includes numerous "How Do We Know?" boxes detailing the science behind how oceanographers know what they know. Coverage of climate change has been updated to reflect the latest findings. In addition, Chapter 14 "Primary Producers" includes expanded coverage of photosynthetic and chemosynthetic producers to help you understand the "big picture" in marine biology.

Desarrollado en colaboración con la Sociedad Nacional Geographic, líder en el mercado. La novena edición de *OCEANOGRAPHY: AN INVITATION TO MARINE SCIENCE*, nos ofrece una comprensión básica de las cuestiones científicas, complejidades e incertidumbres en relación con el océano a la vez que explica el papel fundamental del océano en el sustento de la vida en el planeta. Los investigadores experimentados Tom Garrison y Robert Ellis enfatizan en la naturaleza interdisciplinar de las ciencias marinas, recalcando sus vínculos con la biología, la química, la geología, la física, la meteorología, astronomía, ecología, historia e incluso la economía. El enfoque del libro sobre el proceso científico incluye numerosos "¿Cómo lo sabemos?" donde se describe la ciencia en la que se basan los conocimientos de los oceanógrafos. La cuestión del cambio climático ha sido actualizada con el fin de reflejar los últimos hallazgos sobre la materia. Además, en el Capítulo 14 titulado "Productores Primarios" se incluye una visión general de los productores fotosintéticos y quimiosintéticos con el fin de ayudar a comprender la visión de conjunto de la biología marina.



### **Ocean (Agosto 2014)**

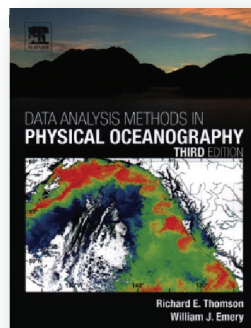
Autores: Robert Dinwiddie y Philip Eales

Precio aproximado: 25,00 \$

Idioma: Inglés

The power and wonder of the ocean is as strong today as ever, with new expeditions to its depths, and new discoveries beneath melting ice, in developing reefs, and on shores around the world. To celebrate, we are releasing a second edition of *Ocean*, with the latest scientific research, coverage of major events like Superstorm Sandy and the Fukushima tsunami, and new graphics and images. *Ocean* includes an atlas of the world's oceans and seas compiled using satellite data, brand-new 3-D Earth modeling, and remarkable photography of the marine world that explores the interaction between people and the ocean environment. From the geological and physical processes that affect the ocean floor to the key habitat zones, flora, and fauna, this is the definitive reference to the world's oceans.

El estudio del océano está más activo que nunca en la actualidad, con nuevas campañas en las grandes profundidades y los nuevos hallazgos más allá del deshielo, en el desarrollo de los arrecifes y de las zonas litorales en todo el planeta. Para celebrarlo, ha sido lanzada una segunda edición de *Ocean*, con las últimas investigaciones científicas, describiendo los últimos grandes eventos como la supertormenta Sandy o el tsunami de Fukushima, así como nuevos gráficos e imágenes. El libro incluye un atlas de los océanos y de los mares compilado utilizando datos satelitales, modelización del planeta en 3-D y además una notable fotografía del mundo marino que explora la interacción entre las personas y el entorno oceánico. Desde los procesos geológicos y físicos que afectan al lecho marino hasta los hábitats clave, la flora y la fauna, esta es la referencia definitiva para los océanos del planeta.



### ***Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, 3ª Ed. (Septiembre 2014)**

Autores: Richard E. Thomson y William J. Emery

ISBN-13: 978-0123877826

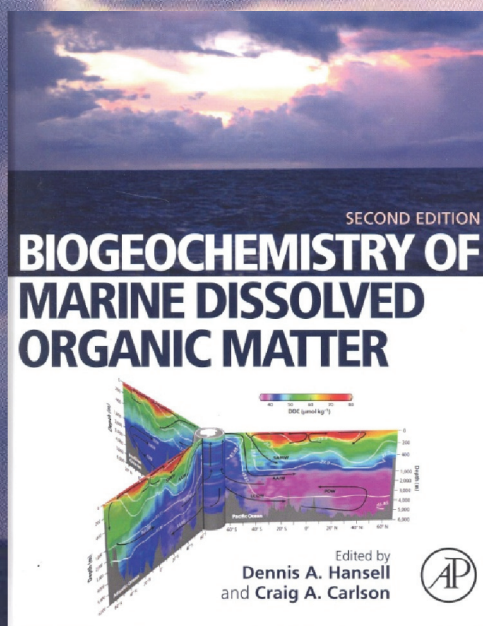
ISBN-10: 0123877822

Precio aproximado: 119,22 \$

*Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Third Edition* is a practical reference to established and modern data analysis techniques in earth and ocean sciences. Its five major sections address data acquisition and recording, data processing and presentation, statistical methods and error handling, analysis of spatial data fields, and time series analysis methods. The revised *Third Edition* updates the instrumentation used to collect and analyze physical oceanic data and adds new techniques including Kalman Filtering. Additionally, the sections covering spectral, wavelet, and harmonic analysis techniques are completely revised since these techniques have attracted significant attention over the past decade as more accurate and efficient data gathering and analysis methods.

*Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Third Edition*, es una referencia práctica a las técnicas tanto establecidas como modernas de análisis de datos en el campo de las ciencias de la Tierra y del océano. Las cinco grandes secciones del volumen versan sobre la adquisición de datos y su registro, el procesamiento de datos y su presentación, métodos estadísticos y el control de errores, análisis de campos de datos espaciales y los métodos de análisis de series temporales. El *Third Edition*, está revisado y actualizado con la instrumentación utilizada para la recolección y el análisis de datos físicos y aporta nuevas técnicas como el filtrado de Kalman. Además, las secciones que cubren las técnicas de análisis armónico, wavelet y espectral han sido completamente revisadas ya que en la última década han atraído una considerable atención por tratarse de métodos de análisis y recopilación de datos más eficientes y precisos.





***Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, 2ª Ed. (Octubre 2014)***

Autores: Dennis A. Hansell y Craig A. Carlson

ISBN-13: 978-0124059405

ISBN-10: 0124059406 Edition: 2<sup>nd</sup>

Precio aproximado: 124,76 \$

Idioma: Inglés

Marine dissolved organic matter (DOM) is a complex mixture of molecules found throughout the world's oceans. It plays a key role in the export, distribution, and sequestration of carbon in the oceanic water column, posited to be a source of atmospheric climate regulation. *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, Second Edition*, focuses on the chemical constituents of DOM and its biogeochemical, biological, and ecological significance in the global ocean, and provides a single, unique source for the references, information, and informed judgments of the community of marine biogeochemists. Presented by some of the world's leading scientists, this revised edition reports on the major advances in this area and includes new chapters covering the role of DOM in ancient ocean carbon cycles, the long term stability of marine DOM, the biophysical dynamics of DOM, fluvial DOM qualities and fate, and the Mediterranean Sea. *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, Second Edition*, is an extremely useful resource that helps people interested in the largest pool of active carbon on the planet (DOC) get a firm grounding on the general paradigms and many of the relevant references on this topic.

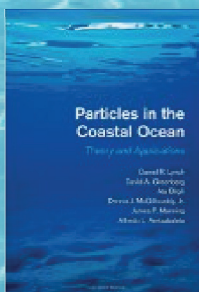
La materia orgánica marina disuelta (DOM, en sus siglas en inglés) es una mezcla compleja de moléculas ubicadas en todos los océanos del planeta. Este DOM desempeña un papel clave en la exportación, distribución y secuestro de carbono en la columna de agua, siendo una fuente de regulación del clima atmosférico. *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, Second Edition*, se centra en los constituyentes químicos del DOM y su significado biogeoquímico, biológico y ecológico en el océano global y además proporciona una fuente única de referencias, información y juicios fundados sobre la comunidad de los biogeoquímicos marinos. Presentado por algunos de los científicos de referencia, esta edición revisada informa sobre los grandes avances en el área e incluye nuevos capítulos donde se aborda el papel del DOM en los antiguos ciclos del carbono marino, la estabilidad a largo plazo del DOM marino, la dinámica biofísica del DOM, la cualidad y destino del DOM fluvial y el mar Mediterráneo. *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, Second Edition*, es una fuente muy útil de ayuda a los interesados en la mayor reserva de carbono activo del planeta (DOC, en sus siglas en inglés) aportando una base sólida de los paradigmas generales y referencias relevantes sobre el tema en cuestión.





**Imperios del mar (2013)**  
 Autor: Roger Crowley  
 ISBN 9788493971939  
 (Atico de los libros)  
 Precio aproximado: 26,50 €  
 Idioma: Castellano

Este libro es un ensayo sobre el enfrentamiento entre la Europa cristiana, con un papel destacado de los Austrias españoles, y los Otomanos por el dominio del Mediterráneo entre 1521 y 1580, en una de las guerras navales más apasionantes de la historia.



**Particles in the Coastal Ocean: Theory and Applications (Diciembre 2014)**  
 Autores: Daniel R. Lynch y David A. Greenberg  
 ISBN-13: 978-1107061750 ISBN-10: 110706175X  
 Precio aproximado: 118,75 \$  
 Idioma: Inglés

The coastal ocean comprises the semi-enclosed seas on the continental shelf, including estuaries and extending to the shelf break. This region is the focus of many serious concerns, including coastal inundation by tides, storm surges, or sea level change; fisheries and aquaculture management; water quality; harmful algal blooms; planning of facilities (e.g., power stations); port development and maintenance; and oil spills. This book addresses modeling and simulation of the transport, evolution, and fate of particles (physical and biological) in the coastal ocean. It is the first to summarize the state of the art in this field and direct it toward diverse applications, for example in measuring and monitoring sediment motion, oil spills, and larval ecology. This is an invaluable textbook and reference work for advanced students and researchers in oceanography, geophysical fluid dynamics, marine and civil engineering, computational science, and environmental science.

El océano costero comprende los mares semicerrados sobre la plataforma continental, incluyendo estuarios y extendiéndose hasta el talúd. Esta región es el centro de serias inquietudes, como las inundaciones costeras por mareas vivas, mareas de tormenta o el cambio del nivel del mar; la gestión de las pesquerías y la acuicultura; la calidad del agua; las floraciones algales nocivas; la planificación de infraestructuras (i.e. central eléctrica); el mantenimiento y desarrollo de áreas portuarias; y vertidos de crudo. Este libro aborda la modelización y simulación del transporte, evolución y destino de las partículas (físicas y biológicas) en el océano costero. Se trata del primer manuscrito que compendia el estado del arte de este campo y sus diversas aplicaciones, por ejemplo en la medición y monitoreo del movimiento sedimentario, vertidos de crudo y la ecología larvaria. Se trata de un libro de texto de referencia para estudiantes avanzados e investigadores en campos como la oceanografía, la dinámica de fluidos geofísicos, la ingeniería naval y civil, las ciencias computacionales y las ciencias ambientales.

**Sur-relato de la expedición del Endurance 1914 a 1917 (2012)**

Autor: Ernest Shackleton  
 ISBN: 9788493769475  
 Precio aproximado: 23,75 €  
 Idioma: Castellano

Sir Ernest Shackleton es uno de los exploradores más conocidos y reconocidos de la breve historia de la exploración polar. Y todo ello pese a no haber conseguido jamás ninguno de los objetivos de sus expediciones. En el caso de la Expedición Imperial Transantártica (1914-1917), que pretendía realizar la primera travesía íntegra de la Antártida, ni siquiera se llegó a pisar tierra firme en el continente. Su mayor mérito, sin duda, está en que siempre supo en qué momento abandonar la misión y dedicar todos los recursos, por pocos que fueran, a sobrevivir. Habilidad, suerte, y buena compañía son los ingredientes que siempre hicieron posible la vuelta a casa.



# Agenda SAO

- 20/07/2015-23/07/2015. 2015 OCB Summer Workshop, Woods Hole MA, USA.  
<http://www.us-ocb.org/workshops/summer.html>
- 07/09/2015-07/09/2015. SOLAS Open Science Conference 2015, Kiel, Germany.  
<https://www.confmanager.com/main.cfm?cid=2778>
- 14/09/2015-18/09/2015. GO-SHIP/Argo/ IOCCP Conference 201, Galway, Ireland.  
<http://www.gaic2015.org/>
- 14/09/2015-18/09/2015. 3rd CLIOTOP Symposium Future of oceanic animals in a changing ocean, San Sebastian, Spain.  
<http://www.imber.info/index.php/News/IMBER-future-events/The-3rd-CLIOTOP-Symposium-14-18-September-2015-San-Sebastian-Spain>
- 05/10/2015-09/10/2015. 9th Symposium of the International Society for Digital Earth (ISDE) "Towards a One-World Vision for the Blue Planet" (New), Halifax, Canada.  
<http://digitalearth2015.ca/>
- 26/10/2015-30/10/2015. IMBER IMBIZO IV, Trieste, Italy.  
(Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research)  
<http://www.imber.info/index.php/News/IMBER-future-events/IMBER-IMBIZO-IV-26-30-October-2015-Trieste-Italy>
- 09/12/2015-11/12/2015. Atlantis Summit - workshop on the Atlantis ecosystem model, Honolulu HI, USA.  
<http://atlantis.cmar.csiro.au/www/en/atlantis/Atlantis-Summit.html>





## Soluciones bioquímicas para tus problemas medioambientales

### ¿Quiénes somos?

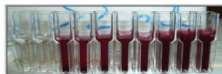
Un grupo de investigadores especializados en Ecofisiología de organismos marinos y Oceanografía bioquímica, que ha elaborado una idea de negocio para contribuir, principalmente, al mundo de la gestión medioambiental, dentro del ámbito marino, con las técnicas y conocimientos que utilizamos a diario en el laboratorio en investigación y docencia.

**May Gómez Cabrera.** Dra. en Ciencias del Mar, Profesora titular de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

**Theodore T. Packard.** Dr. en Oceanografía Bioquímica, Investigador asociado de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

**Ico Martínez Sánchez** Licenciada en Ciencias del Mar, Personal técnico-investigador

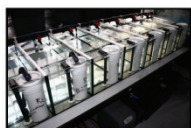
### ¿Qué ofrecemos?



#### Análisis enzimáticos:

Medición de actividades enzimáticas como bio-indicadores del metabolismo energético y de las tasas fisiológicas de los organismos, lo que puede determinar la salud de las comunidades y el estado de estrés de los organismos, detectando cualquier anomalía que les pueda afectar.

#### Servicios técnico-experimentales:



- ♦ Medidas de procesos fisiológicos
- ♦ Cultivos de organismos marinos
- ♦ Muestreos
- ♦ Estudios oceanográficos

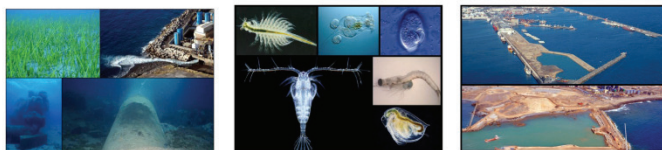
#### Asesoramiento científico:

- ♦ Traducciones
- ♦ Revisiones estadísticas y/o científicas
- ♦ Formación



#### Con el objetivo de...

- ♦ Contribuir a controles y seguimientos de zonas afectadas por actividades humanas que se desarrollen en el medio marino
- ♦ Realización de muestreos biológicos y estudios oceanográficos para aquellos proyectos y/o instituciones que así lo soliciten
- ♦ Desarrollar cultivos de organismos planctónicos marinos para experimentación y como alimento vivo para organismos ornamentales
- ♦ Estudios eco-toxicológicos
- ♦ Formación en técnicas y análisis oceanográficos



Contacto: [infobiocean@gmail.com](mailto:infobiocean@gmail.com)





UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



UCA

Universidad  
de Cádiz

Universida<sub>de</sub>Vigo



MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN  
Oceanografía



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
Gestión Sostenible  
de Recursos Pesqueros





UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
Cultivos Marinos



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
Gestión Costera





## GRADO EN Ciencias del Mar



Los estudios en Ciencias del Mar se crearon en España en el año 1982, atendiendo a la demanda de profesionales expertos en el medio marino. Ese mismo año, la Licenciatura en Ciencias del Mar comenzó a impartirse, por primera vez en nuestro país, en Las Palmas de Gran Canaria.

La amplia experiencia adquirida desde su creación, unida a la estratégica situación del Archipiélago Canario, hacen de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria un centro de referencia, vanguardia y ejemplo en el desarrollo de la enseñanza de las ciencias marinas en España.

El Grado en Ciencias del Mar es un título generalista, sin especialidades, que prepara para el ejercicio profesional y ofrece una formación básica en Ciencias del Mar.

El Grado en Ciencias del Mar es un título generalista, sin especialidades, que prepara para el ejercicio profesional y ofrece una formación básica en Ciencias del Mar.

Estos estudios tienen como objetivo general la formación interdisciplinar en todas las materias que se requieren para el estudio integral del medio marino. Los titulados en Ciencias del Mar están plenamente capacitados para analizar, caracterizar, modelizar y gestionar los medios marino y litoral, tanto en sus estados naturales como afectados por la acción del hombre. El mar, por los problemas ambientales que le acucian y por las potencialidades que ofrece, es uno de los elementos de nuestro planeta que precisa mayor observación y control, facetas que corresponden a quienes lo estudian.



Las ciencias marinas se plantean retos muy interesantes en un futuro inmediato, como la integración de los nuevos descubrimientos, la conservación de la biodiversidad marina, la exploración del océano profundo y los márgenes continentales, la respuesta a las implicaciones del cambio climático global, o el desarrollo de energías renovables oceánicas, entre otros muchos.

La Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria cuenta con los recursos materiales y humanos adecuados para ofrecer a sus estudiantes una formación y unos servicios de calidad. El profesorado está plenamente capacitado para ofrecer a los estudiantes del Grado en Ciencias del Mar una formación de calidad, por su amplia experiencia y su reconocida cualificación como docentes e investigadores. El personal de administración y servicios también posee la formación y la experiencia necesarias para garantizar a los estudiantes una adecuada atención. La calidad de la formación y de los servicios que se ofrecen en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha sido contrastada en los sucesivos procesos de control a los que ha sido sometida, tanto a nivel regional como nacional.