



REVISTA DEL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

ieo

número 24 -Junio/ 2016

Especial Oceanografía operacional



EDITORIAL

- 05 **La Oceanografía operacional y el IEO** La oceanografía operacional es hoy en día una de las principales apuestas de las ciencias marinas en todo el mundo.

06 ACTUALIDAD

SPECIAL OCEANOGRFÍA OPERACIONAL

- 20 **Introducción** Presente de la oceanografía operacional.
- 22 **EURGOOS y el IEO** Artículo de Alicia Lavín, Investigadora del Centro Oceanográfico de Santander del IEO.
- 24 **El océano desde un satélite** Estudiar el clima, conocer la temperatura, la salinidad, la superficie y el espesor del hielo, la distribución de los vientos, monitorizar las mareas rojas... Todo a una escala impensable hace unas décadas.
- 44 **La red de boyas Argo cumple 15 años** Casi 3900 boyas permiten obtener en tiempo real datos de temperatura y salinidad de los primeros 2000 metros de profundidad del océano con cobertura mundial.
- 50 **Campañas oceanográficas sistemáticas** Los buques son las plataformas de muestreo más antiguas de la oceanografía. El Instituto Español de Oceanografía lleva muchos años apostando por estos muestreos y, para ello, mantiene cuatro ambiciosos programas de campañas oceanográficas sistemáticas, que cubren todo el litoral de España.



REPORTAJES

62 **Las algas y los antiguos navegantes españoles (1492-1792)**

En el último quinquenio el Mar de los Sargazos ha estado de actualidad internacional, a raíz de los trastornos producidos por la sorprendente llegada de cientos de toneladas de esas algas a las costas de varios países caribeños y la firma de la Declaración de Hamilton (11/3/2014), que impulsa la colaboración intergubernamental para proteger ese ecosistema oceánico único. En este artículo se examina una muestra de antiguas publicaciones nacionales que recogieron información sobre los sargazos y otras especies de macroalgas, tanto en aguas oceánicas como en las costas del Pacífico, Atlántico y del estrecho de Magallanes.

BUQUE

76 **BUQUE OCEANOGRÁFICO UCADIZ**

El primer buque oceanográfico de Andalucía, perteneciente a la Universidad de Cádiz y CEI-Mar.

LIBROS

- 78 **Atlas Praderas Marinas**
78 **Guía de identificación de paralarvas de cefalópodos del Mediterráneo**

DIRECTORIO

- 79 **Centros del IEO**

revista

ieo



EDITA

Director	Santiago Graiño
Redactores	Pablo Lozano
Diseño	Ítala Spinetti
Producción editorial	Cuerpo 8
Email de la revista	revistaieo@md.ieo.es
Nipo	727-15-001-8
Depósito legal	M-29883-2007

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO)

Director	Eduardo Balguerías Guerra
Secretaria general	María Dolores Menéndez Company
Subdirector general de investigación	Pablo Abauza Martínez
Vocales asesores de la Dirección	Eladio Santaella Álvarez José Luis de Ossorno

Directores de los centros oceanográficos del IEO

C.O. BALEARES	Enric Massutí Sureda
C.O. CÁDIZ	Ignacio Sobrino Yraola
C.O. CANARIAS	Luis López Abellán
C.O. CORUÑA	Santiago Parra Descalzo
C.O. GIJÓN	Francisco Javier Cristobo Rodríguez
C.O. MÁLAGA	Jorge Baro Domínguez
C.O. MURCIA	Jose M^a Bellido Millán
C.O. SANTANDER	Alicia Lavín Montero
C.O. VIGO	María Victoria Besada Montenegro

Instituto Español de Oceanografía (IEO)

Calle Corazón de María, 8
28002 Madrid
Tel.: 91 342 11 00
Fax: 91 597 47 70
<http://www.ieo.es>

Foto PORTADA: ESA (European Space Agency)





LA OCEANOGRAFÍA OPERACIONAL Y EL IEO

La investigación de la variabilidad de los mares y su relación con el clima, así como la acuciante necesidad de muchos sectores económicos y sociales de establecer un sistema de observación del océano similar al meteorológico, han hecho de la oceanografía operacional una de las principales apuestas actuales de las ciencias marinas en todo el mundo.

Lo anterior requiere de una toma de datos continua, con una cobertura temporal y espacial muy amplia, generalmente automatizada. Esto en el océano es algo caro y complejo, que necesita de un gran despliegue tecnológico y un personal altamente cualificado. Todo ello supone una gran inversión, que solo es posible afrontar desde la cooperación y coordinación institucional, tanto a escala nacional como internacional.

Configurar una visión de la oceanografía desde una *óptica meteorológica* –en el sentido de la observación continua y muchas veces en tiempo real, aportando la información conseguida libremente y como un servicio directo a cualquier interesado– implica una gran revolución tecnológica y conceptual en el terreno de las ciencias y tecnologías del mar. Sin duda alguna, dicha revolución está siendo provocada por necesidades prácticas, pero sus efectos científicos prometen ser muy grandes, ya que el volumen, distribución espacial y calidad de los datos que aporte la oceanografía operacional permitirán descubrir cosas nuevas y, alimentados con dichos datos, los modelos matemáticos aportarán grandes avances en la interpretación de muchos fenómenos marinos.

Como es lógico, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) no es ajeno a este nuevo campo y trabaja en su desarrollo. Desde ya, el IEO dispone de sistemas de adquisición de datos en tiempo real, cuyos resultados están a disposición de los usuarios de forma libre. Además, está presente en todos los programas de acceso libre a la información científica generada por su actividad investigadora, como Emod-Net y Sea Data Net.

El IEO también mantiene sistemas de observación rutinarias del océano, como las campañas de pesca y biodiversidad; las radiales, dedicadas a física, química y biología; y las de contaminación marina. Dispone también de bases de datos centralizadas y, como parte de su política al respecto, está desarrollando una infraestructura de información espacial que permita el acceso público a los datos depositados en dichas bases.

En este número de nuestra revista ofrecemos un gran especial sobre la oceanografía operacional. Esperamos que resulte interesante a nuestros lectores.

COMPROBADO EL ESTADO DEL PECIO DE LA FRAGATA 'NUESTRA SEÑORA DE LAS MERCEDES' TRAS EL EXPOLIO DE ODYSSEY

PRIMERA EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA REALIZADA EN EUROPA A MÁS DE 1100 METROS DE PROFUNDIDAD

El pasado mes de agosto, gracias a la colaboración del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (MNAS), el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la Armada Española, se llevó a cabo una expedición al pecio *Nuestra Señora de las Mercedes*, que supuso la excavación arqueológica a mayor profundidad que se ha realizado hasta la fecha en Europa. A bordo del buque oceanográfico *Ángeles Alvariño*, y gracias a la ayuda del robot submarino no tripulado (ROV) *Liropus 2000*, fue posible localizar y documentar el yacimiento arqueológico de la fragata *Nuestra Señora de Las Mercedes* y pudo valorarse el estado actual de conservación de los restos tras el expolio perpetrado por la empresa caza tesoros *Odyssey* en el año 2007. El *Ángeles Alvariño* zarpó de Vigo el viernes 14 de agosto llevando a bordo a su propia tripulación más un técnico del MNAS, un técnico de filmación de una empresa externa y el equipo del IEO. El resto del equipo se embarcó en Rota el



día 17 de agosto por la tarde y ese mismo día el buque zarpó con todo el equipo de técnicos ya a bordo en dirección al punto de destino.

El martes 18 se procedió al primer descenso del ROV, que estuvo trabajando en el fondo del mar una media de 10 horas diarias.

En la primera inmersión del primer día de trabajo se pudo localizar el pecio, gracias a que las coordenadas que facilitó la empresa *Odyssey* al Tribunal Supremo de los EE. UU. resultaron ser correctas.

“Afortunadamente, se comprobó enseguida que estábamos en la zona nuclear del yacimiento, de modo que desde la primera inmersión se comenzaron a localizar numerosos restos, con los que nos habíamos familiarizado durante los dos meses del visionado que habíamos realizado en el museo”, explica

Iván Negueruela, investigador del MNAS y líder de la expedición.

La expedición fue un éxito y, pese al escaso tiempo del que se dispuso, se cumplieron los objetivos y se avanzó enormemente en el conocimiento del pecio.

Se localizó con exactitud el yacimiento arqueológico de la fragata *Nuestra Señora de Las Mercedes*, comprobándose la veracidad de las coordenadas que *Odyssey* había dado a los jueces americanos. Se documentaron las operaciones realizadas por la empresa *Odyssey* y se comprobó el estado actual de los restos del pecio que se conservan en la superficie del lecho marino.

Esta expedición ha permitido, además, crear un grupo de trabajo multidisciplinar compuesto de arqueólogos, oceanógrafos y técnicos capaz de desarrollar



Comprobado el estado del pecio de la fragata Nuestra Señora de las Mercedes tras el expolio de Odyssey
Limitaciones del vídeo cebado para estimar la abundancia de especies marinas



excavaciones a unas profundidades sin precedentes en exploración arqueológica de nuestro patrimonio. “La expedición ha revelado la inmejorable capacidad de España en materia de coordinación y colaboración multidisciplinar, aunando bajo un único patrón de rigor científico a instituciones como el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, el Instituto

Español de Oceanografía o la propia Armada Española”, destaca Íñigo Méndez de Vigo, Ministro de Educación, Cultura y Deporte. “Este proyecto ha supuesto, además, el corolario de un triunfo jurídico que ya de por sí constituye un ejemplo de buen hacer por parte de nuestros profesionales, contribuyendo a asentar un precedente legal del que otros estados podrán hacer uso en la

defensa de su patrimonio” añade Méndez de Vigo. El informe con los resultados preliminares de la expedición puede descargarse en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/el-pecio-de-nuestra-senora-de-las-mercedes-campana-de-prospeccion-y-excavacionde-agosto-de-2015profundidad-1136-1138-m/arqueologia/20500C>

LIMITACIONES DEL VÍDEO CEBADO PARA ESTIMAR LA ABUNDANCIA DE ESPECIES MARINAS

Investigadores del Centro Oceanográfico de Baleares del Instituto Español de Oceanografía (IEO) y del *South Australian Research and Development Institute* (SARDI) publicaron el pasado mes de enero un novedoso estudio sobre las limitaciones del vídeo sumergido para monitorear la abundancia de especies marinas en condiciones de alta densidad, como en áreas marinas protegidas.

Los resultados del estudio han puesto de manifiesto que el estimador de abundancia habitualmente empleado en estudios con vídeo –el número máximo de individuos en un fotograma de la filmación– subestima la abundancia a medida que aumenta la densidad. El estudio concluye que las técnicas de vídeo son útiles

para comparar áreas con densidades de población diferentes, pero –por ejemplo– no son adecuadas para monitorizar la evolución de una población en un área marina protegida. Las técnicas de vídeo submarino cebado se emplean comúnmente, y de manera creciente, para estimar la abundancia de especies marinas basándose en el supuesto de que los índices obtenidos son representativos de la abundancia real. Sin embargo, el estudio indica que en determinadas situaciones esto no es así.

Este innovador estudio, publicado en la revista *PLoS ONE*, ha sido posible gracias a la peculiaridad de las langostas espinosas, en este caso la langosta europea *Palinurus elephas*, de presentar un patrón de marcas individual único. Esto ha permitido, por primera vez en un estudio con vídeo cebado, determinar el número total de individuos diferentes que aparecen en cada filmación. Los estudios de poblaciones de otras especies, como peces, con esta técnica están sujetos a sesgo sin que nada pueda hacerse, ya que a altas densidades se satura el cebo y no es posible determinar si los individuos observados en distintos fotogramas son diferentes.

El estudio se enmarca dentro de los proyectos RECMARE (CTM2012-36982) del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, y ERICOL cofinanciado por la Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



LA PESCA INTENSIVA DE JUVENILES HASTA LOS AÑOS 60 FUE LA PRINCIPAL CAUSA DEL DESCENSO DEL ATÚN ROJO

UN ESTUDIO DEL IEO ANALIZÓ LAS CAPTURAS DE LAS PESQUERÍAS ATLÁNTICAS DE ADULTOS Y JUVENILES ENTRE 1914 Y 2010



Almadraba de Santi-Petri 1949 / Foto: IEO

Un trabajo del IEO ha revelado que la principal causa del descenso de las poblaciones de atún rojo en los años 60 fue la pesca intensiva de ejemplares inmaduros y no factores ambientales, como se creía hasta ahora. Además, el estudio concluye que solo a partir del plan de recuperación adoptado por la ICCAT en 2006, y vigente en la actualidad, se ha empezado a revertir la situación general de sobrepesca que ha sufrido esta especie.

El trabajo, publicado en la revista *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, contiene una extensa

revisión de datos de capturas de las pesquerías atlánticas de adultos y juveniles de atún rojo entre 1914 y 2010, así como más de 200 referencias bibliográficas sobre publicaciones científicas relacionadas con la biología y la pesca de la especie.

Entre los años 1949-1962 se capturaron aproximadamente siete millones de atunes rojos juveniles. “Una captura de tal magnitud pudo ser la principal causa del limitado reclutamiento desde edades juveniles a adultas, que dejaron a las futuras generaciones de reproductores muy mermadas”, explica José Luis

Cort, investigador del Centro Oceanográfico de Santander del IEO y coautor del trabajo junto con Pablo Abaunza.

Hasta poco antes de la mitad del siglo XX, las capturas más importantes de atún rojo en la parte oriental del océano Atlántico se llevaban a cabo fundamentalmente con almadrabas, que capturaban ejemplares adultos de entre 40 y 500 kilogramos. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo comenzaron a emplearse otros sistemas de pesca, como la red de cerco, el palangre y la caña con cebo vivo. La introducción del cebo vivo en el golfo de Vizcaya y el cerco en las costas atlánticas de Marruecos hizo que se comenzaran a capturar ejemplares inmaduros, cosa que no había ocurrido hasta aquella fecha.

Cuando ocurrieron estos hechos, no existía ninguna organización internacional dedicada al control y ordenación de los recursos pesqueros de los túnidos en el Atlántico y Mediterráneo, ya que la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT) se fundó en 1966.

Es precisamente la gestión de esta organización lo que ha permitido que se recupere la especie, al adoptarse en 2006 el Plan de Recuperación Plurianual, que a día de hoy continúa vigente.

La pesca intensiva de juveniles hasta los años 60 fue la principal causa del descenso del atún rojo
El cultivo de rodaballos estériles podría mejorar considerablemente la producción de esta especie
El volcán submarino de El Hierro observado directamente

EL CULTIVO DE RODABALLOS ESTÉRILES PODRÍA MEJORAR CONSIDERABLEMENTE LA PRODUCCIÓN DE ESTA ESPECIE

Según un trabajo del IEO que evalúa el rendimiento de este tipo de rodaballos para su posible producción a escala comercial.

Investigadores del Centro Oceanográfico de Vigo del IEO han llevado a cabo un completo estudio sobre la fisiología y posibilidades de cultivo de rodaballos estériles, una característica que podría permitir obtener ejemplares de mayor tamaño al tiempo que se reduce su tasa de mortalidad.

Los rodaballos estudiados son individuos triploides, lo que significa que poseen tres juegos completos de cromosomas en lugar de los dos que poseen los diploides, que es lo habitual. Esta característica vuelve a los rodaballos estériles funcionales, lo que hace



que destinen toda la energía obtenida con el alimento al crecimiento, evitando el gasto de energía en la maduración de las gónadas. La inducción a la triploidía en el rodaballo es, hoy en día, una técnica totalmente estandarizada que podría permitir obtener

rodaballos con un tamaño superior al que se comercializa actualmente, reduciendo además las tasas de mortalidad y obteniendo mayores proporciones de hembras, que presentan un mayor crecimiento que los machos en esta especie.

OBSERVADO DIRECTAMENTE EL VOLCÁN SUBMARINO DE EL HIERRO

Una expedición, liderada por el Instituto GEOMAR alemán, permitió por primera vez el estudio del volcán submarino de El Hierro a bordo de un submarino tripulado. Esta expedición se enmarcó dentro del convenio de colaboración entre GEOMAR, la Plataforma Oceánica de Canarias y la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, en el que colaboró, a través del proyecto Vulcano, el Instituto Español de Oceanografía.

Durante la campaña, dos científicos españoles, uno de ellos Eugenio Fraile, del IEO, pudieron observar por primera vez con sus propios ojos el volcán submarino.

Los investigadores descendieron acompañados del piloto del submarino, propiedad de GEOMAR, que tiene una longitud de 3,2 metros, una altura de 2,5 metros, una autonomía de 96 horas y puede operar hasta 400 metros de profundidad.

Uno de los objetivos fundamentales de esta expedición fue el

estudio de las perturbaciones físico-químicas causadas por la fase de desgasificación, que aún se mantiene activa en el volcán submarino de El Hierro. Los científicos pudieron, por primera vez, observar y muestrear lugares exactos en los que existe emanación al medio marino de calor, gases y metales.



AL MENOS 25 ESPECIES DE TIBURONES, RAYAS Y QUIMERAS PUEBLAN LOS FONDOS DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL

Investigadores de los centros oceanográficos de Baleares, Murcia y Málaga del IEO y de la *Universitat de les Illes Balears (UIB)* publicaron el pasado mes de diciembre, un trabajo en el que analizan la diversidad, abundancia y parámetros biológicos de las comunidades de quimeras, rayas y tiburones del Mediterráneo occidental, un grupo de peces altamente vulnerables al impacto de la pesca.

Los datos del presente estudio se obtuvieron durante la campaña de investigación MEDITS, realizada por el IEO en 2103 a lo largo de la costa peninsular mediterránea y las Islas Baleares, a bordo



del buque oceanográfico *Cornide de Saavedra*. Estas campañas se vienen llevando a cabo anualmente desde 1994, por parte de los diferentes países europeos del Mediterráneo, y cubren gran parte de la costa septentrional de este mar. El objetivo es evaluar los ecosistemas y recursos vivos explotados por la pesca de arrastre, así como el impacto de esta actividad pesquera en el medio ambiente marino.

Durante la campaña se registraron un total de 25 especies de condriictos (9 tiburones, 15 rayas y una quimera), de las cuales 7 fueron comunes en toda el área prospectada, 9 se registraron únicamente en las Islas Baleares, 5 en el Mar de Alborán y solo una en la costa del nordeste de la Península Ibérica. Las especies más abundantes fueron los tiburones de tamaño mediano *Scyliorhinus canicula* (pintarroja), *Galeus melastomus* (bocanegra) y *Etmopterus spinax* y la raya de clavos *Raja clavata*.

En las últimas décadas hay una preocupación creciente por el estado de conservación de los condriictos, un grupo de peces que juegan un papel fundamental en los ecosistemas marinos, pero que también, por sus características biológicas, como, por ejemplo, sus tasas de reproducción bajas y crecimiento lento, son muy sensibles a los impactos antrópicos, principalmente la pesca. Por ello, conocer los patrones espaciales de diversidad, abundancia y su biología es fundamental, principalmente en lo que respecta a la identificación de áreas con alto valor para su conservación.

EL IEO ESTUVO PRESENTE EN TRANSFIERE 2016

La quinta edición del foro más importante de España sobre innovación

El Instituto Español de Oceanografía (IEO) participó el pasado mes de febrero en Málaga en el 5º Foro Europeo para la Ciencia, Tecnología e Innovación, con la presencia del jefe del área de Acuicultura y responsable de la OTRI, además de varios investigadores y técnicos de la institución. El IEO participó en el evento con la

instalación de un stand promocional, por el que pasaron empresarios, autoridades y otros actores del sistema de I+D+i en España y Europa, entre los que destacó la visita de Carmen Vela, secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación.

Además, el IEO dispuso de una mesa en el sector medio ambiente, dentro del espacio central, en la que se realizaron numerosas reuniones con grupos de investigación y

empresas, con las que se analizaron posibles sinergias y se trató el desarrollo de actividades y proyectos en temas de interés común en el futuro.

Representaron al IEO en este foro Ignacio Arnal y Raquel González, de la Oficina de Transferencia de los Resultados de Investigación (OTRI) del IEO; y los investigadores del Centro Oceanográfico de Málaga Juan Tomás Vázquez y Luis Gil de Sola.

Al menos 25 especies de tiburones, rayas y quimeras pueblan los fondos del Mediterráneo Occidental

El IEO estuvo presente en Transfiere 2016

Alrededor de 30 especies de peces marinos utilizan el estuario del Guadalquivir para criar

El paisaje marino condiciona la distribución de los juveniles de peces litorales

ALREDEDOR DE 30 ESPECIES DE PECES MARINOS UTILIZAN EL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR PARA CRIAR

Un trabajo, realizado por investigadores del Centro Oceanográfico de Cádiz del Instituto Español de Oceanografía (IEO) y el Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC), analiza por primera vez las relaciones tróficas de la comunidad de peces del estuario del Guadalquivir, lugar donde crían alrededor de 30 especies de peces marinos.

Hasta la fecha no existía información sobre las relaciones tróficas en el estuario del Guadalquivir, pese a que, desde 1997, se ha llevado a cabo un extenso programa de muestreos mensuales de su comunidad acuática, financiado por la Junta de Andalucía y en el que han participado, además de las instituciones señaladas, el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentarla y de la Producción Ecológica (IFAPA) y la Universidad de Córdoba.

Este estudio analiza la dieta de 5725 peces de 10 especies diferentes, capturados a lo largo de un año. Para ello se estudió el contenido estomacal de estos individuos, identificándose un total de 88101 presas. Este exhaustivo trabajo, con una resolución espacial y temporal sin precedentes, ha permitido analizar las relaciones tróficas no solo a nivel de especie, sino también de individuo.

Los resultados indican que existen dos grupos tróficos diferenciados, cuyas presas principales son copépodos y misidáceos,



unos diminutos crustáceos muy abundantes.

El trabajo demuestra que el grado de solapamiento de las dietas a escala de especies es elevado. Sin embargo, al analizar los datos a nivel de individuo aparece una enorme variabilidad en las dietas. En concreto, se han detectado dos tipos de comportamiento en individuos de la misma especie: los que presentan muchas presas en sus estómagos, y que seleccionan preferentemente las presas más comunes, y los que presentan menos presas en sus estómagos seleccionan preferentemente presas menos abundantes.

Este trabajo supone un paso más para entender las consecuencias de las relaciones tróficas en las dinámicas ecológicas y evolutivas de las poblaciones naturales en los estuarios.

EL PAISAJE MARINO CONDICIONA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS JUVENILES DE PECES LITORALES

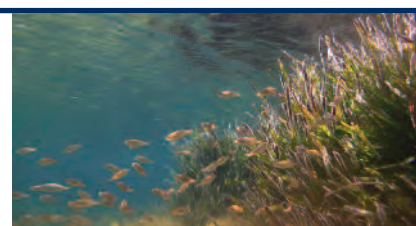
Científicos del IEO y el *Govern de les Illes Balears* han llevado a cabo un trabajo cuyo objetivo principal ha sido estudiar la influencia de las características del paisaje marino en la distribución de juveniles de especies de lábridos y espáridos, dos grupos de peces de relevancia ecológica y económica en el Mediterráneo.

El estudio se realizó durante las estaciones cálidas de 2011, 2012 y 2013 en tres hábitats costeros importantes para desarrollo de los juveniles de estas especies: praderas de fanerógamas, bosques de macroalgas y fondos mixtos de arena,

guijarros y cantos rodados.

Los adultos de muchas especies litorales se reproducen en áreas alejadas de la costa y posteriormente las larvas viajan a merced de las corrientes hasta alcanzar estos hábitats, situados en la franja costera de menor profundidad, donde se concentran las principales actividades humanas.

El estudio demuestra que el paisaje marino influye en la distribución de los juveniles. A una escala mayor, la morfología de la costa (su orientación y el grado de exposición al oleaje) modula la llegada de larvas a los hábitats. Por otra parte, la profundidad y a



una escala menor, la disponibilidad relativa de cada tipo de hábitat y su complejidad, también ejercen una gran influencia en la producción de juveniles de las diferentes especies.

El trabajo subraya la importancia de tener en cuenta las características del paisaje marino en los planes de gestión costera, para asegurar el reabastecimiento de juveniles a las poblaciones adultas y la conservación de las especies litorales.

TRABAJOS REALIZADOS POR INVESTIGADORES DEL IEO Y LA UNIVERSIDAD DE VIGO MUESTRAN LA BIODIVERSIDAD DE CRUSTÁCEOS PROFUNDOS DE MAURITANIA

EN LOS ÚLTIMOS CUATRO AÑOS, SE HAN IDENTIFICADO 132 ESPECIES, CUATRO DE ELLAS NUEVAS PARA LA CIENCIA

Entre los años 2007 y 2010 el Instituto Español de Oceanografía (IEO) desarrolló una serie de cuatro campañas multidisciplinares en aguas de la Zona Económica Exclusiva de Mauritania, en cooperación con el *Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches* (IMROP) y la Universidad de Vigo. Entre sus objetivos se encontraba el estudio de los invertebrados de fondo recogidos, tanto como fauna acompañante en las pescas de arrastre como mediante aparejos específicos para el muestreo del bentos (los organismos que viven asociados al fondo).

Paralelamente, en 2009, el IEO puso en marcha un proyecto estructural con el fin de estudiar la biodiversidad de los ecosistemas bentónicos, en base a las colecciones faunísticas y datos recogidos

en sus campañas africanas (ECOAFRIK). A lo largo de los últimos años se viene desarrollando, en el marco de este proyecto, un riguroso estudio taxonómico y ecológico sobre los grupos más representativos del bentos, que está generando importantes resultados faunísticos sobre una de las zonas más desconocidas de los océanos mundiales. El pasado mes de enero se defendió en la Universidad de Vigo una tesis doctoral sobre los crustáceos decápodos de aguas profundas de Mauritania, que constituye la primera que se produce en el marco del proyecto ECOAFRIK y representa el trabajo más completo sobre la biodiversidad de este grupo en África noroccidental publicado hasta la fecha. Los trabajos de doctorado han estado dirigidos por Ana Ramos, investigadora del Centro Oceanográfico de Vigo del IEO y coordinadora del proyecto, y por el profesor Fran Ramil, de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Vigo y responsable del estudio taxonómico. Los decápodos constituyen el grupo de crustáceos de mayor diversidad específica y mayor dominancia en la plataforma y talud continental de África Noroccidental, incluyendo especies de gran importancia como recurso pesquero y de elevado valor económico. Este hecho lo ha convertido en objeto de numerosos estudios, siendo el grupo de invertebrados mejor conocido del

oeste africano ya desde el siglo XIX.

La autora del trabajo de doctorado ha sido Susana S. de Matos-Pita, quien ha dedicado cuatro años al estudio de este grupo e identificado un total de 132 especies de crustáceos decápodos, pertenecientes a 49 familias, todas ellas recogidas en las campañas *Maurit*. El mayor esfuerzo lo ha dedicado la investigadora a la revisión y estudio detallado de los grupos de decápodos cuyo conocimiento previo en el área era todavía escaso y fragmentario, como quirostiloideos, galateoides, paguroideos, talasinídeos y braquiuros.

Los resultados sobre estos grupos, entre ellos la descripción de cuatro especies y un género nuevos para la ciencia, habían sido publicados previamente por la autora en las revistas *Zootaxa* y *Marine Biodiversity*. Además, en este trabajo de tesis se reasignan a otros géneros tres especies, se describen por primera vez las hembras de dos, se reescribe una especie de galateido, incluyendo un detallado estudio de su variabilidad intraespecífica, se aportan nuevos datos sobre la morfología de cuatro especies, se citan por primera vez desde su descripción original otras cuatro y se amplía la distribución geográfica de dieciocho. Como final, el trabajo ofrece una visión global de las comunidades de decápodos de los fondos blandos del talud de Mauritania.



Foto: Ana Ramos / IEO

Trabajos realizados por investigadores del IEO y la Universidad de Vigo muestran la biodiversidad de crustáceos profundos de Mauritania
El IEO participa en el primer sistema de evaluación por pares en repositorios

EL IEO PARTICIPA EN EL PRIMER SISTEMA DE EVALUACIÓN POR PARES EN REPOSITORIOS

CON EL *OPEN PEER REVIEW MODULE* LOS REPOSITARIOS DE ACCESO ABIERTO SE CONVERTIRÁN EN PLATAFORMAS DE EVALUACIÓN TOTALMENTE FUNCIONALES

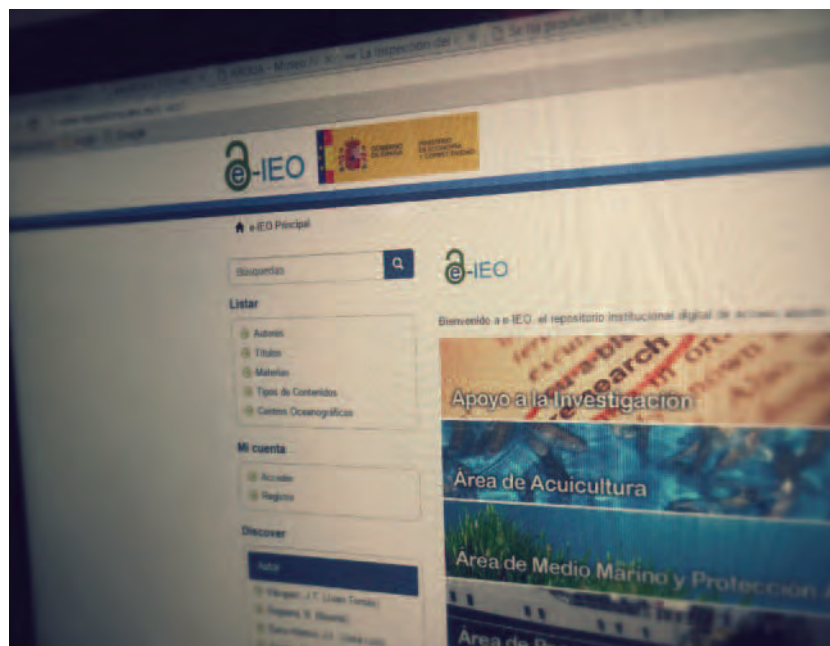
¿Por qué los trabajos depositados en cualquier repositorio de acceso abierto no son acreditados formalmente como publicaciones? ¿Qué es exactamente lo que diferencia a los repositorios de acceso abierto de las editoriales? La respuesta es simple: las publicaciones en revistas tienen un indicador de calidad asociado con el prestigio de la revista y, sobre todo, los repositorios no van acompañados de ninguna garantía medible de calidad científica.

Para convertir gradualmente los repositorios de acceso abierto en plataformas de evaluación totalmente funcionales, el consorcio del que forma parte el repositorio del Instituto Español de Oceanografía (e-IEO) ha desarrollado el *Open Peer Review Module* (OPRM), el primer módulo de evaluación por pares en abierto para repositorios institucionales de acceso abierto. Este módulo, desarrollado entre junio de 2015 y febrero de 2016, con el apoyo de [OpenAIRE](#), proporcionará a los repositorios en acceso abierto la capacidad de recuperar el control de calidad de la investigación en favor de la comunidad de investigadores y ayudará, por tanto, a minimizar la brecha entre las instituciones académicas y las editoriales.

Este sistema de evaluación es abierto y transparente. Abierto significa que el texto completo de los comentarios está disponible para el público junto con el trabajo de investigación original. Transparente significa que se proporciona a los autores y al público la identidad de los revisores.

En el proceso se calculan métricas de reputación ponderadas para los artículos, las evaluaciones, los autores y los revisores.

En resumen, el OPRM pretende capitalizar la infraestructura existente ofrecida por los repositorios de acceso abierto y permitir su conversión en plataformas

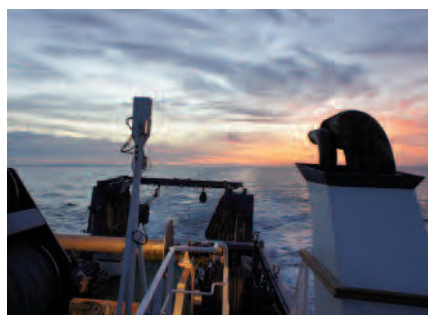


de evaluación totalmente funcionales, con métricas de calidad asociadas, para revisión por pares de cualquier trabajo de investigación depositado en un repositorio. Este proceso de evaluación, basado en repositorios, involucra a la comunidad de investigadores en un diálogo abierto y transparente sobre la solidez y utilidad del material de investigación y se puede ejecutar en paralelo con el proceso tradicional de revisión por pares de cualquier revista.

El OPRM se testó en e-IEO y DIGITAL.CSIC y se presentó a la comunidad científica durante el mes de abril en Madrid y en la 11th International Conference on Open Repositories en junio, en Dublín.

ESTUDIO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LAS AGUAS PROFUNDAS DEL MEDITERRÁNEO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA

Durante el severo invierno de 2004-2005, en el que se produjeron cinco episodios de entrada de vientos de procedencia ártica y siberiana, con importantes nevadas en todo el Mediterráneo Occidental, científicos del IEO detectaron la aparición de una anomalía en la temperatura y salinidad de las aguas profundas de esta zona. Esta nueva estructura afecta ahora a toda la cuenca occidental del Mediterráneo. En 2009, durante la reunión de la Comisión Internacional para el Estudio Científico del Mediterráneo (CIESM), en Malta, se propuso denominar a este fenómeno *Western Mediterranean Transition* (WMT), tomando como ejemplo la anomalía que se había observado anteriormente en la cuenca oriental, la *Eastern Mediterranean Transient* (EMT). El Mediterráneo es para el océano una fuente continua de agua intermedia salina y cálida (*Mediterranean Outflow*



Water, MOW), que juega un papel muy importante en los procesos de formación de agua profunda en el Atlántico norte y, por tanto, en la circulación del océano global. A su vez, se ha demostrado que los fenómenos hidrográficos que generan masas de agua profunda afectan a procesos biológicos y, por tanto, a los recursos marinos vivos y su explotación. No hay acuerdo sobre la importancia relativa de los diferentes mecanismos de formación de agua profunda que han contribuido a este fenómeno. Sin embargo, sí parece evidente que las

anomalías observadas, tanto en la cuenca oriental como la occidental del Mediterráneo, son el resultado de factores como el incremento de la salinidad en el Mediterráneo, probablemente inducidos por oscilaciones climáticas e, indirectamente, por el cambio climático.

El IEO, que viene siguiendo la evolución de esta anomalía desde que se detectara, lidera ahora este proyecto que permitirá continuar con el estudio de esta estructura y de su relación con las oscilaciones del clima.

El pasado mes de enero se celebró en la sede del Centro Oceanográfico de Baleares de la primera reunión para coordinar el comienzo de este proyecto, denominado ATHAPOC, en la que participaron la práctica totalidad de los integrantes de dicho proyecto, que comprende a investigadores de diversos centros del IEO, CSIC, universidades de Málaga y Barcelona y AEMET.

PRIMER CURSO ONLINE DE MICROBIOLOGÍA VÍA TWITTER

Veintinueve profesores e investigadores de 20 universidades y centros de investigación colaboraron para impartir el primer curso mundial online gratuito vía Twitter sobre microbiología. La iniciativa estuvo coordinada y organizada por el grupo de Docencia y Difusión de la Microbiología de la Sociedad Española de Microbiología (SEM). Con un lenguaje sencillo, divulgativo y muy visual, el objetivo era llegar a mucha gente distinta y difundir conceptos y nociones básicas sobre microbiología.

Estuvo dirigido sobre todo a alumnos de bachillerato, profesores de secundaria, universitarios, profesionales de las ciencias, periodistas científicos y público en general. Las clases consistieron en un conjunto de 30-40 tweets de contenido microbiológico. De esta forma, se compartieron contenidos, webs, links, noticias, imágenes, videos, etc. sobre temas científicos relacionados con el mundo de la microbiología. En conjunto constituye todo un curso online masivo gratuito (MOOC, *massive online open course*) vía Twitter, que lo pudo

seguir cualquier persona con una cuenta de Twitter.

El curso comenzó en abril y finalizó en junio.

Por parte del IEO ha participado la investigadora del Centro Oceanográfico de Gijón Alma Hernández de Rojas, que impartió sus *microclases* sobre probióticos y prebióticos.

Toda la información del curso puede consultarse en:

<https://storify.com/microMOOCSEM>

Estudio sobre las propiedades de las aguas profundas del Mediterráneo y su relación con el clima

Primer curso online de microbiología vía Twitter

El plancton de las áreas centrales del océano muestra una red trófica muy homogénea

Nueva especie de pez en los fondos de algas rojas de Baleares

EL PLANCTON DE LAS ÁREAS CENTRALES DEL OCÉANO MUESTRA UNA RED TRÓFICA MUY HOMOGÉNEA

Un estudio realizado por investigadores del Centro Oceanográfico de A Coruña en colaboración con los centros oceanográficos de Gijón y Canarias del IEO, la Universidad de Vigo, AZTI y la Universidad de California en Santa Cruz (E.E.U.U.) analiza los patrones de variabilidad en las fuentes de nutrientes y la complejidad de la red trófica planctónica –es decir, el conjunto de relaciones alimentarias que se dan entre las especies de un ecosistema, en este caso en el plancton– a distintas escalas espaciales. El estudio se realizó durante la circunnavegación Malaspina-2010 que recorrió las áreas centrales de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico en dos buques oceanográficos españoles: *Sarmiento de Gamboa* y *BIO Hespérides*. Se recogieron muestras de cinco clases de tamaño de plancton y se tomaron medidas



ambientales, como la temperatura, la salinidad y la concentración de nutrientes, que se relacionaron con la biomasa y composición química del plancton. Como un indicador del origen del alimento del plancton se utilizó la medida de isótopos estables de nitrógeno, un análisis que permite conocer la procedencia de la materia orgánica que forma parte de un organismo.

A excepción del noroeste del océano

Atlántico, la estructura trófica del plancton, representada por modelos estadísticos que relacionan la biomasa y los isótopos de nitrógeno con el tamaño de los organismos, mostró una baja variabilidad en las regiones analizadas.

En esta región del Atlántico, la fijación de nitrógeno atmosférico es la principal fuente de variabilidad en la estructura trófica del plancton. Los resultados obtenidos sugieren una elevada homogeneidad geográfica en la transferencia neta de nitrógeno a niveles superiores de la red trófica al considerar grandes escalas espaciales (más de 5000 km).

El análisis de los modelos de tamaño se reveló como una herramienta práctica para estimar las fuentes de nitrógeno inorgánico y su transferencia neta en la red trófica, por lo que esta herramienta estadística se podrá aplicar al plancton de otras regiones.

NUEVA ESPECIE DE PEZ EN LOS FONDOS DE ALGAS ROJAS DE BALEARES

Una colaboración internacional entre científicos del IEO, el Museo de Historia Natural de Rijeka (Croacia) y el Departamento de Ictiología del *Bavarian State Collection of Zoology* de Múnich (Alemania) ha permitido la descripción de una nueva especie íctica, que ha sido bautizada como *Speleogobius llorisi*, en honor al ictiólogo Domingo Lloris. Se trata de un góbido perteneciente al género *Speleogobius*, del cual solo se han descrito dos especies hasta ahora, ambas en el Mediterráneo. Su pequeño tamaño, apenas llega a los tres centímetros de longitud total en los individuos capturados

hasta ahora, y su color rojizo, hacen que la especie se mimetice bien con los fondos de algas rojas. Todos los ejemplares de la nueva especie utilizados para su descripción se obtuvieron mediante muestreos con patín epibentónico en la costa suroeste de Mallorca, durante la campaña oceanográfica DRAGONSAL de 2014 y otros muestreos realizados en 2015.



A pesar de que esta especie no ha sido conocida hasta ahora, parece ser frecuente y relativamente abundante en las Islas Baleares, especialmente en los fondos de *Peyssonnelia* y maërl. Su descripción es importante para mejorar el conocimiento de la biodiversidad marina del Mediterráneo occidental y, en particular, de estos fondos de algas rojas, considerados hábitats esenciales para el mantenimiento de las poblaciones de peces y, en el caso del maërl, hábitats sensibles, protegidos por leyes internacionales medioambientales y pesqueras.

MÁS DE 27 KILOGRAMOS DE PESTICIDAS Y FÁRMACOS ACABAN CADA AÑO EN EL MAR MENOR

Investigadores del Centro Oceanográfico de Murcia IEO, con la colaboración de la Universidad de Alicante y del Institut Català de la Recerca de l'Aigua (ICRA), han llevado a cabo un completo estudio en el que se analizan las fuentes y distribución de los denominados microcontaminantes orgánicos emergentes, entre los que se encuentran hidrocarburos aromáticos, fármacos y pesticidas.

Este estudio caracteriza por primera vez las principales fuentes de entrada de contaminantes regulados y emergentes al Mar Menor, así como su posterior distribución en los distintos compartimentos ambientales (agua, sedimento y biota) y ofrece una visión actual de las presiones a las que está sometida la laguna como consecuencia de las principales actividades humanas que se realizan en su entorno. Los datos obtenidos corresponden a un intenso plan de seguimiento, realizado desde la primavera de 2009 al invierno de 2011. Los grupos de contaminantes que se han estudiado son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), contaminantes organoclorados, pesticidas de uso actual y fármacos.

La entrada anual de contaminantes orgánicos a través de la rambla del Albuñón al Mar Menor se ha estimado en 27,4 kg, de los que 11,4 kg correspondieron a fármacos y el resto a PAHs y plaguicidas. En momentos puntuales, como en las dos riadas que tuvieron lugar en septiembre de 2009, se registró una entrada de 40,9 kg de estos



contaminantes a través de esta rambla, mostrando su gran relevancia en este tipo de sistemas.

Además, en colaboración con la Universidad de Alicante, se caracterizaron las concentraciones de una serie de contaminantes orgánicos en aire, confirmándose la presencia de bifenilos policlorados y PAHs, especialmente en invierno y de plaguicidas según su periodo de uso.

La distribución espacial de los contaminantes en agua y sedimento permitió identificar otras fuentes de entrada además de la propia rambla del Albuñón, como las aguas subterráneas en las principales ramblas y la deposición atmosférica para los plaguicidas, los núcleos urbanos y puertos para los PAHs o los vertidos residuales no controlados en el caso de los fármacos. También se ha constatado que los PAHs se acumulan a niveles similares en berberecho, ostra y

nacra, mientras que ostra y nacra presentan mayores concentraciones de contaminantes organoclorados. Además, se ha caracterizado, en colaboración con el ICRA, por primera vez la bioacumulación de fármacos en moluscos y peces de un sistema costero español, detectándose más fármacos en el músculo del galupe que en moluscos. De esta forma, la ostra se postula como un buen bioindicador en el Mar Menor para la contaminación por PAHs y contaminantes organoclorados y el músculo del galupe para los fármacos. Este trabajo ha servido al investigador Rubén Moreno González para obtener el título de doctor el pasado mes de marzo. La tesis, titulada *Fuentes y distribución de microcontaminantes orgánicos regulados y emergentes en la laguna costera del Mar Menor*, ha sido dirigida por el investigador del IEO Víctor Manuel León.

Más de 27 kilogramos de pesticidas y fármacos acaban cada año en el Mar Menor
Avistada una yubarta en aguas del Mediterráneo noroccidental
Descubierta en Blanes una nueva especie de gusano comehuesos

AVISTADA UNA YUBARTA EN AGUAS DEL MEDITERRÁNEO NOROCCIDENTAL

El pasado 29 de marzo una científica del programa de observadores del IEO registró la presencia de una yubarta (*Megaptera novaeangliae*) frente a la costa de Tarragona, un cetáceo cuya presencia en estas aguas es muy rara.

El avistamiento tuvo lugar a unas 5 millas de la costa y se realizó a bordo del buque pesquero en el que la observadora realizaba su trabajo.

La ballena pudo ser detectada cuando emergió hasta la superficie y comenzó a batir el mar con sus aletas y cola, un rasgo distintivo del comportamiento de esta especie.

“La sorpresa inicial dio paso enseguida al registro del mayor número posible de detalles”, explica Matxalen Pauly, la observadora responsable del avistamiento. “El cetáceo permaneció en la superficie unos minutos, golpeando el mar insistentemente con su aleta caudal. En

este tiempo también dejó ver su pequeña aleta dorsal (de morfología variable, en este caso con una sola escotadura) y parte de sus aletas pectorales, blancas”, relató la científica.

La ballena jorobada o yubarta, perteneciente al suborden de los misticetos o cetáceos con barba, es de las ballenas más grandes, ya que alcanza una longitud máxima de unos 16 m. Tiene una distribución global y está presente en todos los océanos del planeta. Sin embargo, en el Mediterráneo es accidental, de ahí la relevancia de la observación. Aunque tienen preferencia por aguas frías, como las lindantes con los polos, durante los inviernos polares buscan aguas más templadas en zonas subtropicales. Es en estas regiones donde se reproducen. Los ejemplares adultos pueden sobrepasar las 30 toneladas de peso y las crías al nacer pesan unos 600 kg.



Foto: Matxalen Pauly / Programa observadores IEO

En el Mar Mediterráneo se tiene constancia de muy pocos registros (apenas una veintena entre varamientos, capturas accidentales y observaciones), aunque en la última década parecen haber aumentado con respecto a años anteriores. Esto puede ser debido al aumento de la población de yubartas en el Atlántico Norte y/o un mayor número de observadores.

DESCUBIERTA EN BLANES UNA NUEVA ESPECIE DE GUSANO COMEHUESOS

Un equipo de investigadores, coordinado por la Universidad de Barcelona, ha descubierto en las aguas de Blanes, y por primera vez en el mar Mediterráneo, una nueva especie de *Osedax*, un gusano comehuesos que hasta ahora solo se había encontrado en aguas más frías y profundas. El trabajo, publicado en abril en la revista científica *PLOS ONE*, está firmado por los investigadores Sergio Taboada, Ana Riesgo, María Bas, Miquel A. Arnedo y Conxita Àvila, del Departamento de Biología Animal y del Instituto de

Investigación de la Biodiversidad de la UB (IRBio), así como por Javier Cristobo (Instituto Español de Oceanografía) y por uno de los expertos mundiales en el estudio de estos organismos, Greg Rouse (Instituto Scripps de Oceanografía, Estados Unidos).

En el artículo también se profundiza en la descripción filogenética, morfológica y ultraestructural del *Osedax deceptionensis*, otra especie de *Osedax* que fue descubierta por el mismo grupo de investigadores en 2013 en la isla Decepción, en el

archipiélago de las Shetland del Sur (Antártida).



LOS IMPACTOS HUMANOS CONDICIONAN MÁS LA DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE LA NACRA QUE LOS FACTORES AMBIENTALES

SEGÚN UN TRABAJO DEL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA QUE PUBLICA LA REVISTA *PLOS ONE*



Investigadoras IEO publicaron el pasado mes de abril un trabajo que compara las contribuciones de los factores ambientales y los impactos humanos a la distribución y abundancia de la nacra, un bivalvo endémico del Mediterráneo catalogado como vulnerable.

La degradación costera y la fragmentación del hábitat ponen en peligro la conservación de especies marinas, especialmente de aquellas que viven fijadas al fondo. La nacra, *Pinna nobilis*, es una especie endémica del Mediterráneo protegida con la categoría de vulnerable en el Catálogo Español de Especies Amenazadas, pero, a pesar de

su protección, sus poblaciones se encuentran en declive.

Este nuevo estudio parte de los resultados obtenidos tras tres años de investigación en el marco del proyecto Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional de Cabrera (de acrónimo PINNA), impulsado por el Organismo Autónomo Parques Nacionales del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y dirigido por la investigadora del IEO Salud Deudero. En el proyecto se han evaluado las poblaciones de nacra presentes en el Parque Nacional de Cabrera, así como en todo el archipiélago Balear.

A través del uso de modelos, se ha analizado la contribución de los factores ambientales (profundidad, altura de ola, altura máxima de ola, periodo y dirección media) frente a los de origen humano (fondeo de embarcaciones, nivel de protección, vertidos, pesca y buceo) como variables que explican la distribución y abundancia de este bivalvo.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los impactos humanos explican la mayor parte de la variabilidad detectada en la distribución de densidad de nacra en las Islas Baleares, ya que afectan de manera significativa a sus poblaciones. Los sitios no protegidos, con alta carga de fondeo por embarcaciones recreativas, son los que muestran mayor disminución en las densidades de nacra. Sin embargo, las variables ambientales se encuentran en un segundo plano, indicando que los procesos de cambio global no son tan relevantes para las comunidades bentónicas como los de origen humano.

“El presente estudio podría servir como base a la hora de establecer estándares dentro de los seguimientos de *Pinna nobilis* en Lugares de Importancia Comunitaria (LICs-ZEC) marinos mediterráneos incluidos en la Red Natura 2000”, destacó Salud Deudero.

Los impactos humanos condicionan más la distribución y densidad de la nacra que los factores ambientales
Una milésima parte de las emisiones volcánicas de CO₂ del mundo proceden del volcán submarino de El Hierro

UNA MILÉSIMA PARTE DE LAS EMISIONES VOLCÁNICAS DE CO₂ DEL MUNDO PROCEDEN DEL VOLCÁN SUBMARINO DE EL HIERRO

La revista *Scientific Reports*, de la editorial *Nature*, publicó el pasado mes de mayo nuevos resultados del trabajo de investigación en el entorno del volcán submarino de la isla de El Hierro. El estudio muestra que la fase de desgasificación, en la que se encuentra el volcán desde marzo de 2012, emite grandes cantidades de CO₂ al medio marino, aumentando la acidez en las proximidades del volcán hasta en un 20% y emitiendo aproximadamente el 0.1% del flujo de CO₂ volcánico a nivel mundial.

Esta investigación ha sido realizada conjuntamente por científicos del grupo QUIMA-IOCAG de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), del Instituto Español de Oceanografía en Canarias (IEO) e investigadores del *Pacific Marine Environmental Laboratory* (PMEL) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de Estados Unidos.

La erupción submarina, que se produjo en octubre de 2011, a 1.8 km al sur de la isla de El Hierro, generó unos cambios muy severos en las propiedades físico-químicas del agua que rodeaba la zona. Una vez que el volcán submarino dejó de emitir lava en marzo de 2012, entró en una fase de desgasificación en la que emite importantes cantidades de CO₂ y, por lo tanto, aumenta la acidez del agua de mar sobre el volcán en un 20%. El flujo de CO₂ emitido

por el volcán submarino de El Hierro es igual al 0.1% del flujo volcánico a nivel mundial.

El artículo, publicado en acceso abierto con el título *Significant discharge of CO₂ from hydrothermalism associated with the submarine volcano of El Hierro Island* (Descarga significativa de CO₂ por el proceso de hidrotermalismo asociado al volcán submarino de la isla de El Hierro), muestra los resultados obtenidos durante la tercera campaña del proyecto Vulcano en marzo de 2014 a bordo del buque *Ángeles Alvariño* del Instituto Español de Oceanografía.

Uno de los resultados más destacados de este estudio es la implementación por parte de los investigadores de una nueva y revolucionaria metodología para la localización y medición de salidas de gases en ambientes volcánicos submarinos. Esta metodología se basa en la utilización de dos sensores, el ORP (oxidación-reducción) y el pH, arrastrados en secciones por toda la ladera del volcán desde su base hasta su cima y desde el mismo fondo hasta una altura de 40 metros sobre él, a modo de yoyó. Con cada sección realizada, se completa un mapa en tres dimensiones con las salidas de CO₂ sobre el edificio volcánico y se identifican las zonas de emisión y el contenido de dióxido de carbono emitido.





ESPECIAL OCEANOGRAFÍA OPERACIONAL

LA OCEANOGRAFÍA OPERACIONAL es la medida y observación sistemática y a largo plazo de los mares y océanos, así como su interpretación y difusión, con el fin de satisfacer las necesidades de diversos sectores, como la industria, la navegación, la gestión, etc., además de la investigación científica.

La obtención de datos oceanográficos es compleja y muy costosa, lo cual ha limitado mucho el estudio de los mares y océanos, que ha dependido de manera ineludible del desarrollo tecnológico.

Gracias a los buques oceanográficos, los satélites o el fondeo de instrumentos y, en los últimos años, a los vehículos autónomos, como los AUV o los gliders, se consigue obtener información de este medio hostil para el hombre y, al mismo tiempo, fundamental para su actividad y supervivencia.

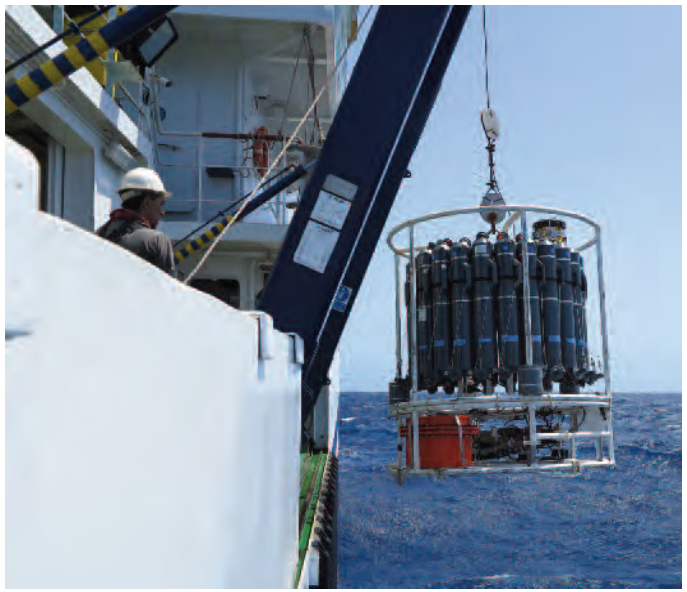
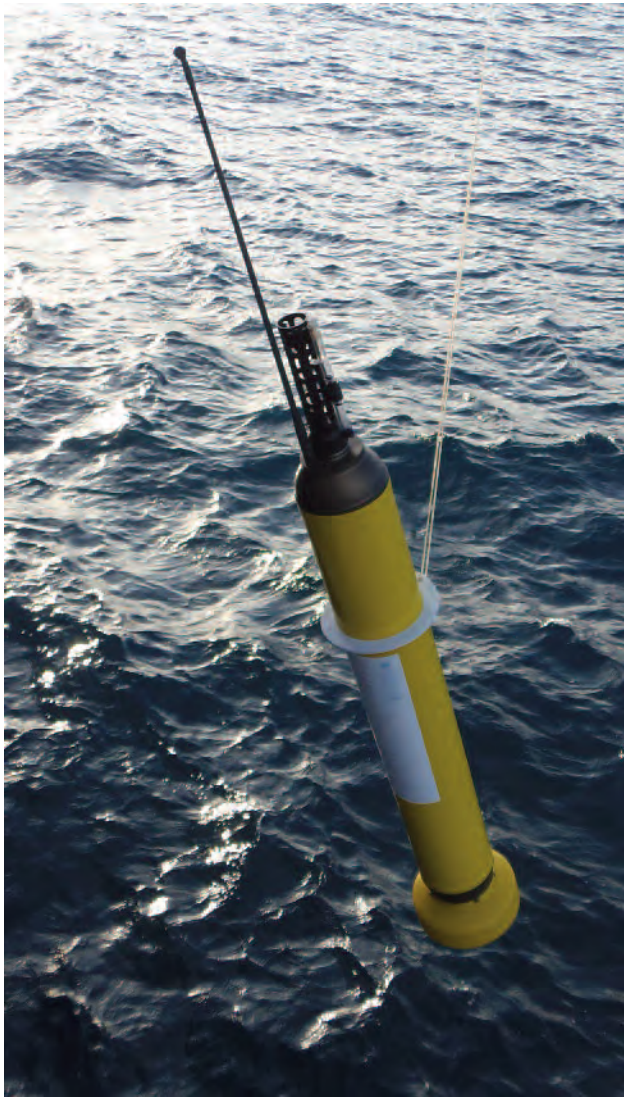
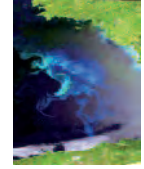
El muestreo en el océano sigue siendo deficiente cuando se compara al de otros medios, pero tanto el desarrollo tecnológico como la cooperación internacional ha permiti-

do un aumento espectacular en la resolución temporal y espacial y en la calidad de los datos.

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

A partir de los 80, el debate sobre el cambio climático y su predicción, los problemas relacionados con la biodiversidad, el agotamiento de los recursos marinos, el aumento demográfico en la región costera, el aumento del tráfico marítimo y otros problemas promovieron la creación de programas internacionales dedicados a los diferentes aspectos del océano y su comportamiento a distintas escalas espaciales y temporales.

El primer gran proyecto de cooperación, que sería el germen de la oceanografía operacional, fue WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*), que se desarrolló a primeros de los 90 y que permitió cubrir todo el océano mundial con campañas sistemáticas. No solo se hicieron campañas transoceánicas y de gran duración, sino pequeñas campañas por todos los rincones, de manera que



se obtuvo una resolución de estaciones muy alta, duplicando los datos oceanográficos disponibles hasta la fecha. En 1992 el Comité Ejecutivo de la COI de la UNESCO, con el objetivo de crear un sistema internacional coordinado de observación sistemática y continua del océano, creó el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS por sus siglas inglesas).

GOOS, concebido como un sistema semejante al del servicio internacional de observación y de previsión meteorológica, está constituido por agrupaciones que comparten intereses o áreas geográficas, como es el caso de EuroGOOS, que coordina la participación europea, incluida España, que se encuentra representada por el IEO y Puertos del Estado.

LA OCEANOGRAFÍA OPERACIONAL EN EL IEO

Desde su fundación, hace 100 años, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) ha observado y medido las características del océano de una forma sistemática, lo que se conoce hoy como oceanografía operacional.

Algunos sistemas de medición se han mantenido durante más de 70 años, como es el caso de la red de mareógrafos, al cual se han ido sumando diferentes programas de observación.

En la actualidad son más de 180 las estaciones costeras y oceánicas que se muestrean sistemáticamente a bordo de buques oceanográficos; existen seis fondeos instalados en lugares estratégicos, que estudian las corrientes marinas de forma continua; una boyas oceánica, que analiza la altura y dirección de las olas en alta mar y una estación de recepción de imágenes de satélite, que permite el estudio del océano con una resolución espacial enorme. Destaca también la contribución del IEO al programa de boyas perfiladoras ARGO, que ha desplegado 47 de las 3900 que cubren los océanos.

Todas estas mediciones sistemáticas permiten al IEO dar respuestas a las actividades de investigación del océano, a la gestión de los recursos, el control de la contaminación o mejorar la navegación, entre otras actividades. En el siguiente especial sobre oceanografía operacional repasamos algunos de los principales sistemas de muestreo de los océanos, como son las campañas oceanográficas, los satélites o las boyas perfiladoras.

Este especial hubiese sido imposible de llevar a cabo sin las contribuciones de Carlos García-Soto, Elena Tel, Alicia Lavín, Elena Prado, Pedro Vélez, Ricardo Sánchez, Jose Luis López-Jurado y Antonio Bode.



Alicia Lavín

Investigadora del Centro Oceanográfico de Santander del IEO

EUROGOOS Y EL IEO

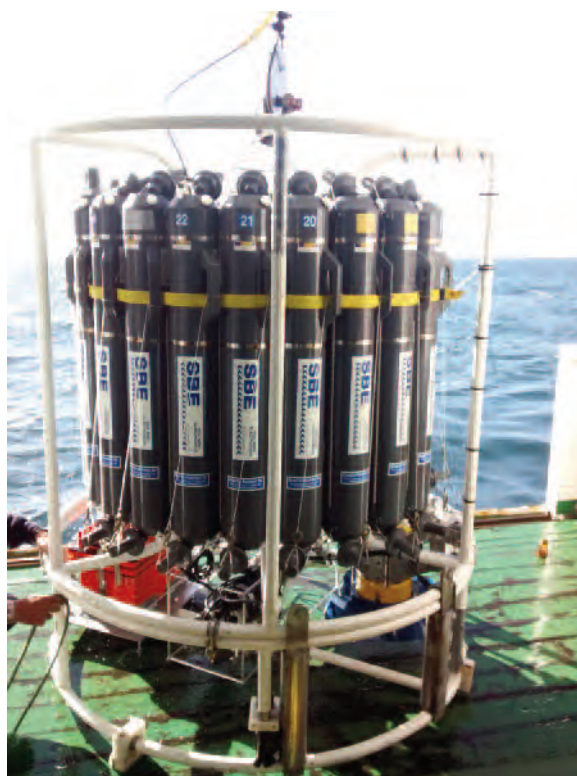
EUROGOOS es una asociación internacional de agencias gubernamentales y organismos de investigación cuyo objetivo es desarrollar la oceanografía operacional a escala europea, en el contexto de la organización intergubernamental GOOS (*Global Ocean Observing System*), creada por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO.

EUROGOOS fue fundado en 1994 y hoy tiene 39 miembros, procedentes de 19 países europeos. Representando a España, fueron socios desde el comienzo el Instituto Español de Oceanografía y Puertos del Estado, siendo en Madrid donde se firmó el primer acuerdo entre socios.

Está dividido en áreas regionales, habiendo participación española en dos de ellas: el Atlántico y golfo de Vizcaya (Ibigoos) y el Mediterráneo (Mongooos).

El IEO es socio desde el inicio, Gregorio Parrilla fue uno de los impulsores, y ha colaborado en proyectos piloto como GyrosCope, que propició el comienzo del lanzamiento de boyas ARGO, o FERRYBOX, para montaje de sistemas en continuo en ferrys o barcos de ocasión. También se ha colaborado en una serie de proyectos de la Unión Europea en oceanografía operacional o datos, como ESSEO, ECOOP, ASI-MOUTH, EMODNET, FixO3, MyOceanII o AtlantOS. El IEO colabora con su sistema de Observación Oceánica IEOOS, que comprende muestreos de hidrología y plancton periódicos en zonas de plataforma y talud

de la costa española: RADIALES en el norte/noroeste, RADMED en el Mediterráneo, STOCA en el Golfo de Cádiz y las radiales profundas RADCAN en Galicia/Cantábrico y RAPROCAN en Canarias. También





mantiene fondeos de medidas de corrientes en la cuenca Canaria, estrecho de Gibraltar, Baleares, Finisterre y Cantábrico, además de medidas con transmisión directa de la información de la red de mareógrafos del IEO, termosalinómetros de los barcos oceanográficos del IEO, estación de recepción de imágenes de satélite, Observatorio RAIA del noroeste de la Península Ibérica y sus productos y plataforma Augusto González de Linares en el golfo de Vizcaya. A ello hay que añadir el desarrollo de modelos regionales de predicción en el norte/noroeste de la península Ibérica

EUROGOOS ha organizado una serie de grupos de trabajo (ciencia, tecnología, gestión de datos, productos y modelado) y equipos de tareas para el desarrollo de sistemas de observación marina en ferrys, aparatos de medida del nivel del mar, gliders, radares HF y boyas ARGO, además de estar propiciando otro de plataformas fijas y de observaciones en mamíferos marinos, con el objetivo principal del desarrollo tecnológico de medidas automáticas y su transmisión en tiempo presente a sus bases y a centros de datos, que lo distribuyen para su utilización inmediata a los modelos y a los usuarios que lo requieran.

Esta tecnología se ha desarrollado en estaciones fijas o plataformas océano-meteorológicas, como el observatorio RAIA o la plataforma AGL del IEO, en boyas ARGO de deriva, en *gliders* o vehículos autónomos di-

rigidos, sistemas montados en ferris o barcos de ocasión, mareógrafos o en radares de alta frecuencia para medida de velocidades de corriente superficial. Ejemplos de este tipo de tecnologías y sus productos derivados se pueden ver en la página general del IEO (www.ieo.es) o en las páginas específicas de la plataforma Augusto González de Linares (www.boya_AGL.st.ieo.es) o en el Observatorio del proyecto RAIA (indicedeafloramiento.ieo.es) o en la de Puertos del Estado (www.puertos.es)

Ha supuesto un gran esfuerzo obtener la información, procesarla, generar productos derivados y poner todo ello a disposición de los posibles usuarios. El objetivo final es el mantenimiento de un Sistema de Observación Oceánica Integrado.

El océano es una fuente fundamental de agua, alimento, energía, materiales y sustenta turismo, transporte y comercio. Un sistema de observación del océano es crucial para entender el medio ambiente, proveer datos y productos, mitigar el cambio climático y entender la economía azul.





EL OCÉANO DESDE UN SATÉLITE

texto Pablo Lozano

Estudiar el clima, conocer la temperatura, la salinidad, la superficie y el espesor del hielo, la distribución de los vientos, monitorizar las mareas rojas o seguir la evolución de los vertidos de petróleo. Todo a una escala impensable hace unas décadas.

SE CUMPLEN 35 AÑOS de las primeras observaciones del océano desde satélite y cada vez son más las variables que somos capaces de medir desde el espacio. También son cada vez mayores la precisión y la resolución de las medidas. Además, algunas variables tienen hoy una serie histórica de datos lo suficientemente larga como para estudiar cambios en el clima con una escala espacial y una resolución inalcanzable con otra técnica. Esta joven ciencia va alcanzando su madurez, lo que está permitiendo descubrir y comprender procesos fundamentales para entender nuestro planeta.

“Los satélites nos proporcionan una cobertura global diaria de los océanos a la que no podríamos acceder de ninguna otra manera”, explica Carlos García Soto, investigador del Instituto Español de Oceanografía (IEO) y experto en oceanografía por satélite.

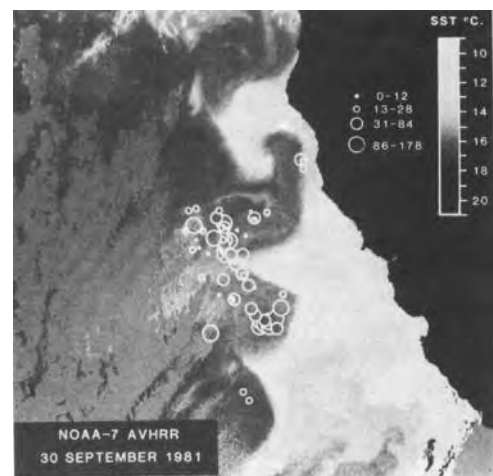
Las contribuciones de la teledetección a la oceanografía han sido muy importantes en los últimos años. Gracias a los satélites se ha podido estimar el calentamiento superficial del agua promediado de todo el planeta: 0,17 grados centígrados por década. También se ha calculado el aumento del nivel del mar en 3,2 mm al año, se ha observado una pérdida de hielo en el Ártico del 11,5% cada década y se ha podido ver que la composición del fitoplancton está cambiando.

UN POCO DE HISTORIA

Las primeras observaciones de la Tierra desde el espacio comenzaron hace apenas 50 años. El 1 de abril de 1960 se lanzaba al espacio *TIROS-1*, el primer satélite meteorológico.



Científico realizando un test de vibración a *TIROS-1* en la Astro-Electronic Products Division en Princeton. NASA.



Uno de los primeros mapas de temperatura superficial del océano gracias al sensor AVHRR, que portó por primera vez el *NOAA-7*. La imagen es de California y está hecha mediante capturas diarias entre el 27 de septiembre y el 2 de octubre de 1981. NOAA

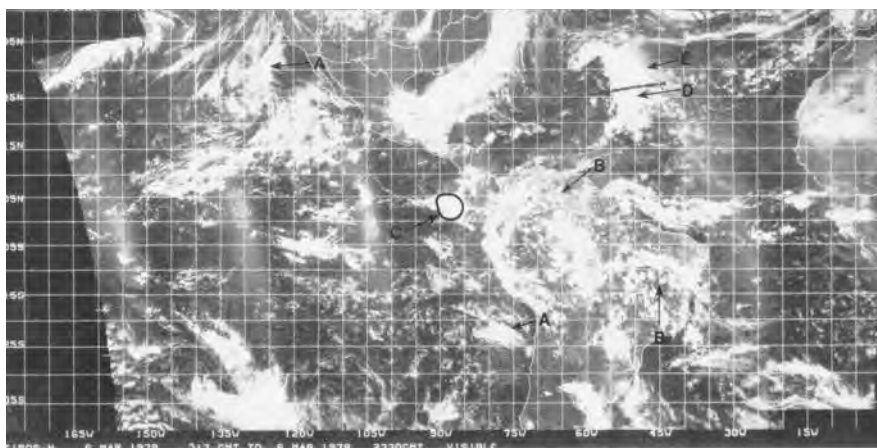


Imagen obtenida por la NOAA con imágenes de *TIROS-N* en 1979, donde se señalan diferentes tipos de nubes. NOAA.

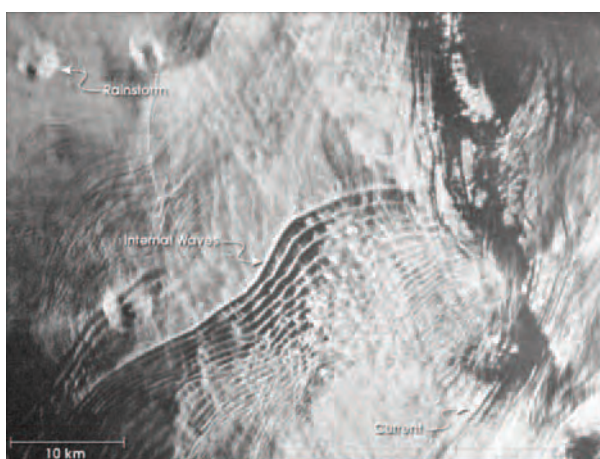
gico capaz de medir con éxito parámetros ambientales desde el espacio, tras los intentos fallidos de la serie de satélites *Vanguard*, que se lanzaron en los años 50.

El *TIROS-1*, durante los 76 días que permaneció operativo, envió las primeras imágenes de la Tierra desde el espacio gracias a las dos cámaras de televisión que portaba. A éste le siguieron hasta 10 satélites con el nombre de *TIROS* (*Television Infrared Observation Satellite*) y el mismo sistema de cámaras; el último de ellos lanzado en 1965.

A esta serie le siguió *ESSA*, con nueve satélites; y luego *ITOS*, con ocho más. Todos ellos funcionaban de forma similar, portando cámaras que ofrecían imágenes de la cobertura de nubes y hielo.

No fue hasta 1978 cuando se lanzaron los primeros satélites capaces de medir la radiación emitida por la superficie del mar y, de esta forma, medir las primeras variables oceanográficas desde el espacio.

El primer sensor con aplicaciones oceanográficas fue un radiómetro capaz de medir la energía que las superficies del mar y la Tierra emiten en el infrarrojo. Gracias a este sensor, que portó por primera vez *TIROS-N*, se obtuvieron las primeras medidas de la temperatura superficial del océano. Nació así la oceanografía por satélite. Aunque hubo que esperar tres años más, hasta que se lanzara el *NOAA 7* en 1981, para obtener unas medidas correctas de



El Radar de Apertura Sintética (SAR), instalado por primera vez en *SEASAT*, ofrece imágenes donde el brillo de la escena depende de la rugosidad de la superficie y, de esta forma, se pueden observar fenómenos que no podrían apreciarse con sensores ópticos. Esta imagen, tomada el 26 de junio de 1978 por *SEASAT*, muestra las ondas internas que se forman por el efecto de la marea en el interior del golfo de México. NOAA.

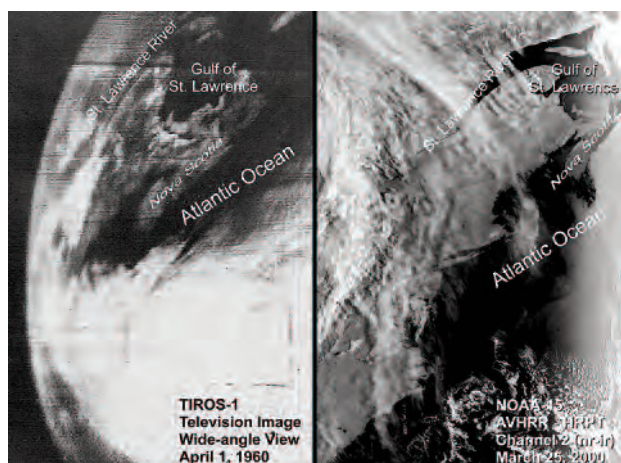
la temperatura gracias al sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR).

1978 fue un año clave para la observación remota del océano. Además de *TIROS-N*, se lanzaron otros satélites muy importantes, como fueron *NIMBUS 7* y *SEASAT*.

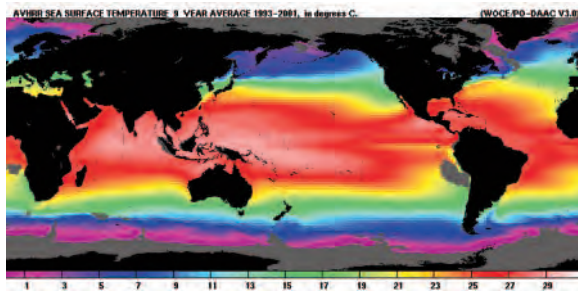
NIMBUS 7, perteneciente a una serie de satélites dedicados a la observación meteorológica, fue el primero en portar un sensor de microondas: el *Scanning Multichannel Microwave Radiometer* (SMMR). Este sensor, además de permitir conocer la temperatura superficial del océano, incluso en presencia de nubes, hizo posible medir la superficie del hielo marino. Además, este satélite portó el primer sensor de color —el *Coastal Zone Color Scanner*—, que permitiría estudiar el fitoplancton desde el espacio.

Este mismo año se puso en órbita el *SEASAT*, el primer satélite con aplicaciones exclusivamente oceanográficas. Solo duró 106 días operativo, pero, en ese tiempo, demostró la necesidad y viabilidad de la monitorización de fenómenos oceanográficos desde el espacio.

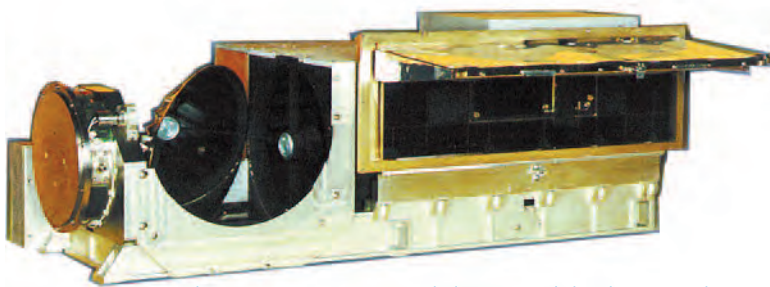
SEASAT portó el primer radar de apertura sintética (SAR), capaz de observar las ondas de la superficie del océano y las condiciones del hielo polar. Además, portaba sensores



Comparación de una imagen tomada por *TIROS-1*, el primer satélite meteorológico, y el *NOAA15* con el avanzado sensor AVHRR.



Mapa de la temperatura media del océano construido con 9 años (1993-2001) de datos tomados con AVHRR. NOAA.



El sensor AVHRR/3 escanea el planeta en seis bandas espectrales en un rango que va de las 0,58 a los 12,5 micras. Ofrece imágenes por el día y por la noche de la superficie terrestre, el agua y las nubes y mide la temperatura del agua, el hielo, la nieve y la vegetación. NOAA.

de microondas e infrarrojos, un escáner de microondas para estudiar la velocidad y dirección del viento y uno de los primeros altímetros, aunque aún sin la suficiente precisión para estudiar el nivel del mar.

LA TEMPERATURA DEL OCÉANO

La temperatura superficial del océano fue la primera variable oceanográfica en medirse desde satélite. Existen dos formas de calcular esta variable: una midiendo la energía emitida por la superficie en el infrarrojo y otra midiendo la energía en las microondas. La primera permite una mayor resolución espacial; una medida cada kilómetro, frente a una cada 25. Sin embargo medir en el infrarrojo tiene una gran desventaja, y es que esta energía no atraviesa las nubes, mientras que las microondas si lo hacen y, por tanto, permiten medir la temperatura en cualquier condición meteorológica.

Las primeras medidas de temperatura consideradas válidas por la comunidad científica se obtuvieron a partir de 1981 gracias al sensor AVHRR (*Advance Very High Resolution Radiometer*), un sensor de infrarrojos que se instaló por primera vez en el satélite NOAA 7, y que, desde entonces, lo han portado toda esta serie de satélites, desde el 7 hasta el NOAA 19 (sin contar el 13, que no existió por superstición), el último lanzado en 2009. También portan este sensor los tres satélites europeos MetOp. Este sensor, en la actualidad (AVHRR/3), es capaz de medir la energía reflejada por la superficie terrestre en seis

bandas espectrales (los primeros lo hacían en cuatro). Las dos primeras centradas en el rojo (0,6 micrómetro) y en el infrarrojo cercano (0,9 micrómetros), una tercera en torno a los 1,6 micrómetros, una cuarta en 3,5 micrómetros y las dos últimas sobre los 11 y los 12 micrómetros, midiendo la radiación térmica que emite el planeta.

Estos sensores son capaces de detectar la radiación que emiten los objetos en la naturaleza. Tanto la cantidad de energía que emite un cuerpo como la distribución de esta energía en diferentes longitudes de onda depende principalmente de la temperatura a la que se encuentra dicho cuerpo.

Gracias a estos sensores, en la actualidad tenemos una serie de medidas de la temperatura superficial del océano de casi 35 años, lo que supone una información espacial y temporal de enorme valor. "Ahora empezamos a poder estudiar los cambios a escala climática gracias a los satélites", explica Jorge Vázquez, investigador del *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA. "Esta metodología nos ha permitido investigar, no solo el calentamiento global, sino además otras variaciones térmicas de gran escala asociadas a fenómenos naturales como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) o el Niño", añade Carlos García Soto.

Desde 1999 la temperatura del océano también se mide gracias a otros sensores desarrollados por la NASA y que se basan en el mismo principio. Se trata del *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), instalado por primera vez en el satélite *Terra* y, cuatro años después, en 2003, en el satélite *Aqua*. Este sensor captura datos en 36 bandas espectrales, desde los 0,4 micrómetros hasta los 14,4 micrómetros, lo que permite estudiar la cobertura de nubes, los incendios, la superficie de hielo, las concentraciones de aerosoles en la atmósfera baja, la superficie vegetal del planeta, la producción primaria del océano o la temperatura del agua, entre otras variables. Pero lo último en radiómetros es el *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS), que desde 2011 opera a bordo del satélite *Suomi NPP* y que viene a sustituir a la serie de satélites meteorológicos NOAA.

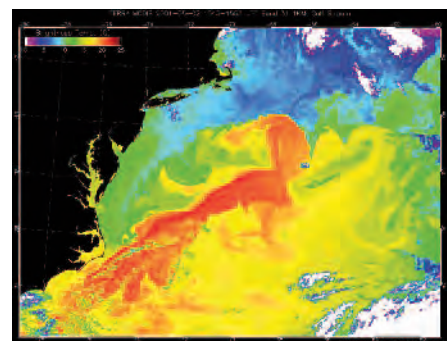
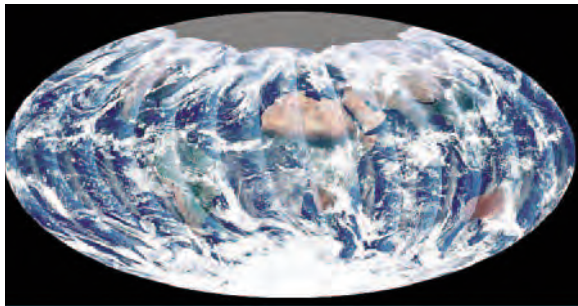


Imagen de la temperatura superficial tomada con MODIS, donde se observa la dimensión de la corriente del Golfo. Universidad de Wasinghton.



Imagen del lanzamiento de *Suomi NPP*, el primero en portar el sensor VIIRS y sustituto de la serie NOAA. NASA.



Primera imagen completa de la Tierra tomada con VIIRS el 24 de noviembre de 2011.

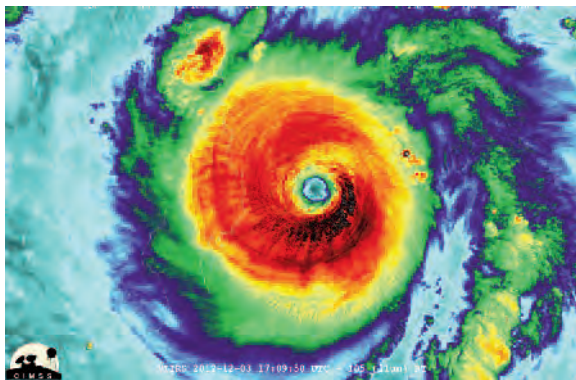


Imagen del tifón Bopha tomada con el VIIRS de *Suomi NPP* en diciembre de 2012 en Filipinas. University of Wisconsin.

Al igual que MODIS, VIIRS es un sensor multidisciplinar que proporciona información sobre el océano, la tierra y la atmósfera. Este sensor permite la adquisición de imágenes de alta resolución en el infrarrojo y el visible, lo que permitirá estudiar con precisión los huracanes, detectar incendios, estudiar los aerosoles atmosféricos, el color del océano y proporcionará mejores medidas de la temperatura superficial del mar de las que se obtienen con los sensores AVHRR.

VIIRS ofrece una imagen completa del planeta cada dos

días con una resolución de 750 metros, lo que permitirá estudiar fenómenos oceanográficos costeros que tienen una alta variabilidad y un interés muy elevado para las actividades humanas.

Una medición precisa y de gran resolución de la temperatura del mar es esencial para muchas aplicaciones, como la predicción de huracanes o los modelos meteorológicos y de circulación oceánica. Los datos de este satélite darán continuidad a la serie de datos comenzada por los AVHRR y MODIS, que es fundamental para el estudio del clima.

Este sensor permite, además, la medición de las concentraciones de pigmentos, la claridad del agua, las partículas en suspensión y otras propiedades fundamentales para la gestión de las zonas costeras, la pesca, la acuicultura y las operaciones navales. Los datos de VIIRS ya están mejorando las predicciones de floraciones de algas nocivas, permitirán la detección de zonas con alto riesgo de blanqueamiento de corales o mejorarán las predicciones de reclutamiento de peces, entre otras aplicaciones.

Tras el éxito del satélite *Suomi NPP*, el sensor VIIRS tendrá continuidad a bordo de la nueva serie de satélites que operarán la NASA y la NOAA: la *Joint Polar Satellite System* (JPSS), cuyo primer satélite –el *JPSS-1*– se lanzará a principios del año que viene. Esta serie supondrá la segunda generación de satélites meteorológicos de órbita polar.

Europa también ha desarrollado su propio programa de satélites polares meteorológicos: la serie *MetOp*. Dichos satélites llevan un gran número de sensores, como el AVHRR –al igual que los JPSS– o alguno de desarrollo europeo, como el IASI (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*), un instrumento principalmente atmosférico. El primer sensor IASI se lanzó en 2006 a bordo de *MetOp-A*, el segundo instrumento lo porta *MetOp-B* desde septiembre de 2012 y el tercero se lanzará en 2018 a bordo de *MetOp-C*. IASI tiene un nivel de precisión muy alto, cercano al del VIIRS. Este puede medir con una resolución de 1000 metros, lo que permite estudiar procesos de mesoescala.

LA TEMPERATURA A TRAVÉS DE LAS NUBES

La radiación en el infrarrojo se atenúa y disipa al atravesar las nubes y, por tanto, esta tecnología no permite hacer mediciones en ciertas condiciones meteorológicas. En algunos lugares del planeta esto es un problema especialmente grave, puesto que la nubosidad puede permanecer durante semanas. La solución está en las microondas, una frecuencia para la cual las nubes y aerosoles son transparentes y permite estimar la temperatura del océano.

Ya en 1978, se instalaron los primeros de estos sensores en los satélites *NIMBUS7* y *SEASAT*. El conocido como



Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR), consistía en un sensor capaz de medir la radiación emitida por la superficie de la Tierra a 6,63, 10,69, 18,0, 21,0, y 37,0 GHz. Sus medidas no sirvieron para medir la temperatura superficial del océano, pero si para estudiar la cobertura de hielo en los polos.

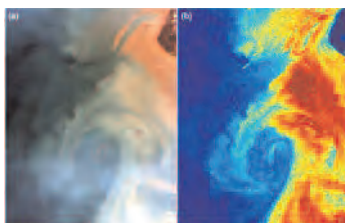
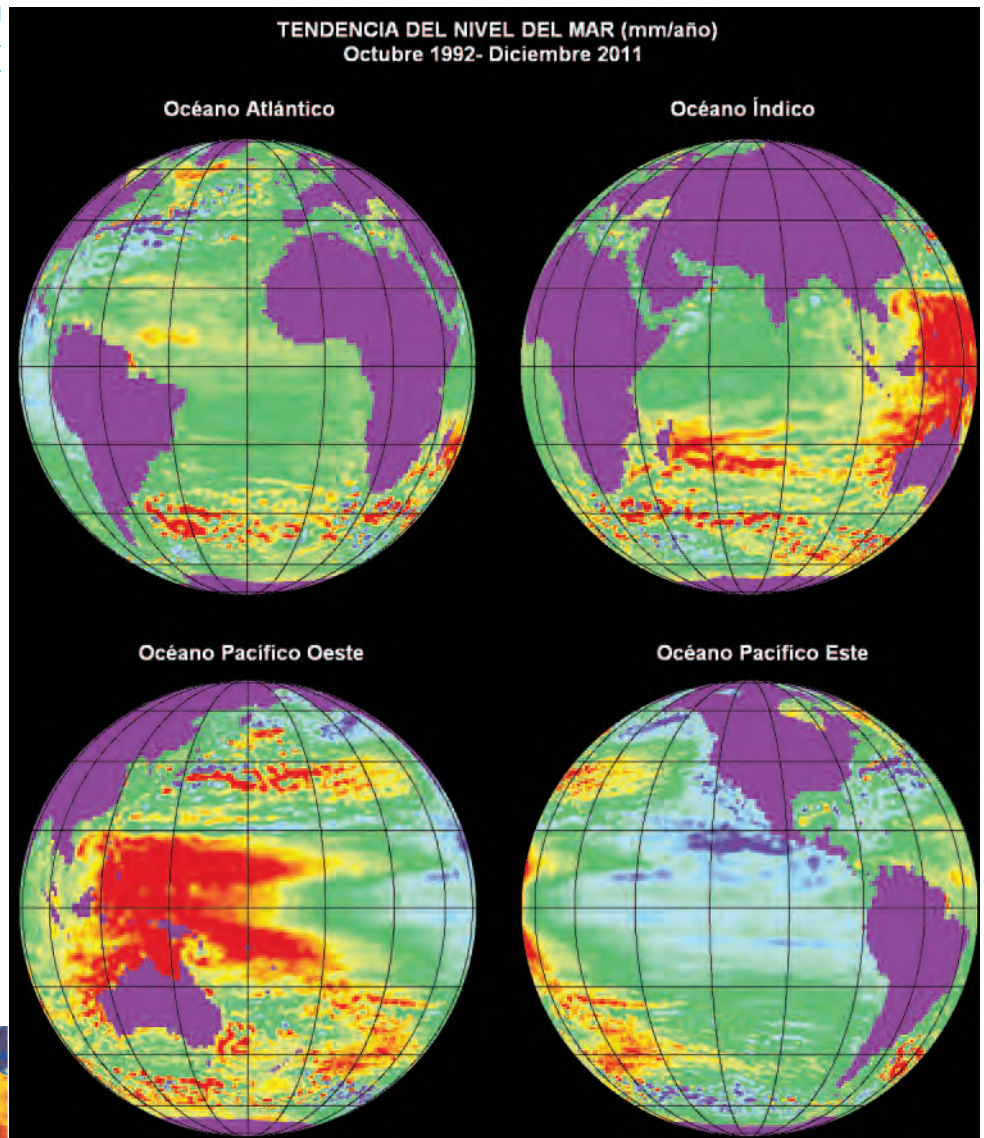
Al SMMR le sustituyó el SSM/I (*Special Sensor Microwave/Imager*) que, desde 1987, se instaló en la serie de satélites *F*, perteneciente al Programa de Satélites Meteorológicos de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos, y que permitió obtener las primeras medidas de la temperatura del océano. El sensor lo portaron desde el *F8* hasta *F15*, a excepción del *F9*. Este sensor, mide las microondas emitidas por la atmósfera y la superficie terrestre a 19,35, 22,235, 37,0 y 85,5 GHz en siete canales, tanto en el plano vertical de polarización como en el horizontal. Estas mejoras del sensor permitieron obtener, de las lectu-

ras de esta radiación, variables como la velocidad del viento cerca de la superficie, el vapor de agua en la atmósfera, las precipitaciones, el espesor de la nieve y la temperatura del agua.

Desde 2010 no se reciben datos del SSM/I, que se instaló por última vez en el satélite *F15*, lanzado en el 2000. En la actualidad, y desde 2005, los datos de microondas los recibe el sensor SSMIS (*Special Sensor Microwave Imager / Sounder*), capaz de medir en 24 canales y 21 frecuencias.

La serie de datos que ofrecen estos sensores tiene ya 27 años y es la NOAA, a través de su centro de datos *Comprehensive Large Array-data Stewardship System* (CLASS), quien lo gestiona y ofrece productos con esta valiosa información. Gracias a estas largas series de datos de temperatura, con cobertura global y diaria, podemos conocer con precisión las variaciones de temperatura.

Evolución del nivel del mar en milímetros años.
Carlos García-Soto.



A la izquierda, imagen hiperspectral de la desembocadura del río Yangtze en el Mar de China, tomada con el instrumento *Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean* (HICO), instalado en la Estación Espacial Internacional. A la derecha la misma imagen centrada en los 605 nm, donde muestra la concentración de arcillas. Oregon State University

Las series de datos de temperatura superficial del mar son las más extensas en oceanografía y, por tanto, esta variable es hasta ahora la que mayor información del clima está ofreciendo. Gracias a estas medidas de escala planetaria, los científicos han podido demostrar que el agua del mar se calienta 0,17 grados centígrados cada año.

Lo último en el estudio de la temperatura superficial del océano desde satélite es tratar de combinar los datos de microondas e infrarrojos para lograr la máxima resolución posible, tanto espacial como temporal. Esto era algo impensable hasta hace muy poco, ya que para poder combinar estos datos es necesario conocer muy bien los errores de cada instrumento y utilizar modelos estadísticos muy complejos. Sin embargo, varios equipos científicos, como el que coordina Jorge Vázquez en la JPL de la NASA, ya están empezando a desarrollar productos con datos de sensores diferentes.

Pero el verdadero avance para la radiometría, tanto para medir la temperatura del océano como para otras variables, vendrá con el uso de sensores hiperespectrales. Esto supondrá un cambio para la teledetección enorme, como pasar de ver en blanco y negro a hacerlo en color. Hasta ahora los sensores utilizados eran multispectrales, capaces de medir a lo sumo en una veintena o treintena de longitudes de onda diferentes. Sin embargo, los instrumentos hiperespectrales serán capaces de medir en más de 200 longitudes de onda diferentes, una información que permitirá estudiar la Tierra desde el espacio como nunca antes se había hecho.

La NASA ya prepara la primera misión con tecnología hiperespectral: la *Hyperspectral Infrared Imager* (HyspIRI). *HyspIRI* estudiará la Tierra a una escala planetaria con precisión métrica. En el medio terrestre será capaz de identificar el tipo de vegetación y la salud de ésta, la composición química del suelo, etc. y en el océano permitirá distinguir infinidad de especies de plancton y conocer la temperatura superficial con una precisión menor de 50 metros, entre otras variables.

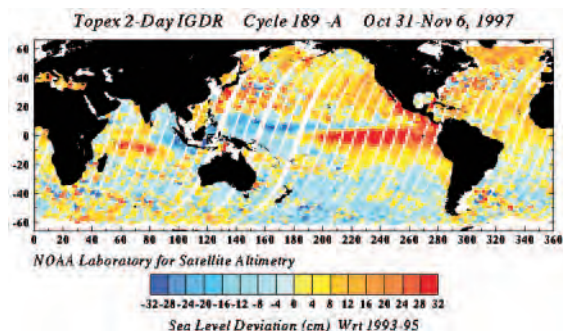
El satélite *HyspIRI* incluirá dos instrumentos: un espectrómetro que medirá desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta (desde 380 nm hasta 2500) y una cámara multispectral que medirá entre 3 y 12 micrómetros.

“Gracias a esta tecnología estudiaremos procesos en escala de metros y no de kilómetros. Va a ser increíble, vamos a poder observar cosas que nunca habíamos podido ver”, explica Jorge Vázquez.

EL NIVEL DEL MAR

Otra de las variables oceanográficas fundamentales, por la cual se ha apostado muy fuerte en teledetección, es la altura del nivel del mar. “Este parámetro medido por satélite es básico para investigar el incremento del nivel mar a nivel regional o global, analizar las corrientes o investigar los giros de mesoescala, que afectan intensamente a la distribución de los organismos planctónicos, incluyendo el ictio-plancton”, comenta García Soto.

Los instrumentos utilizados para ello se denominan altíme-



Altura del nivel del mar durante un evento de El Niño medida con TOPEX/Poseidon. NOAA.

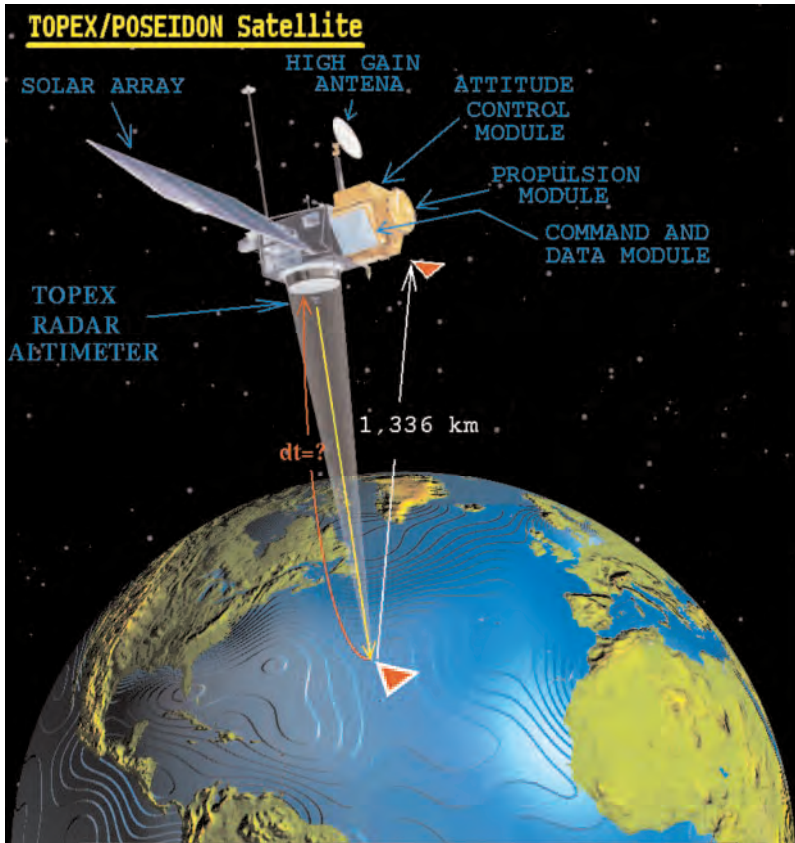
tros y su funcionamiento es muy simple: el satélite envía un pulso y registra cuanto tiempo tarda en volver la señal tras rebotar en el océano. De esta forma, conociendo la órbita del satélite, podemos ver cómo varía la superficie del mar. Sin embargo, cuando a partir de estos datos queremos obtener información climática la cosa se complica. Para poder estudiar procesos como el aumento del nivel del mar debido al cambio global, o estudiar los efectos de fenómenos como El Niño o La Niña, es necesaria una precisión que ya no depende solo del funcionamiento del satélite sino de la exactitud de los modelos que se aplican para discriminar las variaciones de altura que introducen factores como el oleaje o las mareas.

“Mientras que un cambio en el nivel del mar debido a El Niño es del orden de 10-20 centímetros, la marea puede llegar a ser de 50 metros”, explica Vázquez. Por tanto, para detectar señales de centímetros con un altímetro hay que tener unos modelos muy buenos de las mareas y oleaje. “La altimetría es muy simple, pero las correcciones son muy complicadas si se quiere estudiar el calentamiento global y la circulación del océano”, sentencia el científico.

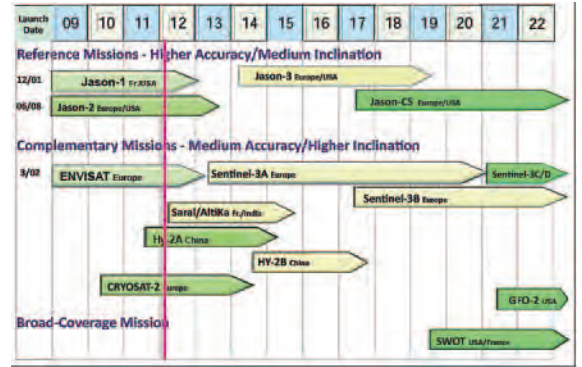
El primer altímetro se instaló en *Skylab*, la primera estación espacial estadounidense, que orbitó el planeta entre 1973 y 1979. Aunque el primero de estos instrumentos con fines puramente oceanográficos lo portó el satélite *SEASAT*, lanzado en 1978.

Sin embargo, estos altímetros no permitían detectar cambios en el nivel del mar con la precisión suficiente para estudiar el cambio climático o la circulación marina, solo cambios debidos a grandes accidentes geográficos submarinos. El primer altímetro de precisión fue el que portó *TOPEX/Poseidon*, lanzado en 1992 gracias a una colaboración sin precedente entre las agencias espaciales de Estados Unidos y Francia: la NASA y el CNES. Este satélite estuvo operativo hasta 2006, cartografiando con precisión la superficie de todos los océanos cada 10 días de forma ininterrumpida. Muchos oceanógrafos, entre ellos el distinguido Walter Munk, han descrito este satélite como “el mayor experimento oceanográfico de todos los tiempos”.

Los datos de *TOPEX/Poseidon* han permitido saber que en los últimos 25 años el nivel del mar ha subido 3,2 milímetros anuales debido al cambio climático. Pero este satélite no solo ha sido importante por sus resultados científi-



Esquema del altímetro TOPEX/Poseidon donde se explica su funcionamiento. NOAA.



Esquema que resume las principales misiones que incluyen altímetros en el pasado y en el futuro. CNES.



Ilustración de SWOT, altímetro que se prevé lanzar en 2019. NASA.

Esta valiosa serie de datos ha tenido continuidad gracias a los satélites Jason-1, OSTM/Jason-2 y, desde enero de este año, Jason-3, operados también por la NASA y el CNES, pero ahora con la participación extra de la NOAA y Eumestat.

Jason-1 se lanzó en diciembre de 2001, en la misma órbita que TOPEX/Poseidon, en 2008 fue OSTM/Jason-2 y el pasado 17 de enero Jason-3. Ahora estos satélites cubren las mismas zonas con cinco días de diferencia, lo que ha permitido duplicar la resolución temporal de los datos y estudiar la circulación oceánica a una escala mucho menor.

Los satélites Jason permiten medir la topografía de la superficie del mar en una escala centimétrica y así calcular la velocidad y dirección de las corrientes oceánicas, responsables del transporte de calor en el planeta y, por tanto, fundamentales para entender el clima. Pero el interés por conocer la topografía de la superficie oceánica no queda aquí y la NASA y el CNES trabajan en un nuevo satélite capaz de estudiar estas variables con una precisión superior a la de los tres satélites Jason juntos. Su resolución será tal que permitirá el estudio no solo del océano, sino que también de ríos, lagos y estuarios. Se trata de la misión Surface Water Ocean Topography (SWOT). SWOT permitirá estudiar en el océano procesos de escala inferior a 100 km y casi hasta los 10, donde nuestro conocimiento de la circulación marina es muy pobre. "Esto va a ser increíble", explica Vázquez. "Podrá medirse el nivel del mar muy cerca de la costa, donde hasta ahora no



Ilustración de los satélites Jason, los altímetros de la NASA y CNES que sustituyeron a TOPEX/Poseidon. NASA.

cos. "TOPEX/Poseidon inició un periodo de colaboración internacional que ha sido fundamental, tanto para la técnica como para la política científica", apunta Vázquez.

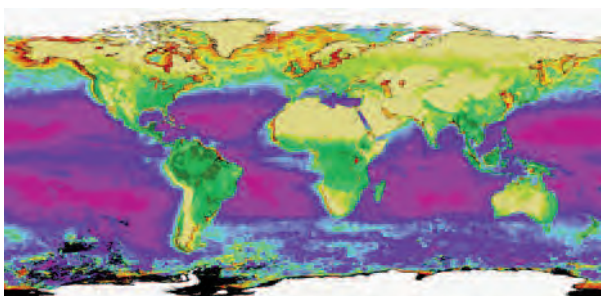
se podía y donde realmente más le interesa a la gente saber cómo sube el nivel del mar a nivel local". Estas medidas mejorarán los modelos de circulación oceánica y permitirán mejores predicciones del tiempo y el clima. Su resolución será tan precisa que, por primera vez, podrá estudiarse la hidrología desde satélite: conocer las variaciones del volumen de agua embalsada, estimar con precisión el agua descargada por los ríos, etc. Su lanzamiento está previsto para 2019.

EL COLOR DEL OCÉANO

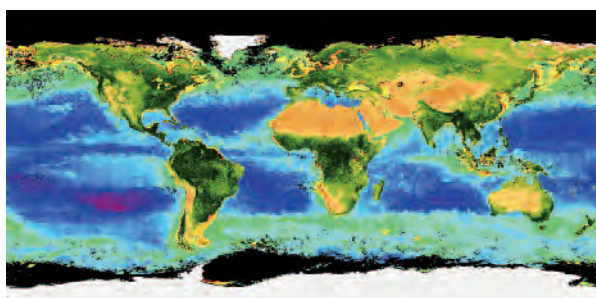
El color del océano es otra de las variables oceanográficas que se estudian desde satélite desde hace ya más de 30 años –aunque lamentablemente hubo algunos años sin datos– y de la cual se obtiene información climática de incalculable valor. Esta variable está relacionada con la presencia de fitoplancton y partículas en suspensión y, dado que estos diminutos organismos son la base de la gran mayoría de las cadenas tróficas, el color supone una buena aproximación de la actividad biológica de los océanos. Además, dado que el fitoplancton es responsable de una buena parte de la fijación del CO₂ atmosférico del planeta, las mediciones del color del océano son fundamentales para el estudio del clima.

Para estudiar esta variable desde el espacio se utilizan también radiómetros, al igual que para la temperatura. De hecho, los radiómetros más modernos son capaces de estudiar ambas variables ya que poseen multitud de canales que miden diferentes longitudes de onda.

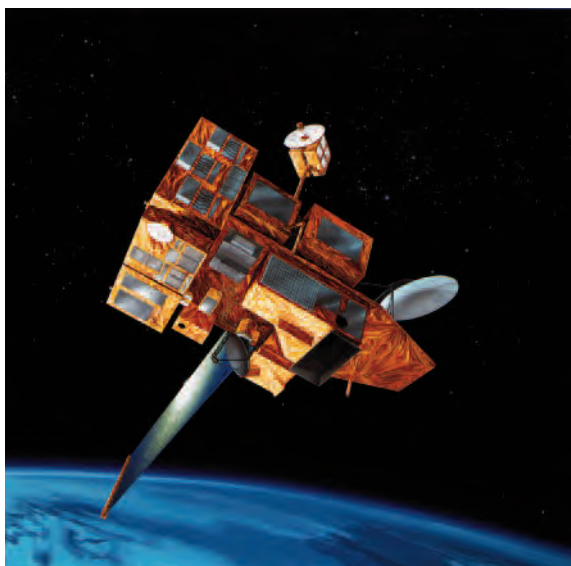
Sin embargo, el primer radiómetro capaz de estudiar el color del océano medía esta variable exclusivamente. Se trata del *Costal Zone Color Scanner* (CZCS) que portó el *NIMBUS 7* y que envió datos desde 1978 hasta 1986.



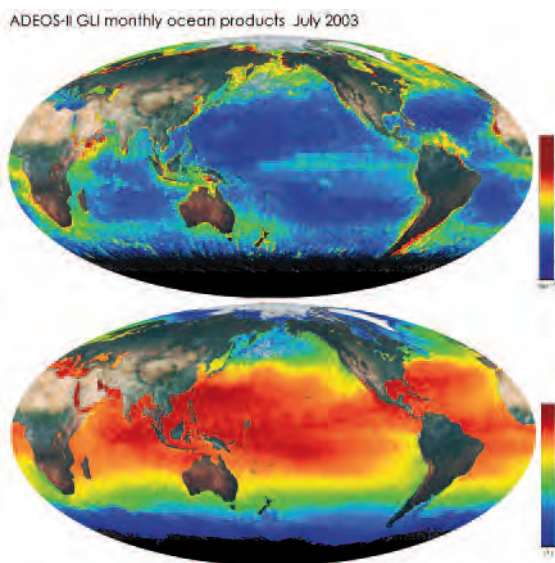
Primer mapa global de color realizado con alrededor de 60.000 imágenes del sensor CZCS, que por primera vez portó *NIMBUS-7* y que recopiló durante tres años.



La imagen muestra la distribución mundial de clorofila en 1997, gracias SeaWiFS.



El satélite japonés ADEOS II se lanzó en 2002 y solo duró un año, pero aportó valiosa información sobre el color del océano. NASDA.

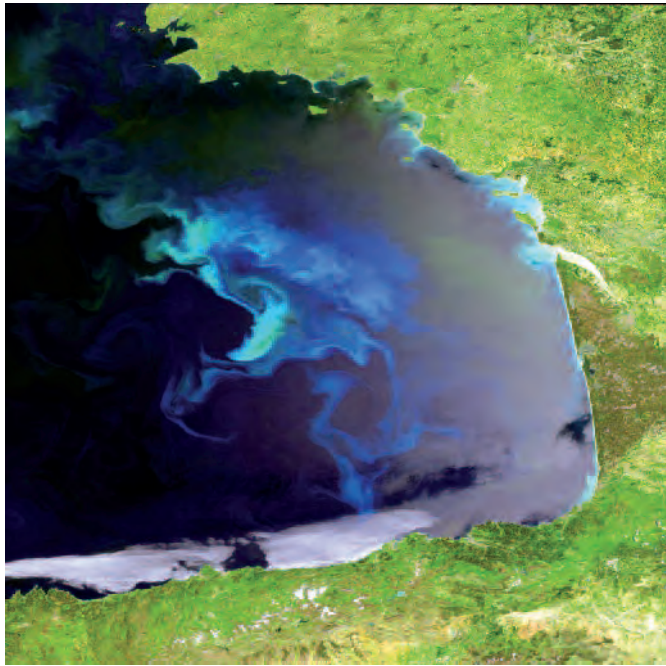


Concentración de clorofila y temperatura en julio de 2003. medidas por el satélite japonés ADEOS II. NASDA.

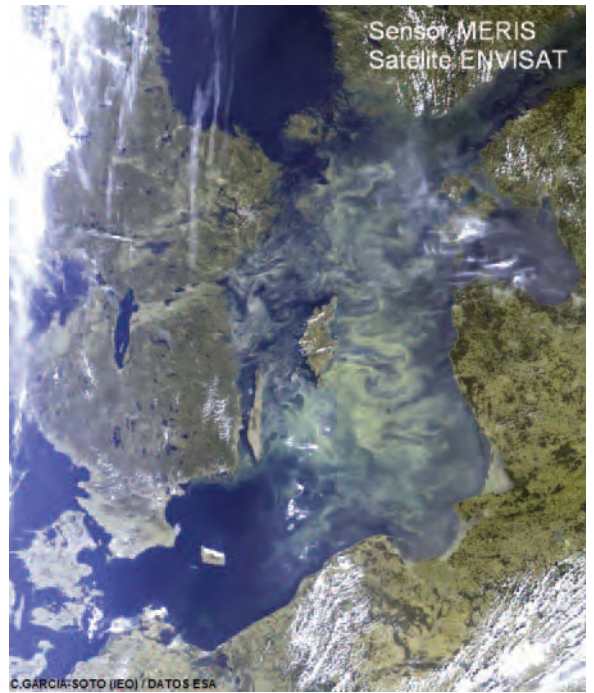
Hubo que esperar 10 años para tener un sucesor del CZCS. Este fue SeaWiFS, el único instrumento que portó el satélite *SeaStar* y que estuvo operativo desde 1997 hasta 2010. Un año antes de este lanzamiento se puso en órbita el sensor *Ocean Color and Temperature Scanner* (OCTS) a bordo del satélite de la agencia espacial japonesa NASDA: el *ADEOS I*. Este satélite duró poco más de un año y su sucesor, el *ADEOS II*, lanzado en 2002, corrió la misma suerte.

Sin embargo, los datos tomados por el OCTS han sido de gran utilidad y, desde 2002, gracias a un convenio entre la NASA y la NASDA (desde 2003 es la JAXA -*Japan Aerospace Exploration Agency*) se tratan con los mismos algoritmos que los datos de SeaWiFS y se ofrecen productos con la información de ambos instrumentos.

De 2002 a 2012 el sensor MERIS, a bordo del satélite *ENVISAT* de la ESA, también ofreció datos de color del océano.



Impresionante imagen de un bloom de fitoplancton en el golfo de Vizcaya, captado por el sensor MERIS del ENVIAT. ESA.



Fitoplancton tóxico captado por el sensor MERIS de ENVIAT. Carlos García-Soto.

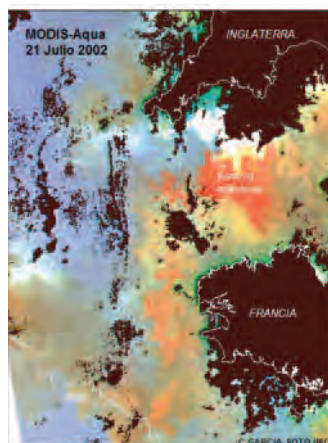
En la actualidad estos sensores han sido sustituidos por radiómetros capaces de medir en multitud de canales y diferentes frecuencias y, por tanto, ya no se puede hablar de un sensor específico para estudiar el color del océano, sino de sensores que además miden temperatura del agua, nubosidad, aerosoles, vegetación, hielo, etc. Es el caso de MODIS, un radiómetro desarrollado por la NASA que cuenta con 36 canales que miden en longitudes de onda desde los 0,4 μm hasta los 14,4, y que ya mencionamos al hablar de la temperatura del océano. Este sensor lo portan los satélites *Terra* y *Aqua*, que entre ambos ofrecen una imagen completa del planeta en menos de dos días. Otro de estos radiómetros multicanal y multipropósito es el también mencionado VIIRS, sensor que portará la nueva serie de satélites *Joint Polar Satellite System* (JPSS), la segunda generación de satélites meteorológicos de órbita polar.

"Gracias a la observación del color del océano se ha demostrado que el tamaño del fitoplancton es cada vez más

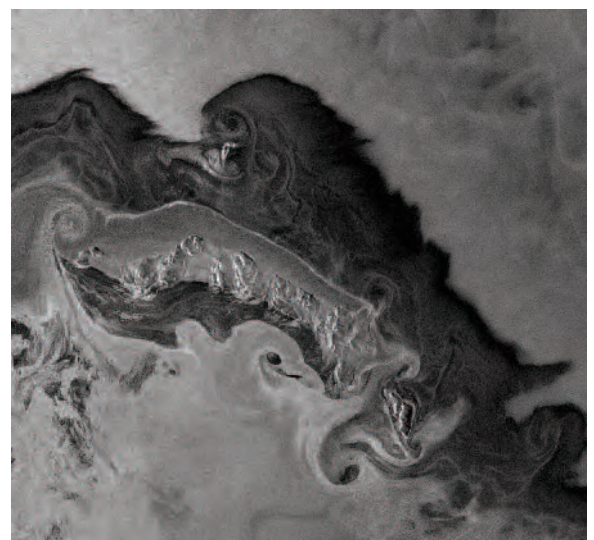
pequeño en ciertos regímenes oceánicos o que los dinoflagelados productores de mareas rojas pasan a ser las especies dominantes, por ejemplo, en el Canal de la Mancha", explica García Soto. "Los satélites han jugado sin duda un papel clave en esta monitorización", concluye el investigador.

LA RUGOSIDAD DEL MAR

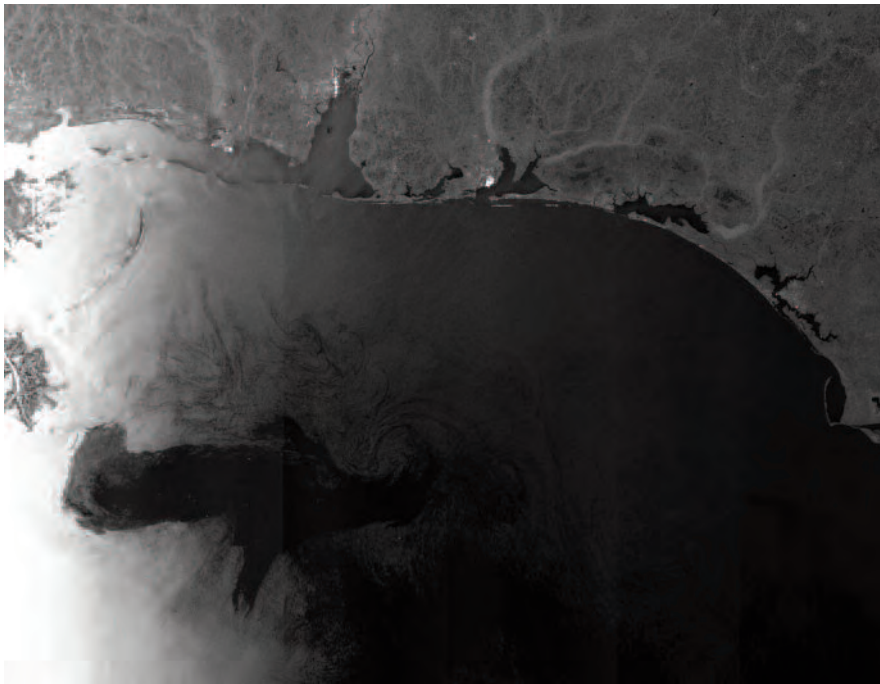
El radar de apertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* o SAR) obtiene imágenes de la superficie muy diferentes a las de otros sensores. Las imágenes de un SAR no muestran colores, pero proporcionan datos relacionados con la rugosidad de la superficie. Datos que pueden utilizarse pa-



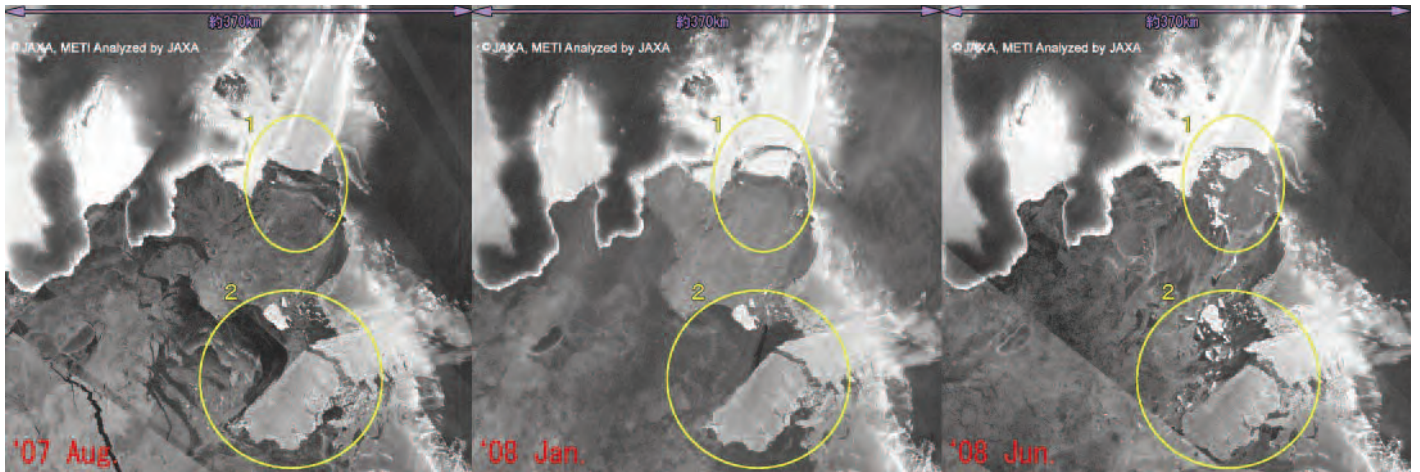
Bloom del alga tóxica *Karenia mikimotoi* en el canal de La Mancha. captado por el sensor MODIS de *Aqua*. Carlos García-Soto.



Una imagen, tomada con un SAR del satélite *ERS-1*, muestra la formación de remolinos en el mar de Bering, Alaska, el 15 de febrero de 1992. ESA.



Esta imagen tomada por el SAR de *Envisat* el 29 de abril de 2010, muestra el vertido de *Deep Horizon* aproximándose a las costas de Louisiana. ESA.



Las imágenes muestran la evolución de un glaciar en la Antártida, tomadas con SAR en agosto de 2007, enero de 2008 y junio de 2008 respectivamente. JAXA.

ra estudiar el oleaje, la superficie de hielo o realizar el seguimiento de un vertido en el océano. "Los vertidos de petróleo eliminan las ondas capilares de la superficie marina y por ello estos vertidos son observados en las imágenes de satélite como zonas negras carentes de reflexión al radar SAR" explica Carlos García Soto.

Para un sensor SAR, una superficie marina con olas medias o altas provocadas por el viento constituye un ejemplo de superficie rugosa, mientras que un mar en calma o con pequeñas olas representa una superficie lisa. De esta misma forma puede cartografiarse y monitorizarse el avance y el retroceso de los hielos marinos en aguas polares o estudiar la evolución de un vertido de hidrocarburos, tal como hizo García Soto para monitorizar el vertido del *Prestige*.

El SAR consiste en una antena pequeña que emite una serie de pulsos consecutivos de microondas, recibe una serie de ecos y los combina de modo que parezca que es una sola observación simultánea de una antena grande. De esta forma se crea una *apertura sintética* mucho más grande que la longitud real de la antena.

Esta tecnología, desarrollada en los años 50, comenzó apli-

cándose en vuelos con aeronaves. Hasta 1978 no se incorporó a un satélite el primer SAR, en el *SEASAT*. En los últimos años los satélites equipados con radares SAR más conocidos han sido el *JERS-1*, de la NASA y la NASDA; el *RADARSAT*, de la agencia canadiense CIDA, la NASA y la NOAA; y el *ERS-1* y *2* de la ESA.

En 2014 se lanzó el mayor radar de apertura sintética puesto en órbita hasta ese momento. Se trata del *Senti-*



El satélite Sentinel-1a durante un test de radio frecuencia en el *Thales Alenia Space* en Cannes, France, 30 de enero de 2014. ESA.



Recreación del momento de la separación del *Sentinel-1a* y el cohete que lo puso en órbita el pasado mes de abril. ESA.



Recreación del *Sentinel-1a* que muestra el funcionamiento de este potente radar de apertura sintética. ESA.

nel-1A, el primero del programa Copernicus, una iniciativa liderada por la Comisión Europea, en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA), al que se le ha unido recientemente el *Sentinel-1B*, lanzado el pasado mes de abril. Estos satélites están equipados con un sofisticado radar capaz de monitorizar la superficie de la Tierra en cualquier condición meteorológica, de día o de noche. En concreto, es un radar de apertura sintética de banda C construido por Airbus DS.

Los resultados de esta misión ayudarán a proteger mejor el medio ambiente, permitiendo detectar y monitorizar la evolución de los vertidos de crudo, estudiar las banquisas de hielo, detectar los desplazamientos de la superficie de la tierra o analizar los usos del terreno.

También jugarán un papel fundamental para facilitar las labores de los equipos de ayuda humanitaria y de respuesta ante desastres naturales, distribuyendo mapas actualizados de las zonas afectadas.

En los próximos años se planea poner en órbita los satélites *Sentinel-1C* y *1D* para incrementar la cobertura y resolución de los datos.



EL HIELO MARINO

La extensión del hielo marino es quizás la primera variable oceánica que se midió desde satélite, ya que es tan antigua como la propia observación de la Tierra desde el espacio. Y es que ya el *TIROS-1*, el primer satélite de observación terrestre, lanzado en 1960, ofreció información sobre la superficie helada gracias a sus cámaras de televisión.

El hielo puede estudiarse con multitud de sensores diferentes. Pueden usarse datos de observaciones en el visible, infrarrojos y microondas (tanto pasivos como activos) y estos pueden, además, combinarse para obtener información de muchas características del hielo: superficie, tipo, rugosidad, movimiento de las capas o el espesor.

El estudio de esta última variable –el espesor del hielo–, desde satélite, es todavía una tarea pendiente. “Los sistemas de radares de penetración de tierra (GPR) utilizan bandas de microonda de baja frecuencia que pueden penetrar el hielo glacial y proveer información sobre su espesor”, explica Pablo Clemente, investigador de la NOAA y experto en el estudio de la criosfera. “Sin embargo, la capacidad de estos sistemas para penetrar en el hielo marino que, aunque mucho más fino es a su vez salino, está bajo estudio y aún no hay resultados”, apunta Clemente. “Por el momento, el espesor del hielo marino se estudia de forma indirecta, estudiando la altura del francobordo de las banquisas con altímetros de radar o láser, a partir de las cuales se estima el espesor total”.

Hasta los años 70 no comenzaría la observación consistente y rutinaria, hecha gracias a los primeros satélites con radiómetros de microondas. Los mismos que han servido para estudiar la temperatura del agua a través de las nubes: los sensores *SMMR* y *SSM/I*.

A finales de esta misma década, a bordo del *Seasat*, se instaló el primer radar de apertura sintética (SAR) que, pese a lo poco que duró la misión, evidenció la capacidad de esta tecnología para el estudio del hielo polar.

Sin embargo, no fue hasta el lanzamiento del satélite *ERS-1* (*European Remote Sensing Satellite*), en 1991, cuando se obtuvieron las primeras medidas rutinarias de los hielos

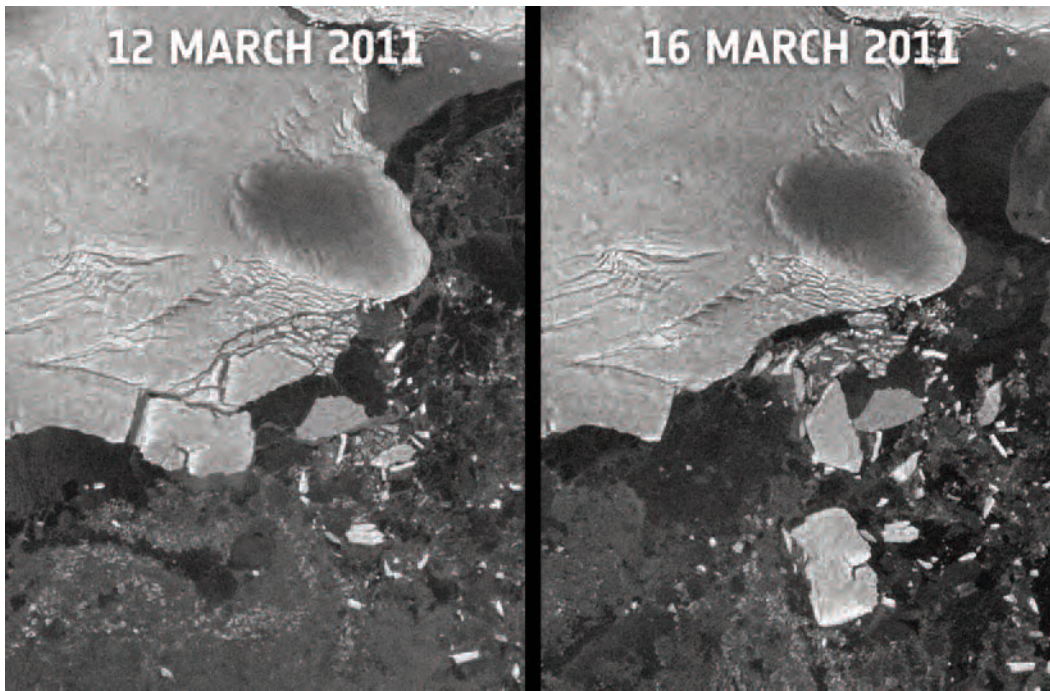
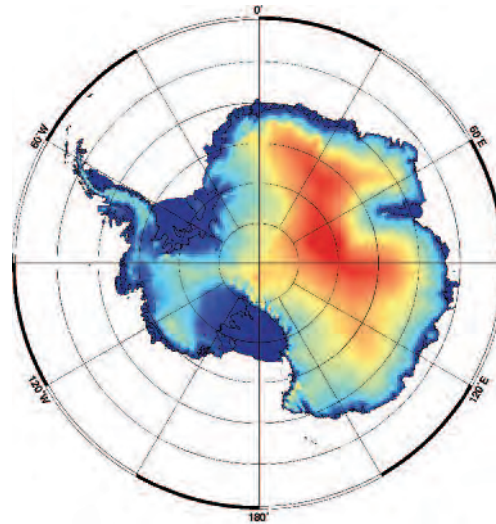


Imagen del SAR de Sentinel-1 que muestra la formación de enormes icebergs en la Antártida. ESA.



CryoSat-2 monitoriza con precisión los cambios en la superficie y espesor del hielo, tanto de la banquisa como del hielo flotante. ESA.



Mapa que muestra el espesor del hielo en la Antártida gracias al altímetro SIRAL que porta el satélite CryoSat-2.

con SAR. Tanto el *ERS-1* como el *ERS-2* fueron construidos por la industria europea y operados por la Agencia Espacial Europea (ESA).

A los *ERS-1* y *ERS-2* los sustituyó el proyecto Cryosat de la ESA, en el que participó Carlos García Soto como uno de los investigadores principales. El primero de esta serie de satélites, *Cryosat-1*, no llegó a ponerse en órbita debido al fallo en uno de los motores del cohete que lo transportaba. Pero su repuesto, el *Cryosat-2*, fue lanzado con éxito en febrero de 2010.

Cryosat-2 es un proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA), que consta de un satélite de tecnología radar diseñado para el estudio de las regiones heladas de la tierra: variaciones de la superficie, espesor del hielo, su masa y cómo varía ésta con el tiempo.

Los satélites que orbitaban hasta el momento, tanto los ópticos como los basados en radares de microondas, proporcionaban información sobre la extensión del hielo de la crioesfera donde los efectos del cambio climático resultan más evidentes. Mostraban dónde se encuentra el hielo, pero no disponían de medios para estimar su masa con precisión, o para determinar cómo varía su tamaño con el tiempo.

El satélite *CryoSat-2* transporta el primer altímetro radar de su clase, capaz de superar las dificultades inherentes a la medición de la superficie del hielo desde el espacio. Este sofisticado altímetro de interferometría radar SAR (SIRAL), es el principal instrumento con el que cuenta y puede medir el espesor del hielo marino con una precisión de unos pocos centímetros, monitorizando cambios en el espesor de las grandes capas de hielo que cubren Groenlandia y la Antártida; además, puede analizar con precisión los bordes de estas capas, que, desde el punto de vista climático, es muy interesante ya que es donde enormes icebergs se precipitan hacia el mar. El instrumento SIRAL envía miles de pulsos radar hacia la superficie de la Tierra cada segundo, y mide con precisión el tiempo que tarda en recibir los ecos.

CryoSat-2 también lleva instalado a bordo un sistema doppler de orbitografía y radiocalización integrada por satélite (DORIS), capaz de detectar y medir el efecto Doppler en las señales emitidas por una red de radiobalizas situadas en diferentes puntos del mundo, lo que permite de-



El avión P-3 Orión durante la misión de calibración de CryoSat. NASA.

terminar la órbita del satélite, con una precisión de milímetros, lo que en este caso es esencial para poder, a su vez, medir con precisión la altura de la superficie del hielo. La misión utiliza dos técnicas diferentes para mejorar la visión del altímetro de *CryoSat-2*, una mejora la precisión del altímetro en la dirección longitudinal de su desplazamiento y la segunda las medidas realizadas en dirección transversal.

Tras su puesta en órbita comenzó un duro trabajo para validar los datos de la misión. Para ello fue necesario la realización de una campaña sobre el terreno, una expedición al Ártico que duraría un mes y en la que científicos de la ESA, la NASA y varias organizaciones internacionales más se enfrentaron a temperaturas de hasta -30°C para recoger datos en el interior de Groenlandia, en el archipiélago de Svalbard, en el estrecho del Fram y en la isla de Devon, así como en mar abierto frente a las costas de Alert, en la isla canadiense de Ellesmere.

Para garantizar la precisión de la información adquirida por *CryoSat*, también se tomaron datos del hielo y de la nieve sobre el terreno y desde el aire. Estas mediciones *in situ* fueron comparadas con los datos recogidos por *CryoSat* desde el espacio, lo que permitió calibrar sus instrumentos y asegurar que la misión proporcionara resultados con la calidad esperada.

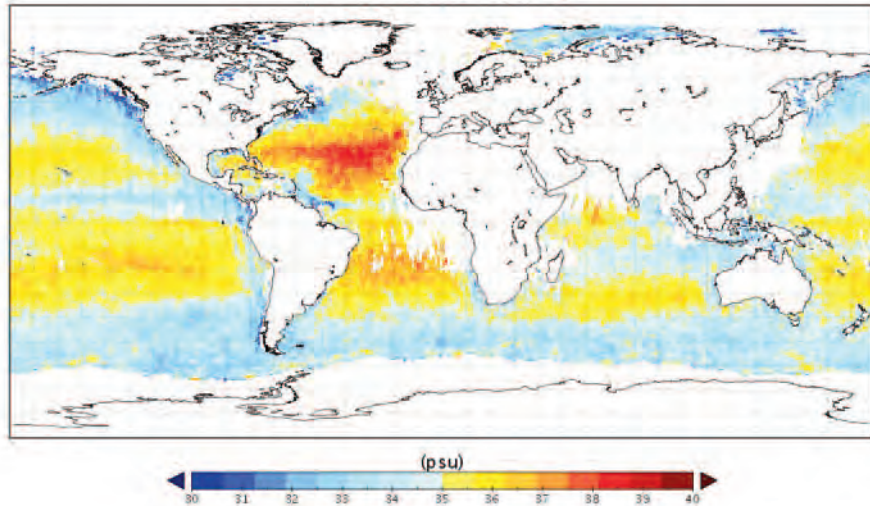
Como parte de la colaboración entre la NASA y la ESA, uno de los aviones P-3 Orión de la agencia americana participó en esta campaña de validación, volando junto a los

aviones de la ESA al mismo tiempo que *CryoSat* sobrevolaba su ruta, tomando medidas simultáneas del hielo ártico. Después del largo trabajo y del fracaso del primer satélite, los datos generados por *CryoSat-2* están permitiendo comprender mejor la dinámica de las masas de hielo. En mayo de 2015, científicos del Centro para la Observación y Modelización Polar del Reino Unido, han publicado un trabajo en *Geophysical Research Letters* en el que aseguran que la capa de hielo de la Antártida pierde 159.000 millones de toneladas de hielo cada año; el doble de lo calculado en la última estimación, que abarcaba los cinco años anteriores. Este dato lo facilitó la Agencia Espacial Europea (ESA), a partir de las observaciones de *CryoSat-2* desde 2010 hasta 2013. Además, el trabajo asegura que estas pérdidas de hielo son suficientes, por sí solas, para elevar el nivel del mar en 0,45 milímetros por año.

LA SALINIDAD

Desde febrero de 2010 tenemos registros por teledetección de una variable fundamental en oceanografía, la cual resulta complicado imaginar cómo puede medirse desde un satélite a más de 700 kilómetros de altura. Se trata de la salinidad y su medición es posible gracias al satélite *SMOS* de la ESA. El IEO ha participado también en esta acción a través, por ejemplo, del proyecto de la Agencia Espacial Europea *SMOS-AO-4675: Remote sensing of salinity in the northern polar seas: phytoplankton and climate research* que lideró García Soto.

Sea Surface Salinity
August 17-26, 2010 - averaged to 0.5°



Uno de los primeros mapas mundiales de la salinidad obtenidos a partir de datos de SMOS. SMOS Barcelona Expert Center.

La salinidad, junto a la temperatura, determina la densidad del agua marina, que es a su vez determinante en la formación de las corrientes que, entre otras cosas, son responsables de trasladar el calor desde el ecuador a los polos. La salinidad de la superficie marina, por tanto, es una de las variables esenciales que determinan el patrón de circulación oceánica global, que es, al mismo tiempo, un importante indicador del cambio climático.

La misión SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*), también conocida como Misión del Agua de la ESA, se ha concebido, además de para estudiar la salinidad de los océanos, para medir la humedad del suelo en las masas continentales. Los datos obtenidos por este satélite permitirán crear mapas de humedad del suelo al menos cada tres días, y de la salinidad de los océanos al menos cada 30 días.

Un aspecto importante de la misión es que pone en práctica una técnica de medición totalmente novedosa. SMOS transporta el primer radiómetro interferométrico en dos dimensiones para órbita polar que capta imágenes de la radiación de microondas emitida en torno a la frecuencia de 1,4 GHz o una longitud de onda de 21 cm (banda L). “Esto es algo que se usa en astronomía desde los años 50 en los grandes radiotelescopios que, a base de distribuir antenas en una zona muy amplia, captan información del espacio”, explica Jordi Font, oceanógrafo del Instituto de Ciencias Marinas (CSIC) de Barcelona e investigador líder del proyecto SMOS en lo referente a salinidad. Sin embargo, su aplicación a la observación terrestre desde satélite no es fácil. Normalmente, para realizar observaciones en la gama de microondas de la banda L, se requiere una antena giratoria de decenas de metros de diámetro para obtener una cobertura y una resolución espacial adecuadas. Sin embargo, si dicha técnica se utilizara con un satélite, debería llevar a bordo una carga demasiado pesada, que lo haría inviable. Pero los científicos han hallado una ingeniosa solución, que consiste en el empleo de un radiómetro interferométrico que utiliza varios receptores pequeños para medir la diferencia de fase de la radiación

incidente. La técnica se basa en la correlación cruzada de las observaciones de todas las combinaciones posibles de pares de receptores. Hasta 69 receptores. “Durante los cuatro años que llevamos desde el lanzamiento de SMOS no hemos parado de mejorar los algoritmos de proceso de los datos”, explica Jordi Font, “Se trata de una tecnología muy novedosa y hay muchos aspectos que son bastante complicados e implican modelizar multitud de procesos”. La idea concreta que ha acabado siendo SMOS se empezó a desarrollar a principio de los 90 por parte de la ESA, con una participación muy importante de tecnólogos españoles, concretamente y sobre todo de la Universidad Politécnica de Cataluña. Todo esto llevó a que, en el año 98, en una convocatoria de la ESA para observaciones espaciales de la tierra se pudo concretar y proponer el concepto de radiómetro, que después fue seleccionado y al cabo de unos 10 años se lanzó.

“Actualmente se están dando de forma operacional mapas de salinidad de todos los océanos; la calidad en algunos puntos es bastante buena, pero en otras, como en aguas muy frías, con presencia de vientos muy fuertes o en zonas cercanas a los continentes hay interferencias y todavía la medición no tiene la calidad suficiente”, explica Font. ¿Pero cómo es posible que un mismo sensor sea capaz de medir dos variables tan diferentes como la salinidad del océano y la humedad del suelo? La clave reside en el hecho de que tanto la humedad como la salinidad ejercen un gran efecto en las propiedades eléctricas de la materia. Toda materia emite energía en forma de radiación electromagnética, que se denomina emisividad, y SMOS aprovecha el hecho de que la humedad y la salinidad reducen esta propiedad en el suelo y en el agua marina respectivamente.

Una vez puesto en órbita el satélite, es necesario validar sus medidas con datos tomados in situ. Para ello se utilizaron las boyas del programa ARGO, más de 3.500 perfiladores distribuidos por todo el océano que miden la salinidad, entre otras variables. “Comparando los mapas realizados por el satélite con los mapas de las boyas pu-



El satélite SMOS en órbita. ESA.

dimos observar en qué zonas las medidas entran dentro de los límites de error propuestos en la misión y en que zonas no ocurre y preguntarnos por qué”, explica Font. “De esta forma nos dimos cuenta que, en aguas muy frías, en presencia de vientos muy fuertes o en aguas costeras las medidas no eran buenas, lo que nos ha servido para mejorar los algoritmos y que nuestro cálculo sea cada vez mejor”.

Después de cuatro años, aún se continúan realizando estudios de validación para mejorar los algoritmos, pero también se elaboran ya mapas válidos de algunas zonas. “En lugares del norte del océano Índico, pese a existir un gran interés en su estudio, no hemos conseguido ofrecer datos válidos debido a que se están utilizando radares que emiten en una frecuencia que produce interferencias y que en teoría está prohibido su uso”, comenta Font. “Sin embargo en otros lugares con grandes contrastes de salinidad está dando un gran resultado. Es el caso de la descarga del Amazonas que, gracias a SMOS, se está pudiendo monitorizar y se ha observado que su influencia llega a miles de kilómetros de la costa”.

Otra importante línea de trabajo que se está desarro-

llando con datos de SMOS es tratar de incluir la salinidad en los modelos operacionales de circulación oceánica. La salinidad es una variable fundamental en oceanografía y su inclusión podría mejorar sustancialmente estos modelos predictivos. Incluso antes de que hubiese datos de salinidad, ya se comprobó que si se incluyeran estas medidas en las predicciones de fenómenos oceanográficos y climáticos como El Niño, aumentaría enormemente su fiabilidad. “El episodio actual de El Niño que estamos sufriendo, por ejemplo, ha provocado un notable descenso de salinidad en la región ecuatorial del Pacífico del orden de 1 pps según datos de SMOS de diciembre de 2015”, apunta Carlos García Soto.

Definitivamente la teledetección se ha consolidado como una herramienta fundamental de la oceanografía. Los satélites nunca podrán sustituir a los barcos a la hora de tomar muestras o estudiar más allá de los primeros centímetros de agua, sin embargo, son y serán indispensables para estudiar el clima y observar nuestro planeta a una escala global.

UN SATÉLITE PURAMENTE OCEANOGRÁFICO

El pasado mes de febrero se puso en órbita el satélite del programa Copérnico de la ESA más esperado por los oceanógrafos: el *Sentinel 3A*. Es el primero de la serie *Sentinel 3* y se trata de un satélite con múltiples sensores, que permiten medir el nivel del mar, la temperatura de la superficie del mar y de la tierra o el color del océano. Todo con una gran precisión.

Apenas dos semanas después de su lanzamiento, el *Sentinel 3A* ofrecía sus primeras imágenes y la ESA nos ofrecía una espectacular visión de la Península Ibérica, el Estrecho y Marruecos.

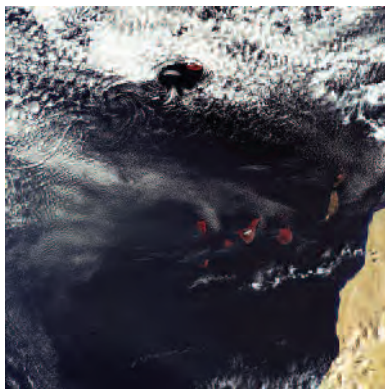
Esta imagen se obtuvo con el sensor de color del océano y la tierra OLCI. Un sensor herencia de *Envisat*, con una resolución de 300 metros y una apertura de 1270 kilómetros. Dicho sensor mejorado permitirá monitorizar los ecosistemas marinos y también la vegetación y las masas de agua terrestres.

También el altímetro del *Sentinel 3A* comenzó pronto a ofrecer los primeros resultados. Este sensor está diseñado para ofrecer medidas muy precisas de las variaciones en la superficie del océano y la velocidad del viento sobre ella. El primer mapa de nivel del mar con datos del *Sentinel 3A* lo produjo el *Copernicus Marine Environment Monitoring Service*, que se sirvió de la información de *CryoSat*, *Jason-2* y *SARAL/AltiKa* para validarlo.

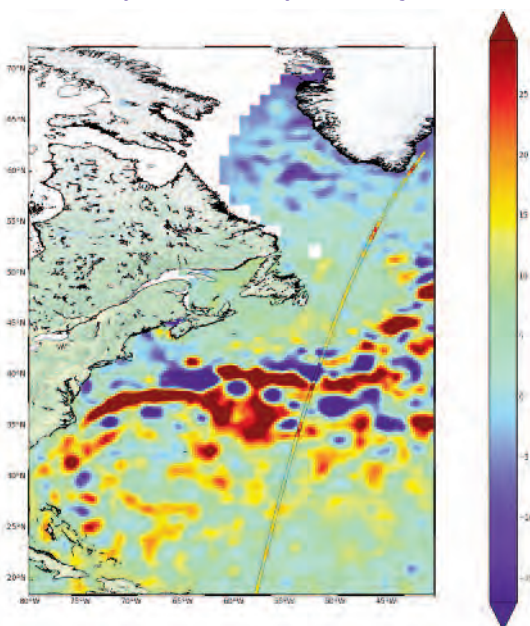
El tercer instrumento en ofrecer imágenes espectaculares de nuestro planeta fue el radiómetro, que detecta y cuantifica la energía que irradia la Tierra en nueve bandas espectrales, incluyendo el visible y el infrarrojo. Además de me-



Una de las primeras imágenes tomadas con el sensor de color del *Sentinel 3A*. ESA.



Una de las primeras imágenes del radiómetro del *Sentinel 3A*, donde se observa en rojo las áreas de mayor vegetación.



Primer mapa del nivel del mar con el altímetro del *Sentinel 3A* que muestra la corriente del Golfo. Copernicus Sentinel data/CMEMS.

dir la temperatura del océano y de la superficie terrestre, este sensor permite detectar fuegos o estudiar la vegetación.

Precisamente, la primera imagen distribuida por la ESA fue una espectacular visión de los archipiélagos de Canarias y Madeira y del Sahara donde se aprecia en rojo las zonas con elevada vegetación. El contraste entre el desierto y las islas es notorio, pero incluso se observan las diferencias entre las islas occidentales y las orientales. Resulta espectacular también lo claro que se aprecia el Teide nevado en la isla de Tenerife.

El IEO está participando, a través de su Centro Oceanográfico de Santander y la Unidad Mixta establecida con el Instituto de Hidráulica (IH), en la validación de los productos oceanográficos que en breve proporcionará esta misión.

Se trata de un proyecto coordinado por la investigadora Alicia Lavín y titulado *Monitoring the State and Evolution of Cantabria's Marine and Terrestrial Ecosystems* y que fue aceptado por la ESA y EUMETSAT para formar parte del Equipo de Validación del *Sentinel-3* (S3VT, por sus siglas en inglés). En el marco de dicho proyecto se recogerán y analizarán datos físicos recogidos *in-situ* que servirán para validar los productos oceanográficos que ofrecerá el satélite. El *Sentinel 3A* se lanzó el 16 de febrero de 2016 y su gemelo *Sentinel 3B* está previsto que se ponga en órbita en 2017, lo que aumentará la cobertura de las medidas.

SATÉLITES QUE HICIERON HISTORIA EN LA OCEANOGRAFÍA

TIROS N



1978



TIROS N

Lanzamiento: **1978.**

Agencia: **NASA/ NOAA (EE.UU.).**

Obtuvo las primeras medidas de temperatura superficial del océano.

NIMBUS 7



1978



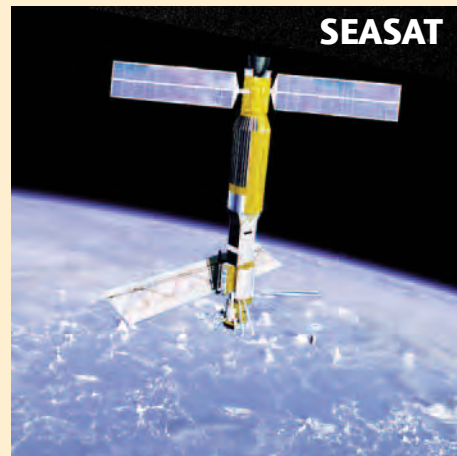
NIMBUS 7

Lanzamiento: **1978.**

Agencia: **NASA (EE.UU.).**

Fue el primero en portar un sensor de microondas, el Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR), y el primero también en portar un sensor de color del océano, el Coastal Zone Color Scanner.

SEASAT



1978



SEASAT

Lanzamiento: **1978.**

Agencia: **NASA (EE.UU.).**

El primer satélite con aplicaciones exclusivamente oceanográficas y el primero que portó un radar de apertura sintética (SAR).

TOPEX/ POSEIDON



1992



TOPEX/ POSEIDON

Lanzamiento: **1992.**

Agencia: **NASA (EE.UU.) y CNES (Francia).**

Portó el primer altímetro de precisión y supuso el inicio de una colaboración sin precedente entre las agencias espaciales de Estados Unidos y Francia.

NOAA 7



1981



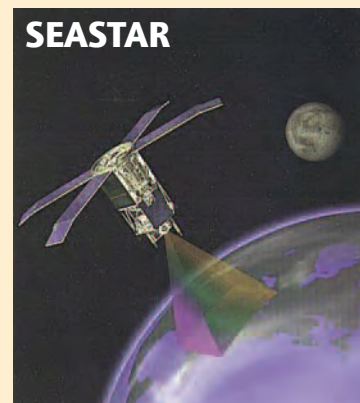
NOAA 7

Lanzamiento: **1981.**

Agencia: **NASA/ NOAA (EE.UU.).**

Este satélite ofreció las primeras medidas correctas de temperatura superficial del mar gracias al sensor Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR).

SEASTAR



1997

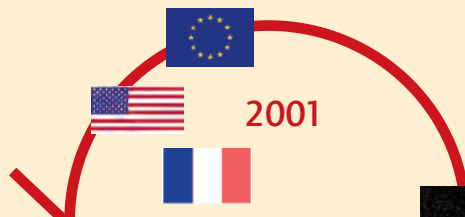


SEASTAR

Lanzamiento: **1997.**

Agencia: **NASA (EE.UU.).**

Portó el segundo sensor de color de la historia: el SeaWiFS. De esta forma, fue el encargado de sustituir, con 10 años de retraso, al Coastal Zone Color Scanner.



JASON-1

Lanzamiento: **2001**.
 Agencia: **NASA, NOAA, CNES y EUMESAT**.
 Jason-1 y OSTM/Jason-2 son los sustitutos de TOPEX/POSEIDON. Cubren las mismas zonas con cinco días de diferencia, lo que ha permitido duplicar la resolución temporal de los datos y estudiar la circulación oceánica a una escala mucho menor.



ENVISAT

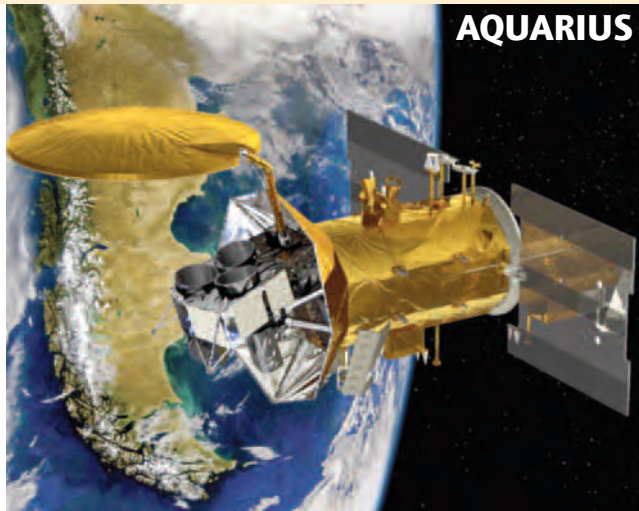
Lanzamiento: **2002**.
 Agencia: **ESA**.
 El Envisat es uno de los mayores observatorios de la Tierra lanzados jamás. Portó hasta 9 instrumentos diferentes, que le permitieron obtener información sobre la atmósfera, la superficie terrestre y el océano.



SMOS

Lanzamiento: **2010**
 Agencia: **ESA**.
 La Misión del Agua de la ESA ha permitido obtener los primeros datos sobre la salinidad desde un satélite.





AQUARIUS



2011

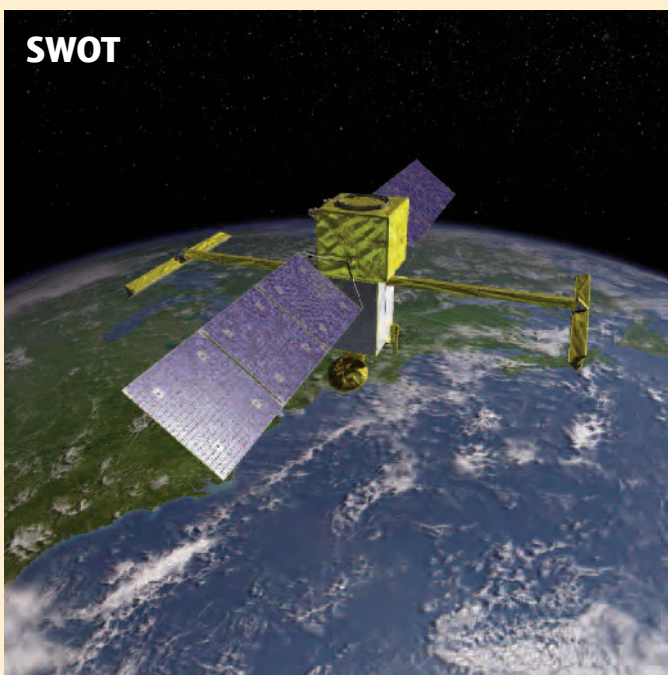


AQUARIUS

Lanzamiento: **2011.**

Agencia: **NASA y CONAE (Argentina).**

El segundo satélite en órbita capaz de medir la salinidad de los océanos.



SWOT

SWOT

Lanzamiento previsto: **2019.**

Agencia: **NASA.**

SWOT es un altímetro que permitirá estudiar en el océano procesos de escala inferior a 100 km y casi hasta los 10. Su resolución será tan precisa que por primera vez podrá estudiarse la hidrología desde satélite.

2019



AÚN POR LANZAR

Sin fecha



HyspIRI

HyspIRI

Lanzamiento: **Sin fecha**

Agencia: **NASA (EE.UU.).**

Será la primera misión con tecnología hiperespectral: la Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI).

Estudiará la Tierra a una escala planetaria con precisión métrica. En el océano permitirá distinguir infinidad de especies de plancton y conocer la temperatura superficial con una precisión menor de 50 metros, entre otras variables.



LA RED DE BOYAS ARGO CUMPLE 15 AÑOS

CASI 3900 BOYAS PERMITEN OBTENER EN TIEMPO REAL DATOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD DE LOS PRIMEROS 2000 METROS DE PROFUNDIDAD DEL OCÉANO CON COBERTURA MUNDIAL

En solo 15 años, las boyas Argo se han convertido en uno de los componentes fundamentales del Sistema Global de Observación de los Océanos. Gracias a esta red de casi 3900 boyas, se han reducido los sesgos espaciales y temporales de los datos oceanográficos disponibles. Y es que actualmente Argo ofrece más perfiles de invierno en el océano Austral en un año que el total de todos los datos de invierno recogidos durante los 100 años anteriores a la puesta en marcha de esta red.

texto: Pablo Lozano

A FINALES DE LOS 90, un pequeño grupo de oceanógrafos tuvo la idea de aplicar la tecnología existente para desarrollar una red de boyas capaz de suministrar a tiempo real datos de temperatura y salinidad con una cobertura global. Así nació Argo, que este año celebra el 15 aniversario de su puesta en marcha.

La red Argo es un componente fundamental del Sistema Global de Observación de los Océanos. Gracias a sus casi 3900 boyas perfiladoras, permite obtener en tiempo real datos de temperatura y salinidad de los primeros 2000 metros del océano con una cobertura mundial.



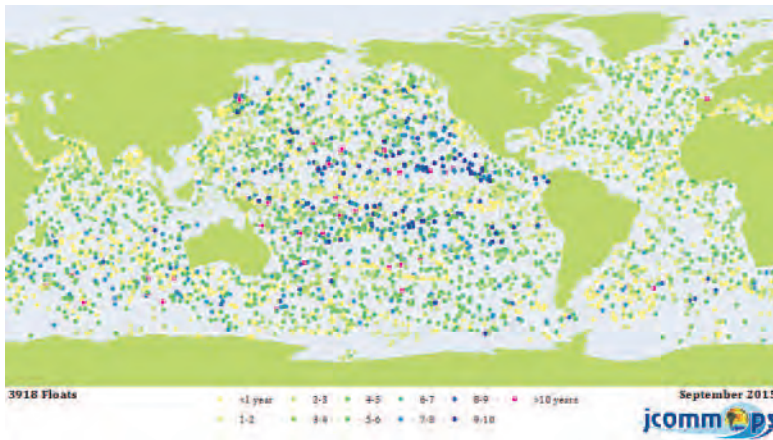
Boya ARGO preparada para el descenso. Foto: ARGO España.

La observación del océano que lleva a cabo la red Argo, nos permite entender cómo funcionan los mecanismos de distribución de calor por parte del océano y cómo varía el ciclo hidrológico de la atmósfera. “Estos dos mecanismos son esenciales para poder realizar predicciones de tiempo atmosférico con mayor antelación”, explica Pedro Vélez-Belchí, investigador del Centro Oceanográfico de Canarias del IEO y responsable de la red Argo en España. “Además, entender como funcionan estos mecanismos, es la única manera que nos permitirá discernir cuánto de la variabilidad climática es debido al ser humano y cuánto a causas naturales”, añade el científico.

La prestigiosa revista *Nature Climate Change* publica un artículo con los principales resultados derivados de la red. El Instituto Español de Oceanografía (IEO), es el encargado de la gestión de los datos de la red en España. Pedro Vélez-Belchí, investigador del Centro Oceanográfico de Canarias del IEO y coautor del artículo, es su responsable. Las boyas Argo son unos instrumentos de dos metros de alto que se encuentran a la deriva. Estas boyas son capaces de modificar su flotabilidad de manera que ascienden y descienden entre la superficie y los 2000 metros de profundidad de forma periódica. El ciclo de estas boyas comienza a 1000 metros de profundidad, lo que se conoce como profundidad de estacionamiento. Aquí pasan nueve días para después descender hasta los 2000 metros. Después, en apenas seis horas, alcanzan la superficie, desde donde envían vía satélite los datos del ciclo antes de sumergirse de nuevo a su posición de estacionamiento. La información se envía a dos centros de datos ubicados



Preparando una boya ARGO para su lanzamiento.
Foto: ARGO España.



Mapa que muestra la distribución de las boyas ARGO y los años que llevan desplegadas. Foto: Programa ARGO.

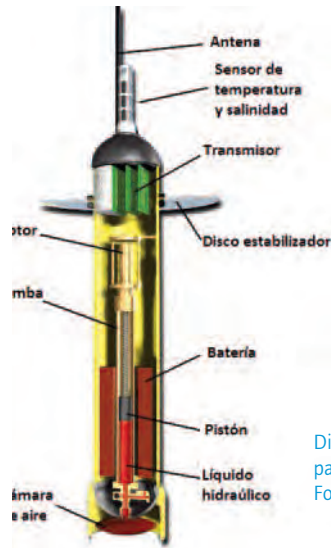
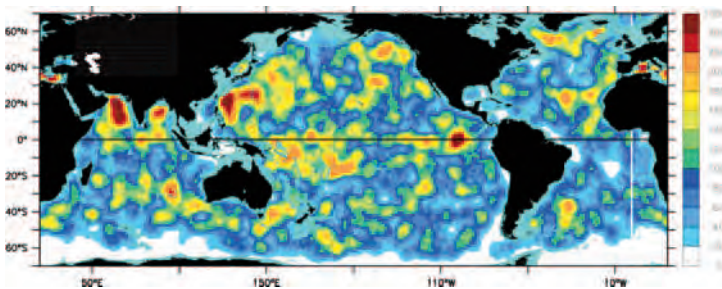
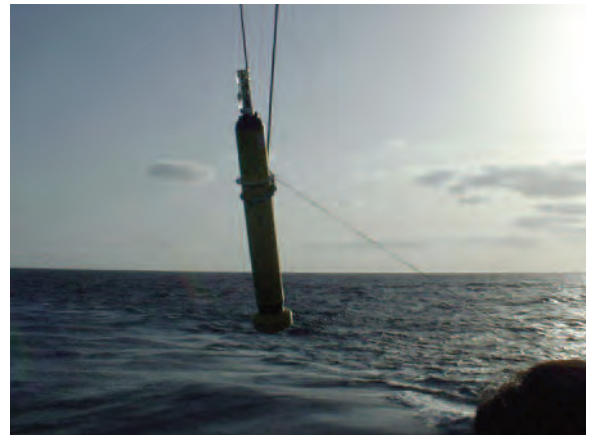


Diagrama que muestra las partes de las boyas ARGO. Foto: Programa ARGO.



Mapa que muestra la densidad de medidas obtenidas por la red ARGO. Foto: Programa ARGO.

en EEUU y Francia, desde donde se distribuyen gratuitamente y sin limitaciones. Históricamente, la adquisición de datos oceanográficos ha tenido un sesgo espacial hacia las zonas más accesibles para los países desarrollados, por lo que el hemisferio norte y las regiones costeras se han estudiado mucho más que las regiones del hemisferio sur y de mar abier-



Despliegue de una boya ARGO. Foto: ARGO España.

to. También ha existido siempre un sesgo temporal, debido a las condiciones meteorológicas que dificultan o imposibilitan la navegación de los buques de investigación en ciertas épocas del año.

La red Argo ha contribuido en estos 15 años a reducir estos sesgos espaciales y temporales. Como ejemplo, cabe destacar que actualmente Argo ofrece más perfiles de invierno en el océano Austral en un año que el total de todos los datos de invierno recogidos durante los 100 años anteriores a la puesta en marcha de esta red. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en su quinto informe de evaluación, destacaba la falta de datos para evaluar los cambios en los océanos del hemisferio sur antes del año 2000 y el sesgo estacional en los datos del hemisferio norte. Algo que se resolvió con la llegada de Argo.

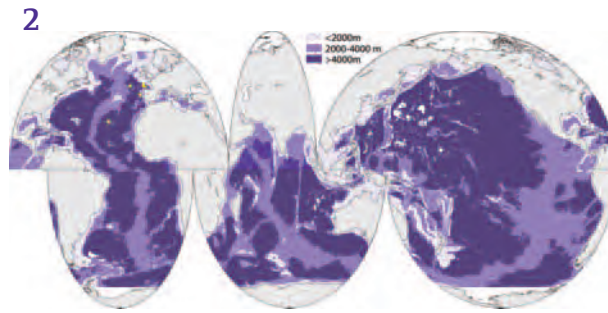
Los datos que ofrece la red Argo, disponibles 24 horas después de su adquisición, se han convertido en un excelente recurso para alimentar modelos de predicción meteorológica que consideran el efecto de la interacción de los océanos con la atmósfera. Pero su aplicación es más amplia y se han convertido también en una herramienta imprescindible para estudiar la variabilidad del clima a diferentes escalas temporales: desde estacional hasta multidecadal.

RESULTADOS DE LA RED

Desde el inicio de Argo, a finales de los 90, se han publicado más de 2100 artículos científicos utilizando observaciones de la red.

La temperatura y la salinidad son las variables oceanográficas básicas que definen la densidad de las masas de agua y, por tanto, su circulación, que determina el transporte de calor en el océano que a su vez regula el clima del planeta.

En este contexto, la alta densidad de muestreo y la frecuencia de repetición de las observaciones Argo han da-



1. Despliegue de una boyo ARGO durante la campaña RAPROCAN1010. Foto: ARGO España.

2. Profundidad de los océanos dividida en tres rangos donde se observa como la mayor parte de los fondos se encuentran a más de 4000 metros, lo que deja patente la importancia del desarrollo de la red ARGO profunda.

do lugar a importantes nuevos conocimientos sobre la naturaleza de la circulación general del océano.

Argo es un complemento perfecto del resto de elementos del Sistema Global de Observación de los Océanos, en particular de la altimetría por satélite. La combinación de los datos Argo tomado in-situ con las anomalías de altura de la superficie del mar obtenidas por satélite permite alimentar modelos de circulación muy complejos que han mejorado las previsiones de fenómenos como monzones, huracanes o eventos de El Niño, entre otros.

ARGO EN ESPAÑA

España ha participado en la red Argo desde sus comienzos. En particular, en Europa ha participado desde que se lanzaron los primeros prototipos en 2002 y ha contribuido significativamente, desde el punto de vista científico, con numerosos estudios sobre variabilidad climática, sobretodo en el Atlántico Norte y ecuatorial.

Actualmente España tiene (www.argoespana.es) una flota activa de 20 boyas Argo. El IEO ha coordinado desde sus comienzos esta contribución española a Argo, en colaboración con otras instituciones como el CSIC, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria o la Universidad de Málaga, entre otras.

Recientemente, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y el Sistema de Observación Costero y de Predicción de las Islas Baleares (SOCIB) han aunado esfuerzos para que España se pueda adherir a la componente europea de Argo: Euro-Argo, que tiene como objetivo mantener un tercio de la red global con financiación de la Unión Europea. “Estamos pendientes de finalizar los trámites administrativos a nivel ministerial, para que esta adhesión se puede materializar”, explica Vélez-Belchí.

EL FUTURO DE ARGO

El primer objetivo de la red Argo es seguir consolidándose y demostrando su utilidad a toda la comunidad científica y, especialmente, a los gobiernos que financian la

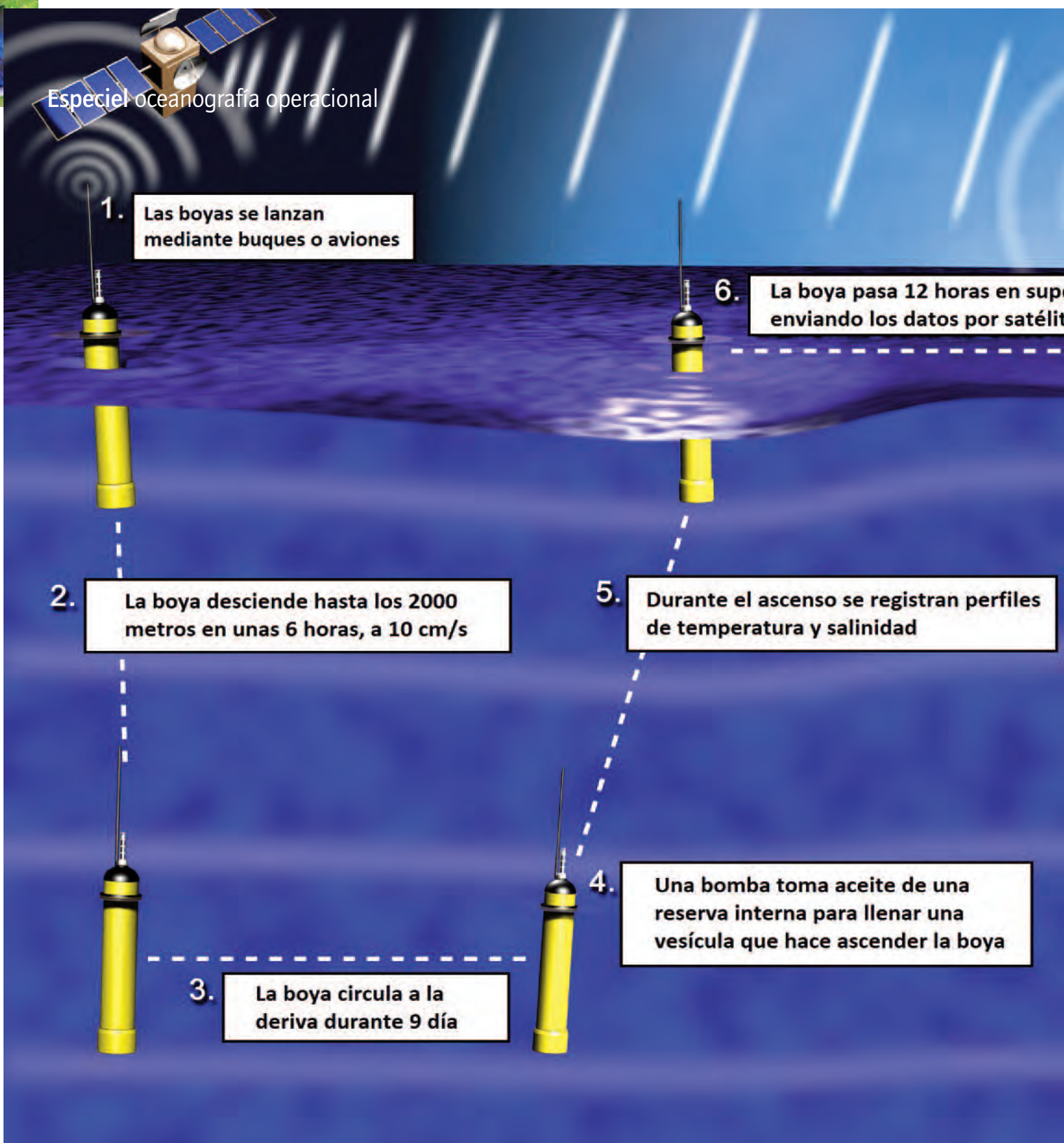
red y a la sociedad que debe beneficiarse de la misma.

Una vez está asegurada la red, que debe renovarse por completo cada cuatro años, el siguiente objetivo del comité científico de Argo es extender las observaciones al océano profundo, es decir, por debajo de los 2000 metros. “La profundidad promedio del océano es de 4267 metros, así que nos estamos perdiendo más de la mitad”, apunta Vélez-Belchí.

Por otro lado, hay evidencias científicas que demuestran que las profundidades del océano desempeñan un papel muy importante en el sistema climático. La profundidad media de los océanos, como apuntaba Vélez-Belchí, es de 4267 m, por tanto, más de la mitad del volumen no está siendo cubierto por la red Argo. Los escasos datos oceanográficos disponibles a estas profundidades muestran que el océano profundo ha contribuido enormemente a acumular la energía térmica del sistema climático de la Tierra en los últimos cuatro decenios. Los científicos creen que una importante contribución al aumento del nivel del mar podría venir de la expansión térmica de las profundidades debido a su calentamiento. Estas nuevas boyas tendrán como objetivo medir de forma sistemática las características oceanográficas de las masas de agua a estas profundidades y evaluar así su contribución real al clima.

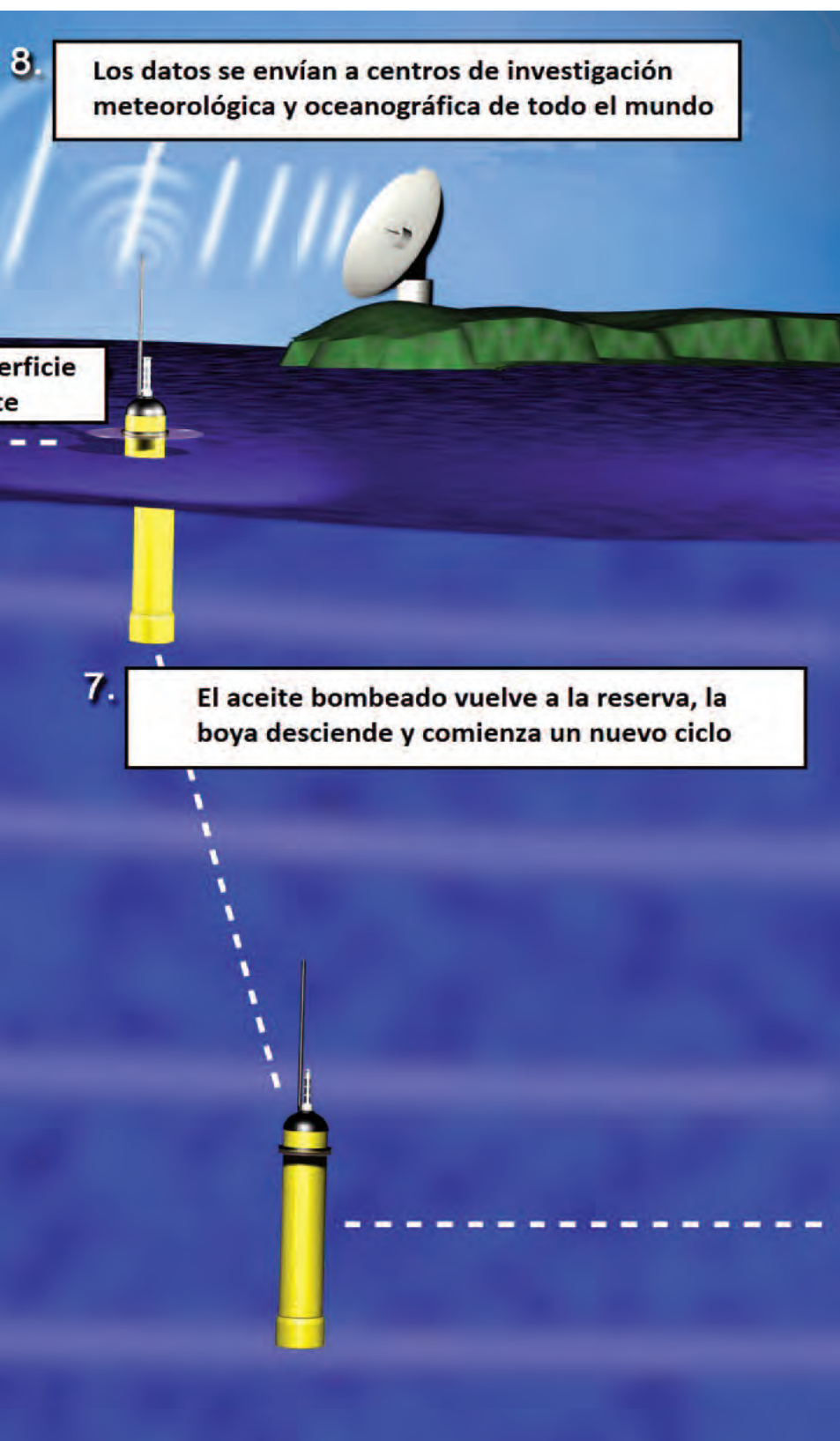
Hace ahora un año, investigadores del IEO desplegaron en Canarias dos de los primeros prototipos de boyas capaces de medir la salinidad y la temperatura del océano de forma continua, desde la superficie hasta los 4000 metros de profundidad. Con éstas son cinco las boyas de este tipo instaladas en el Atlántico, unos prototipos fabricados por el Instituto Francés para la Exploración del Mar (IFREMER) que permitirán conocer mejor la influencia en el clima de las aguas más profundas del océano.

Estas boyas, al igual que las Argo normales, navegan a la deriva y realizan ciclos en los que se sumergen hasta su profundidad máxima -en este caso 4000 metros-, pa-



ra después regresar a superficie y enviar vía satélite los datos oceanográficos recabados durante la inmersión. Hasta la fecha, la red Argo cubría los primeros 2000 metros de profundidad, pero ahora, gracias a este prototipo, diseñado por el Instituto Francés para la Exploración del Mar (IFREMER), se pueden alcanzar los 4000 metros de profundidad. Las boyas se desplegaron durante la campaña oceanográfica SevaCan1502, a bordo del buque *Ángeles Alvariño*. La ubicación elegida fue el norte de la isla de La Palma, ya que es una zona en la que se realiza un seguimiento ambiental exhaustivo desde hace más de

10 años, lo que permite discernir entre la variabilidad natural y los problemas, si los hubiera, de los sensores. El lanzamiento de este prototipo de boya Argo profunda fue un éxito y desde entonces ha realizado más de 80 ciclos, hasta una profundidad de 4000 metros. Los datos son enviados al Centro Oceanográfico de Canarias y han permitido a los científicos del mismo, donde se coordina la contribución española al programa Argo, realizar una serie de recomendaciones a la red internacional Argo para su extensión al océano profundo. Las pruebas realizadas han permitido constatar que la



Arriba, puesta a punto de las boyas recién adquiridas. Foto: ARGO España.

A la izquierda, esquema del ciclo de una boya ARGO. Foto: programa ARGO.

plataforma NKE Deep Arvor muestra un buen comportamiento desde el punto de vista técnico, pudiendo ser programada de manera sencilla por el usuario final y probar diferentes configuraciones después del despliegue mediante la red de transmisión Iridium. Aunque el sensor de salinidad mostró un fuerte sesgo hacia valores más pequeños y una deriva constante que no depende de la presión –algo común en otros prototipos con el mismo sensor que hace que las medidas con esta deriva y sesgo no se ajusten a las necesidades de las observaciones Argo profundas–, gracias a la larga serie tem-

poral de datos en la zona las medidas pudieron ser corregidas y usadas para estimar las condiciones óptimas de muestreo temporal del océano profundo. “En este sentido, y con el objetivo de muestrear adecuadamente las escalas en las profundidades del océano y evitar aliasing, sería necesario llevar a cabo al menos un perfil profundo hasta los 4000 m cada cinco perfiles Argo normales”, explica Vélez-Belchí. “Este esquema de muestreo implicaría una reducción en la vida de un flotador profundo Arvor del 17 %, si se compara con el estándar de 2000 m”, sentencia el científico.





CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS SISTEMÁTICAS

Texto Pablo Lozano



1

Los buques son las plataformas de muestreo más antiguas de la oceanografía. Hasta hace unas décadas, las campañas oceanográficas eran casi la única alternativa para tomar medidas de los parámetros físico-químicos del océano y, por tanto, la resolución espacial y temporal de las series de datos obtenidas han dependido hasta hace poco de la frecuencia y recorrido que realizaban estas plataformas.

Las campañas oceanográficas sistemáticas permiten un contacto directo entre el sensor y el agua que queremos medir, en la posición y la profundidad precisa que nos interesa. En ellas no solo es posible la observación directa y la recogida de muestras de agua y de organismos marinos para medir –ya sea en el buque o en el laboratorio– variables químicas y biológicas, sino que además se pueden realizar medidas experimentales de procesos fundamentales, como la producción de materia orgánica o la respiración.

La información obtenida en estas campañas, repetidas con frecuencia en los mismos lugares e incluidas en proyectos de seguimiento de variables oceanográficas, constituye el núcleo de las bases de datos oceanográficos más completas y precisas de las que se dispone. Mantener estos muestreos es una tarea ardua y costosa, pero los resultados son extraordinarios y, hoy por hoy, imposibles de obtener con otros medios.

Por todo ello, el Instituto Español de Oceanografía lleva muchos años apostando por estos muestreos y, para ello, mantiene cuatro ambiciosos programas de campañas oceanográficas sistemáticas que cubren todo el litoral del Estado Español.

Algunos de estos muestreos sistemáticos se remontan a la década de los 80, lo que supone disponer de las series de datos multidisciplinarios marinos más largas obtenidas en aguas españolas. A lo largo del tiempo estos programas han ido sufriendo adaptaciones y modificaciones, para cubrir de la mejor manera posible las necesidades de la sociedad y los requerimientos científicos del IEO.

En los últimos años, estos muestreos sistemáticos a bordo de buques se han incorporado al resto de plataformas de observación para formar parte de IEOOS, la marca bajo la que se engloba la oceanografía operacional del IEO.

EL PROGRAMA DE RADIALES

La serie más larga que mantiene el IEO es la obtenida mediante el programa RADIALES, que viene funcionando de forma ininterrumpida desde 1990. Este programa tiene su origen en los primeros muestreos sistemáticos de oceanografía física, que empezaron en Vigo en 1987 y después en A Coruña, con la incorporación de muestreos de plancton en 1988. En la década de

- 1| Laboratorio seco del *Ángeles Alvareño*, desde donde se controla la roseta.
- 2| Muerto utilizado para mantener en la posición requerida el fondeo oceanográfico.
- 3| Buque *Francisco de Paula Navarro*, en el cual se realiza actualmente las campañas RADMED

1990 se extendió al Cantábrico con el inicio de la sección de Santander y el convenio con la Universidad de Oviedo para realizar una sección en Cudillero.

Este proyecto, en el que participan más de 40 investigadores y técnicos y tres buques oceanográficos, monitoriza con frecuencia mensual el estado del medioambiente oceanográfico y del plancton de una serie de secciones oceanográficas en la costa atlántica del norte de España (Galicia y mar Cantábrico). Entre las medidas sistemáticas se recogen perfiles de CTD, concentraciones de nutrientes inorgánicos, de oxígeno disuelto y abundancia, biomasa y diversidad de bacterias, fito y zooplancton... Recientemente, se han incorporado también medidas del sistema del carbono, como el pH y la alcalinidad.

Además de la financiación básica de soporte proporcionada por el IEO, el proyecto RADIALES obtiene hasta un 60% de su presupuesto de fondos adicionales en convocatorias competitivas de financiación de agentes externos nacionales e internacionales.

Los datos obtenidos en estas series han dado lugar a más de 400 publicaciones científicas y se emplean regularmente en el asesoramiento a diversas organizaciones y administraciones nacionales e internacionales. Además, estos datos han permitido valorar adecuadamente el impacto de accidentes ecológicos (como los vertidos de petróleo) teniendo en cuenta la variabilidad oceanográfica local y regional.

Las series de observaciones oceanográficas de RADIALES contribuyen a las evaluaciones periódicas del estado del océano, especialmente en el marco del Consejo Internacional de Exploración del Mar (ICES). Además, a partir de 2014 las series forman parte de bases de datos internacionales, como la European Marine Data and Observations Network (EMODNET) en el ámbito europeo y la ensamblada dentro del International Group for Marine Ecological Time Series (IGMETS), que gestiona la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO y cuyo objetivo es obtener una visión global y regional de los cambios en los ecosistemas y en los procesos bio-geo-químicos marinos de todo el mundo. La serie de datos RADIALES ha mostrado cómo la variedad de influencias oceanográficas que presenta la región atlántica del norte de España hace que sus respuestas a los cambios inducidos por el clima presenten particularidades y diferencias con respecto a los cambios observados en regiones próximas del Atlántico. “En esta región, el aumento del nivel del mar y el calentamiento de las aguas han ocurrido a una velocidad sensiblemente superior a la media global, especialmente en las últimas décadas”, explica Antonio Bode, investigador del Centro Oceanográfico de A Coruña y responsable del programa RADIALES. “Además, la influencia del afloramiento, que fertiliza estacionalmente las aguas costeras, ha experimentado cambios recientes en correspondencia con la variabilidad en el clima, cambios





1



2



3

- [1] Muestreo de zooplancton, fundamental para la caracterización biológica del océano.
- [2] Primer plano de la apertura superior de las botellas de la roseta.
- [3] Fondo de Lanzarote listo para su instalación.

que han afectado al aporte de nutrientes y a la biomasa, producción y composición del plancton”, añade Bode.

A pesar de que la longitud de las series de registros es aún corta para determinar las causas y mecanismos por los que el clima afecta al ecosistema pelágico de la región, los científicos han podido avanzar que en las próximas décadas la biomasa y composición del plancton será diferente de la actual, especialmente en el mar Cantábrico, donde la influencia del afloramiento es más reducida y el calentamiento se manifiesta con mayor claridad. Según las tendencias encontradas, en el futuro el plancton de la región estará compuesto por un mayor número de especies típicas de aguas cálidas, con un tamaño corporal menor que las actuales y que, probablemente, alcanzarán menores valores de biomasa. Sin embargo, estos cambios serán menos probables en Galicia, donde será crítico determinar la influencia del afloramiento a escalas multidecadales.

“RADIALES continuará siendo la principal infraestructura de observación y muestreo del plancton en el océano costero durante décadas”, apunta Bode.

Actualmente los científicos trabajan en mejorar los muestreos e implementar nuevas técnicas analíticas e instrumentales. Uno de los temas en los que se están in-

virtiendo grandes esfuerzos en mejorar es el estudio del sistema del carbono inorgánico (pH, alcalinidad, CO₂). Otro asunto prioritario es la automatización del análisis del plancton mediante el empleo de técnicas citométricas y de análisis de imagen adecuadas a los distintos componentes (bacterias, fito y zooplancton) y la implementación de técnicas genómicas como complemento a la identificación taxonómica tradicional, basada en la observación microscópica.

En 2003, con el objetivo de extender el muestreo de RADIALES a la zona oceánica, se comenzó una serie de campañas en las cuales se realizan muestreos hidrográficos semestralmente en tres transectos perpendiculares a la costa en Finisterre, Ortegal y Cabo Mayor, cubriendo toda la columna de agua hasta unos 5000 metros de profundidad. Esta serie de campañas ha dado lugar al proyecto RADPROF, acrónimo de radiales profundas, que ha contado con el apoyo de diversos proyectos de investigación de financiación externa al IEO. Actualmente el IEO financia el muestreo anual de la sección de Finisterre.

EL PROGRAMA RADMED

Dos años más tarde de iniciarse oficialmente el programa

RADIALES, en 1992, los muestreos sistemáticos de la costa se ampliaron al Mediterráneo. Estos muestreos comenzaron cuando el IEO puso en marcha el proyecto ECOMÁLAGA, a los que siguieron otros similares: ECOMURCIA y ECOBALEARES en 1996 y ECOCIRBAL en el 2000. El objetivo era establecer una observación rutinaria (cuatro campañas anuales) de las distintas áreas del Mediterráneo Occidental que bañan las regiones adyacentes a los centros oceanográficos responsables de cada proyecto.

En el año 2007 el IEO hizo un gran esfuerzo de integración de todos estos proyectos en uno único: RADMED (Series temporales de Datos oceanográficos en el Mediterráneo español), en el que se incorporaron los proyectos antes indicados y se ampliaron las zonas visitadas periódicamente, incluyendo regiones tan interesantes y poco estudiadas como Cabo de Gata, el delta del Ebro, Barcelona o la zona norte de Menorca, entre otras. Esta circunstancia permitió que se unificaran metodologías de muestreo, técnicas de análisis, protocolos y equipos, lo cual ha permitido una mejora en la calidad de la información obtenida, haciéndola directamente comparable.

RADMED se concibió con una duración inicial de 5 años: de 2007 a 2011. En 2012 se aprobó una segunda fase que termina este año. El futuro de éste y el resto de programas de campañas oceanográficas está en plena revisión, con el objetivo de adaptar los muestreos a los objetivos de las Estrategias Marinas (EEMM) de la UE.

RADMED ha demostrado ser un proyecto de oceanografía operacional moderno y eficaz, que permite obtener unos datos periódicos muy demandados por la investigación oceanográfica actual.

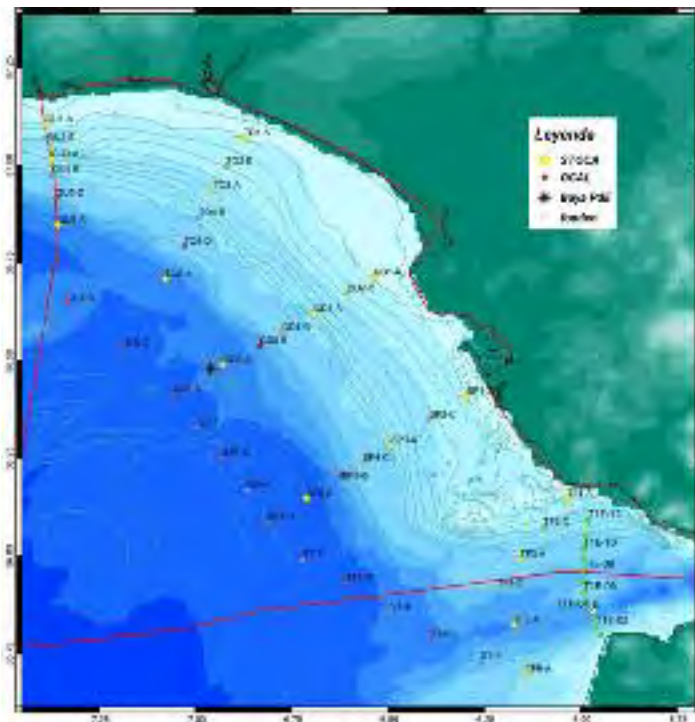
El objetivo principal de RADMED es el seguimiento espacio temporal de las variables físicas, químicas, biológicas más significativas y de la distribución de las comunidades fito y zooplánctónicas, en perfiles localizados en puntos singulares a lo largo de la costa del Mediterráneo español. De esta forma se crean series temporales de datos que permiten determinar las oscilaciones y tendencias a largo plazo y proveer a los gestores de la conservación del medio marino y políticos de información veraz y ponderada del cambio climático para la correcta gestión de sus efectos.

Para ello, las campañas RADMED permiten la toma sistemática de datos oceanográficos en el Mediterráneo español. Se realizan cuatro al año, trimestralmente, cubriendo 16 radiales localizadas en puntos singulares de la costa, con un total de 90 estaciones oceanográficas. Dentro de RADMED también se toman datos en puntos apropiados del talud continental e insular, a partir de líneas de fondeo con correntómetros, CTDs, termistores y trampas de sedimentos. Así, en 2014, los científicos fondearon una nueva línea equipada para el estudio de las aguas profundas del Mediterráneo Occidental en el noroeste del canal de Ibiza. Los datos obtenidos en es-

1| Una roseta pequeña durante una campaña RADMED.

2| Una roseta grande durante una campaña RAPROCAN.

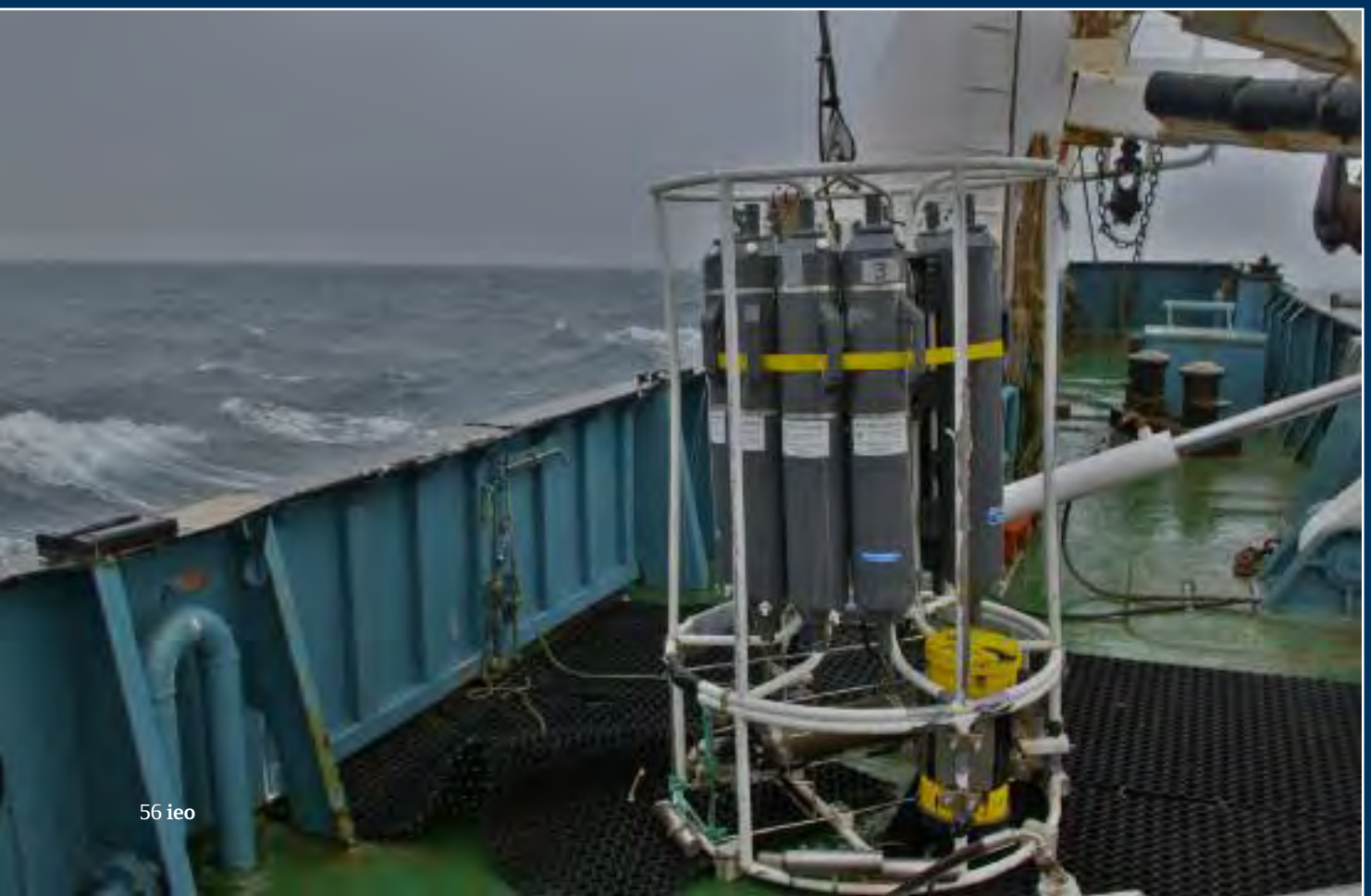


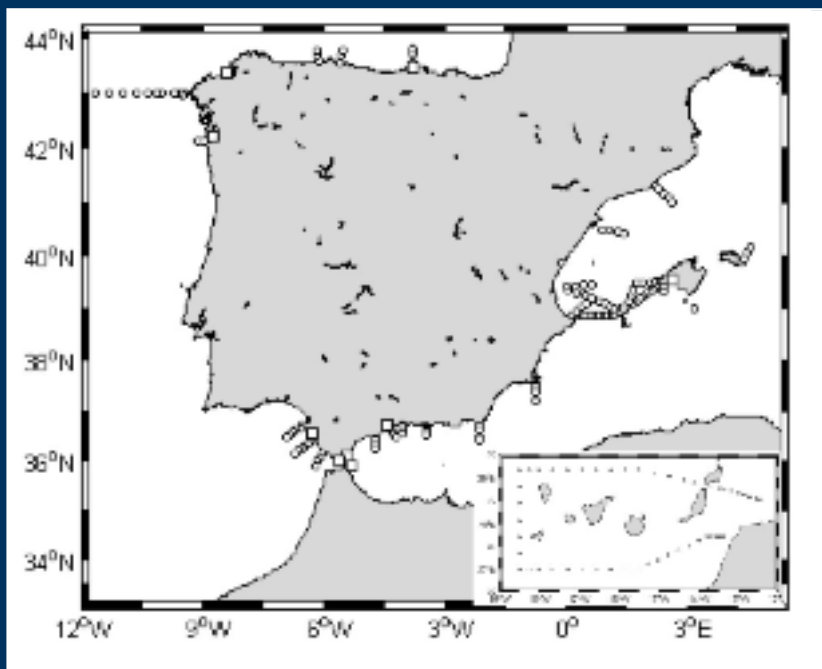


Arriba, red de estaciones muestreadas durante STOCA en el golfo de Cádiz. Abajo, roseta oceanográfica a bordo del *Cornide de Saavedra* durante una campaña STOCA.

te punto, que ya había sido cubierto en los años 1997-1998 y 2004-2005 en los proyectos MATER y ECOCIRBAL, sirven para el estudio de la circulación y variabilidad de las aguas profundas y forma parte de la red de fondeos del programa HIDROCHANGES de la CIESM. En 2015 se instaló otro fondeo, en el marco del proyecto ATHAPOC, al noreste de la isla de Menorca para el estudio de las aguas intermedias y profundas, con el objetivo de conocer la evolución de la anomalía termohalina observada en las aguas profundas desde 2005. El mantenimiento de ambos fondeos se realiza cada ocho meses dentro de las campañas RADMED.

“El resultado inmediato de los estudios y trabajos de este proyecto es el seguimiento del medioambiente marino costero del mediterráneo español y de su estado de salud”, explica José Luis López-Jurado, investigador del Centro Oceanográfico de Baleares y responsable del programa RADMED. “Por ejemplo, la continuidad de los muestreos en el tiempo nos está permitiendo hacer un seguimiento de la variabilidad estacional e interanual de las distintas masas de agua, de la anomalía de las aguas profundas del Mediterráneo Occidental, el control de los procesos convectivos de invierno, intercambios plata-





Red de estaciones que muestrea el IEO sistemáticamente en toda España.

forma-talud, variaciones en la distribución del zoo-plancton, etc.”, añade López-Jurado.

Pero estos datos además están permitiendo generar series temporales de las variables oceanográficas que mejorarán los estudios de ciclos, oscilaciones y tendencias a largo plazo.

Esta información está integrada y disponible en los bancos de datos del IEO (SIRENO, CEDO) y en el del programa RADMED, denominado IBAMAR que no solo cuenta con los datos propios, sino que reúne la práctica totalidad de los datos de oceanografía operacional previos a este proyecto, así como los datos de otros proyectos mediterráneos del IEO que han querido integrarse en él. Actualmente este banco de datos dispone de unas 9000 estaciones, procesadas y analizadas con unos mismos criterios y con un mismo control de calidad.

Los científicos y colaboradores de RADMED han publicado desde 2007 en base a esta información un libro, 11 artículos, 24 comunicaciones y pósters en congresos y 13 informes. Además, hay que sumar dos libros más, ocho artículos y 16 comunicaciones y pósters en congresos que han publicado investigadores de otras instituciones gracias los datos de RADMED.

El proyecto RADMED, por sus características de seguimiento a largo plazo, no tiene cabida en las convocatorias del Plan Nacional o del Marco Europeo, que financia proyectos de corta duración, a lo sumo de 3 a 5 años, y por ello el IEO mantiene este programa con financiación propia. Sin embargo, gracias a la iniciativa de los científicos de RADMED se ha logrado financiar parte de este proyecto con fondos externos. Por ejemplo, proyectos del Plan Nacional como DESMMON o ATHAPOC, o proyectos europeos como PERSEUS, ISIS-SES y Action-



Vista submarina de una roseta en pleno funcionamiento.

Med, han permitido financiar actividades y muchos días de barco del programa RADMED.

RADMED cubre un espacio de demanda internacional en el ámbito de la oceanografía operacional, aportando sus datos a programas como el Global Ocean Observing System (GOOS) y sus proyectos regionales como EuroGOOS y MedGOOS, fundamentales para el desarrollo de los modelos regionales de predicción oceánica, en el caso del mediterráneo el Mediterranean Forecasting System (MFS).

Además, la información trimestral proporcionada por RADMED está sirviendo para determinar la circulación regional en el área de las Islas Baleares, proporcionando información sobre la presencia de estructuras meso-escalares como, frentes oceánicos, filamentos, giros, etc., las cuales afectan a la migración de especies marinas, áreas de freza y puesta de huevos, reclutamiento de larvas, etc. Esta información está sirviendo para diseñar



campanas y facilitando la elección de áreas de trabajo de otros proyectos y disciplinas.

EL PROGRAMA RAPROCAN

En 2006 se puso en marcha un ambicioso programa de muestreo en aguas de Canarias con el objetivo principal del estudio del gran giro subtropical a su paso por el archipiélago, así como la zona de transición entre el afloramiento de la Corriente de Canarias y el océano abierto. Y es que Canarias se encuentra en una posición privilegiada, lugar clave para el estudio del transporte de calor de uno de los grandes giros oceánicos más importantes del planeta.

Las campañas RAPROCAN se llevan a cabo dos veces al año desde hace una década. Los datos obtenidos están

permitiendo determinar la estructura de la corriente de Canarias y estimar su transporte de masa, calor y nutrientes, así como su variabilidad a diferentes escalas. Además, se está estudiando la relación entre este transporte de masa y calor con la oscilación del Atlántico Norte (NAO), un fenómeno climático que indica las diferencias de presión atmosférica entre la baja islandesa y el anticiclón de las Azores y que es determinante en la meteorología del continente europeo.

Algunas de las estaciones muestreadas durante RAPROCAN superan los 4000 metros de profundidad, lo que permite la caracterización de los cambios en las principales masas de agua presentes en el Atlántico, como el agua central del Atlántico norte (NACW), las aguas antárticas intermedias (AAIW), las aguas mediterráneas (MOW) y



1



2



3

- | 1 | La red de zooplancton preparada en cubierta para iniciar la maniobra.
- | 2 | Los marineros del Ángeles Alvariño lanzan la roseta para el muestreo.
- | 3 | Entre estación y estación, los científicos recogen el agua de las botellas y la etiquetan para los posteriores análisis.

LA BOYA AGL

El seguimiento de la oceanografía del norte de la Península, se complementa con la boya Augusto González de Linares (boya AGL), ubicada a 22 millas de Cabo Mayor (Santander) donde la profundidad alcanza los 2850 metros. La boya está equipada con sensores meteorológicos de temperatura, presión atmosférica, humedad y velocidad y dirección del viento, y sensores oceanográficos capaces de medir la dirección y altura de las olas, la temperatura superficial del agua, la salinidad, la concentración de clorofila y el oxígeno disuelto. Además, un doppler de 300KHz permite monitorizar la velocidad y dirección de las corrientes en los primeros 100 metros de agua.

La información que ofrece esta boya es una importante fuente de información en tiempo real para el uso científico, meteorológico, medioambiental, marítimo, pesquero y turístico. Tanto los datos en tiempo real, como algunos productos derivados de ellos, están disponibles de forma gratuita en la web www.boya_agl.st.ieo.es. Además, en www.seadatanet.org se puede acceder a toda la información desde 2007 hasta 2014.

En 2009, esta boya registro la mayor ola observada hasta la fecha que superó los 26 metros de altura.

La boya AGL es la contribución de IEOOS al proyecto europeo FixO3.



las aguas de fondo de la cuenca canaria.

Durante las campañas se estudian las características físico-químicas y biológicas de las aguas del archipiélago, tomando medidas, entre otras, de temperatura, salinidad, velocidad de la corriente, oxígeno disuelto, nutrientes, concentración de dióxido de carbono, pH, alcalinidad, también se toman muestras de zooplancton y fitoplancton.

En este programa además se mantiene un fondeo oceanográfico entre Lanzarote y la costa africana, que complementa las medidas puntuales realizadas dos veces al año alrededor del archipiélago canario, con una serie temporal que ha permitido estimar la variabilidad de la corriente de la frontera este.

Los resultados de este proyecto indican que los 600 metros más superficiales del océano se calientan en los alrededores del archipiélago a un ritmo de 0.16°C por década, duplicándose este ritmo de calentamiento en las aguas situadas entre el archipiélago y la costa africana. En las aguas por debajo de los 600 metros de profundidad, en los últimos 15 años no ha habido cambios estadísticamente significativos. También se ha observado que la corriente de Canarias no fluye a través de todo el archipiélago en primavera, sino solamente y de manera

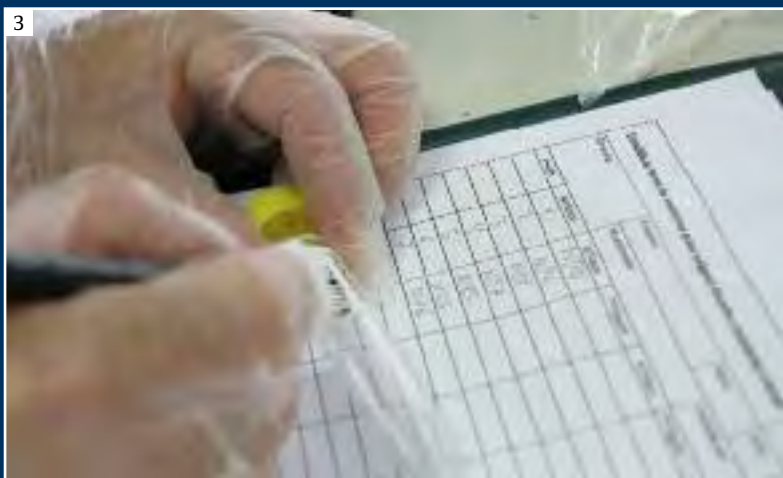
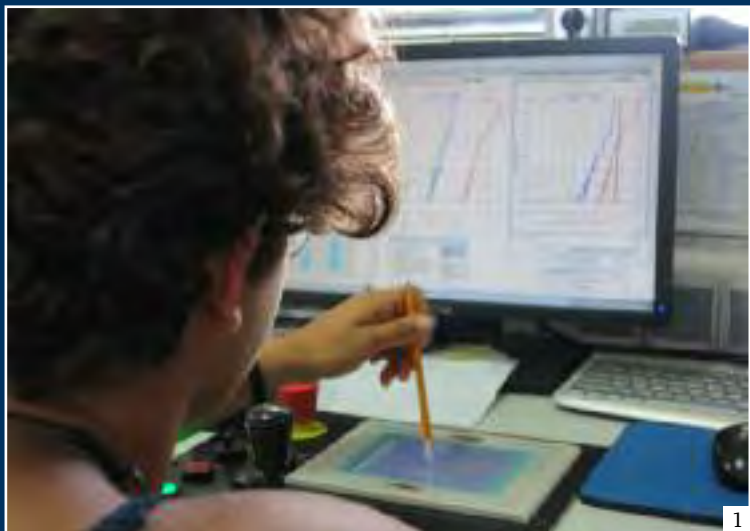
muy débil a través de las islas más occidentales, confirmando este comportamiento como parte del su ciclo de cambio estacional.

RAPROCAN constituye hoy en día la serie temporal hidrográfica más larga y completa de Atlántico Centro Oriental, siendo la base para cumplir las obligaciones de España en la relación con el descriptor de hidrografía en la demarcación de Canarias.

EL PROGRAMA STOCA

Las campañas sistemáticas del proyecto Series Temporales de datos Oceanográficos en el golfo de Cádiz (STOCA) constituyen el programa de más reciente incorporación a la oceanografía operacional del IEO. Desde julio de 2009 se viene realizando el muestreo periódico de las aguas del Golfo de Cádiz y el Estrecho de Gibraltar a partir de 16 perfiles verticales de variables hidrográficas, incluyendo la toma de muestras de agua y plancton para análisis químicos y biológicos en estaciones a lo largo de tres radiales o secciones estándar.

Este programa de monitorización, liderado por el IEO en colaboración con las Universidades de Cádiz y Málaga, tiene como objetivos principales el observar, describir y analizar el campo biológico, químico y físico necesarios



- | 1 | Los científicos observan los perfiles que dibuja la roseta en su ascenso a superficie y seleccionan las profundidades a las que se recoge el agua.
- | 2 | Muestras preparadas para la medición de oxígeno disuelto.
- | 3 | El correcto etiquetado de las muestras es fundamental durante las campañas.

para caracterizar y comprender las causas de la variabilidad oceánica a escalas estacionales, interanuales y decadales, suministrar a la comunidad académica y a la sociedad un conjunto de datos multidisciplinarios que sirvan para establecer relaciones entre las variables biológicas, químicas y físicas y contribuir al buen desarrollo de actividades relacionadas con el medio marino.

STOCA arrancó como actividad nocturna, aprovechando la oportunidad de las campañas de biología pesquera que se realizaban cada año a bordo del *Cornide de Saavedra* en el Golfo de Cádiz (ARSA de invierno y otoño y ECOCADIZ en verano). Más tarde, el proyecto del Plan Nacional Flujo Mediterráneo en Gibraltar: Influencia en la ventilación de las aguas mediterráneas y primera evolución y acoplamiento con las aguas centrales en el Golfo de Cádiz (INGRES3: CTM2010-221229), propició la emancipación como campaña independiente entre 2011-2014, gracias a la adjudicación de tiempo de buque, primero en el propio *Cornide* y, tras su entrada en servicio, en los nuevos buques regionales del IEO *Ángeles Alvariño* y *Ramón Margalef*.

Desde el inicio, STOCA ha mantenido estrechas relaciones con proyectos coyunturales de investigación que se apoyan en la totalidad o en parte en esta infraestructu-

ra observacional. Además, a partir de 2014 las renovadas sinergias con los socios del Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-MAR) y la creciente adquisición de compromisos de gestión y asesoramiento a la Administración (como es la implementación del programa observacional de las Estrategias Marinas) estimuló la ampliación de los objetivos observacionales. Así, si en 2009 la red observacional de STOCA constaba con 16 estaciones a lo largo de tres radiales, barriendo el área entre la desembocadura del río Guadalquivir y el Cabo Trafalgar, en 2016 son treinta las estaciones distribuidas a lo largo de cinco radiales. Además, se incluye desde 2011 la estación permanente de monitorización de Espartel, en el Estrecho de Gibraltar. Esta estación se mantiene en colaboración con la Universidad de Málaga y el ICMAN-CSIC y establece un programa de mediciones basado en una serie de estaciones hidrográficas y en una línea instrumentada para controlar las características de las aguas Mediterráneas que se inyectan en la cuenca atlántica a profundidades intermedias. Estas mediciones se iniciaron en 2004 y proporcionan una valiosa serie para el estudio de la variabilidad y características del transporte y el intercambio de masas de agua en el Estrecho de Gibraltar.

ALGUNOS RESULTADOS DESTACADOS

La Western Mediterranean Transition

Los rutinarios muestreos que generan series de datos muy largas dan lugar a veces a descubrimientos inesperados y fascinantes.

Durante el severo invierno del 2004-2005, en el que se produjeron cinco episodios de entrada de vientos de procedencia Ártica y Siberiana con importantes nevadas en todo el Mediterráneo Occidental, gracias a los datos de los proyectos ECOCIRBAL, y TUNIBAL los científicos del IEO detectaron la aparición de una anomalía en la temperatura y salinidad de las aguas profundas de esta zona.

Esta nueva estructura afecta actualmente a toda la cuenca occidental del Mediterráneo. En 2009, durante la reunión de la Comisión Internacional para el Estudio Científico del Mediterráneo (CIESM) en Malta, se propuso denominar a este fenómeno Western Mediterranean Transition (WMT), tomando como ejemplo la anomalía que se había observado anteriormente en la cuenca oriental, la Eastern Mediterranean Transient (EMT).

El Mediterráneo es para el océano una fuente continua de agua intermedia salina y cálida (Mediterranean Outflow Water, MOW), que juega un papel muy importante en los procesos de formación de agua profunda en el Atlántico norte y, por tanto, en la circulación del océano global. A su vez, se ha demostrado que los fenómenos hidrográficos que generan masas de agua profunda afectan a procesos biológicos y, por tanto, a los recursos marinos vivos y su explotación.

No hay acuerdo sobre la importancia relativa de los diferentes mecanismos de formación de agua profunda que han contribuido a este fenómeno. Sin embargo, sí parece evidente que las anomalías observadas, tanto en la cuenca oriental como la occidental del Mediterráneo, son el resultado de factores como el incremento de la salinidad en el Mediterráneo, probablemente inducidos por oscilaciones climáticas e, indirectamente, por el cambio climático.

El IEO, que viene siguiendo la evolución de esta anomalía desde que se detectara a través de RADMED, lidera ahora un nuevo proyecto denominado Estudio de la Anomalía Termo-Halina de las Aguas Profundas del Mediterráneo Occidental (ATHAPOC), junto al CSIC, la AEMET y las universidades de Barcelona y Málaga, que permitirá continuar con el estudio de esta estructura y de su relación con las oscilaciones del clima.

La formación de aguas profundas y la inyección de calor

También la serie de datos oceanográficos obtenida en Radiales dio lugar a descubrimientos sorprendentes relacionados con el frío invierno de 2005. Para entenderlo hay que remontarse a principios de la década del 2000. Hasta entonces, el mayor aumento de temperatura del océano se observaba en el Atlántico Norte. Sin embargo, desde mediados de la década, durante el periodo conocido como hiato en el calentamiento global, las aguas superficiales del

Atlántico Norte dejaron de absorber calor, tanto que las aguas tropicales de los océanos Pacífico e Índico pasaron a ser las que mostraron mayor calentamiento y absorción de calor de la atmósfera.

Mientras esto ocurría, la mayor parte del calor acumulado durante décadas en las aguas superficiales en el Atlántico se inyectó a capas más profundas. Y en este cambio de régimen en el Atlántico Norte, jugó un importante papel y dio lugar a una gran transformación de las aguas del Atlántico Noreste, según un trabajo del IEO, realizado con observaciones del programa Radiales y publicado en la revista *Geophysical Research Letters*.

La primera parte de la transformación se produjo como resultado de la intensa mezcla invernal de las aguas del Atlántico Nordeste durante el frío invierno de 2005. Tras años de acumulación de calor y sal en superficie, la mezcla con las aguas superficiales transformó las aguas intermedias del Atlántico Noreste en una variedad más densa, salada y cálida. Las nuevas aguas, más densas, se hundieron por debajo de la superficie llevando consigo el calor y la sal absorbido durante su estancia en superficie. Esta transferencia de calor a las profundidades no fue un evento aislado durante el invierno de 2005 sino que continuó a través de la alteración de la circulación oceánica en el Atlántico Noreste.

La presencia de aguas más densas en el Atlántico Noreste habría invertido temporalmente la circulación regional hacia el sur, permitiendo el acceso de estas aguas con alto contenido en sal hacia latitudes más altas. Este suministro de aguas saladas a regiones subpolares y polares habría favorecido que el enfriamiento invernal generase aguas en superficie lo suficientemente densas como para mezclarse con las aguas del fondo, pero con valores de salinidad y temperatura más altos que los valores típicos, resultando en una inyección adicional de calor al océano profundo.

“Patrones atmosféricos anómalos, como el que en 2005 inició este cambio en el Atlántico Norte, no son exclusivos de la última década”, explica Raquel Somavilla en su artículo, investigadora del IEO y primera autora del trabajo. “Aunque podrían haber sido exacerbados como consecuencia del calentamiento global”, apunta.

Variabilidad del transporte en el Estrecho de Gibraltar

Las series de mediciones del flujo y las propiedades de las aguas de salida en el Estrecho de Gibraltar han venido proporcionando una importante contribución a la evaluación y el conocimiento de la compleja dinámica oceanográfica en uno de los puntos más calientes y sensibles del océano global. Gracias a las observaciones de STOCA se ha podido estimar la salida de agua mediterránea al Atlántico en 0,85 millones de m³, con unas oscilaciones estacionales de aproximadamente un 8% sobre la media y con el máximo de salida a principios de la primavera.

LAS ALGAS Y LOS ANTIGUOS NAVEGANTES ESPAÑOLES (1492-1792)

texto y fotos: Juan Pérez-Rubín Feigl (C. O. de Málaga)

EN EL ÚLTIMO QUINQUENIO el Mar de los Sargazos ha estado de actualidad internacional a raíz de los trastornos producidos por la sorprendente llegada de cientos de toneladas de esas algas a las costas de varios países caribeños y la firma de la *Declaración de Hamilton* (11/3/2014), que impulsa la colaboración intergubernamental para proteger ese ecosistema oceánico único. Proporciona un hábitat imprescindible para una gran diversidad de animales, algunos de los cuales se han adaptado específicamente a estas “islas vegetales flotantes” a la deriva, que se mantienen en superficie gracias a unas pequeñas vesículas llenas de gas.

Ese Mar ocupa un región enorme, pues se extiende aproximadamente desde las cercanías de la costa de América hasta el eje insular Azores-Canarias-Cabo Verde, pudiendo albergar millones de toneladas de dos especies predominantes: *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*. Varias peculiaridades diferencian a estas concentraciones algares de las formadas en otras regiones mundiales: un par de características biológicas (reproducción asexual sin relación con el fondo marino y ser hábitat para una fauna exclusiva), junto con el hecho de que sus límites geográficos son dinámicos, pues están marcados por las corrientes oceánicas involucradas en el denominado giro subtropical del Atlántico N, en relación atmosférica con el anticiclón de las Azores.

En este artículo examinaremos una muestra de antiguas publicaciones nacionales que recogieron información sobre los sargazos y otras especies de macroalgas, tanto en aguas oceánicas como en las costas del Pacífico, Atlántico y del estrecho de Magallanes. Así deduciremos las algas mejor conocidas por los intrépidos navegantes españoles de aquellos siglos.

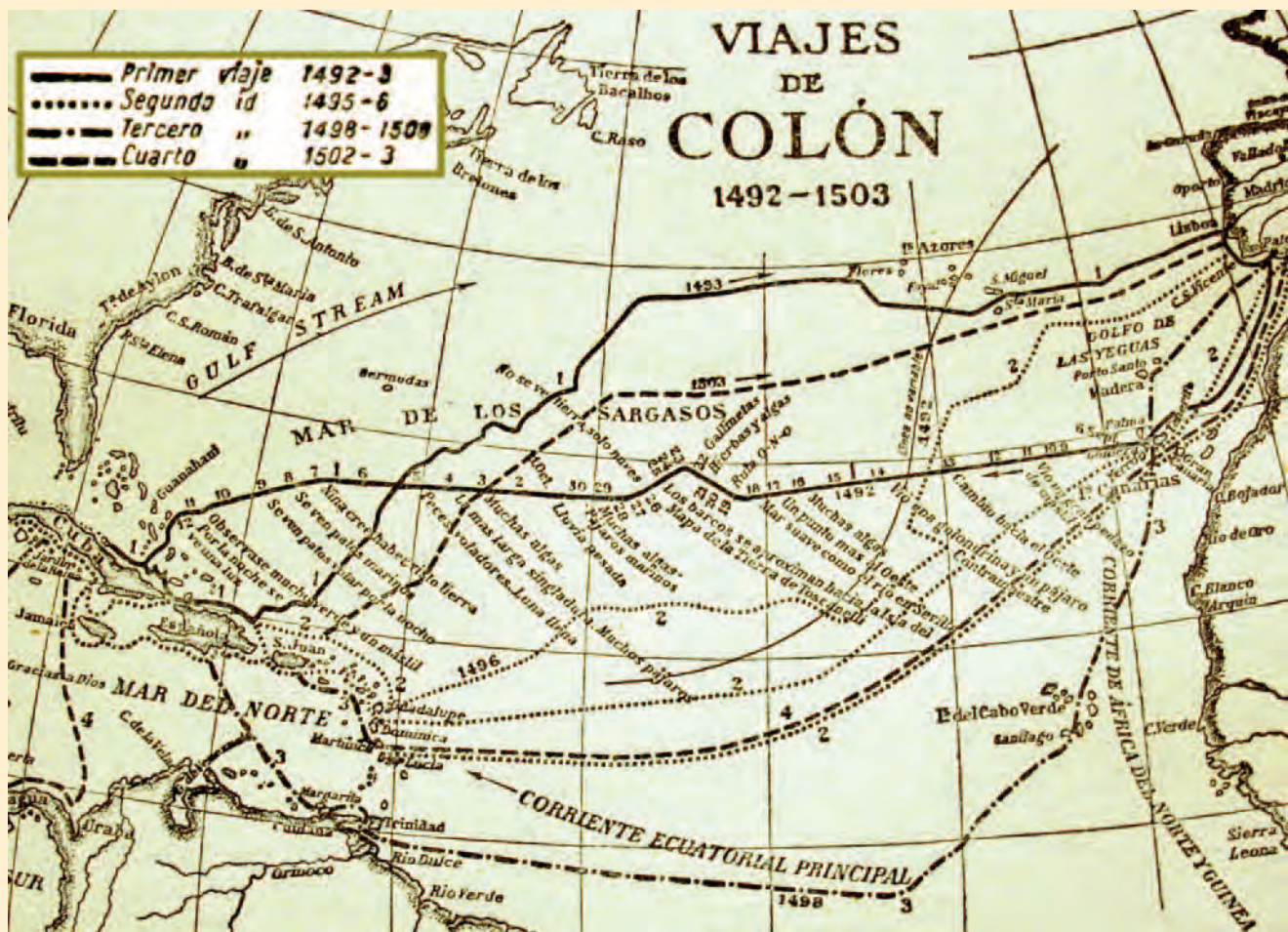
LOS ANTIGUOS DIARIOS DE NAVEGACIÓN

Considerando la enorme superficie de la región del Mar

de los Sargazos, con millones de kilómetros cuadrados, está claro que los navegantes peninsulares fueron los primeros en surcarlo ampliamente desde finales del siglo XV, cuando Cristóbal Colón inaugura los periplos transoceánicos con sus navegaciones del período 1492-1503. (Fig. 1.)

Hay que recordar que se conservan centenares de diarios de navegación españoles, compuestos a lo largo de los siglos, que atesoran gran cantidad de información científica de interés oceanográfico y meteorológico de amplias áreas oceánicas. Así lo vienen demostrando varios investigadores nacionales en las últimas décadas, y sirva como ejemplo gráfico el mapa de vientos dominantes del Atlántico Norte (direcciones medias) de la figura 2, elaborado con la minuciosa información recogida por los capitanes de los buques correo de la antigua ruta Coruña-Habana-Coruña del período 1764-1769. La imagen integrada muestra el escenario atmosférico donde se mantienen desde tiempo inmemorial las extensas concentraciones de algas que conforman el Mar de los Sargazos, en relación con el área de desarrollo del anticiclón de las Azores, cuyos rumbos ya quedaron consignados en las anotaciones de Colón de su primer viaje y se ha considerado que representaron el inicio de la descripción meteorológica a gran escala. Más adelante comprobaremos la interacción océano-atmósfera en figuras que mostrarán las corrientes marinas del área, que conforman el mencionado giro subtropical del Atlántico N. (Fig. 2).

En las publicaciones españolas más antiguas también se nombra al sargazo con otras grafías similares como ‘sargasso’, ‘sargaço’ o ‘salgazo’ (ésta “por lo salado” según Fr. Martín Sarmiento), y desde el siglo XIX la vemos transformarse incluso en ‘algazo’. Muchas más especies aparecen citadas en la bibliografía marítima decimonónica no académica, donde hemos encontrado gran número de vocablos populares españoles referidos a las “algas, maleza o yerbas que se crían en el



Mapa con los itinerarios de los cuatro viajes trasatlánticos de Cristóbal Colón (1492-1503), con las primeras anotaciones sobre la presencia de sargazos en el área occidental. (Enciclopedia Espasa).

fondo marino”: lechuga de mar, fucos (con vesículas), ova, craca, cubá, salgada, salgadera, sargazo gigante, cachiyuyo, ceiba, etc. Mientras que el último tipo daba nombre a parajes concretos del fondo marino costero cubierto por ella (ceibadar), otros términos eran más generales para denotar sectores concretos colonizados por estas talófitas, bien conocidos por los pescadores e incluidos en las cartas náuticas que señalaban la calidad o tipo del fondo con variadas denominaciones genéricas: rodal de alga, algoso, algar, entina, y otros. Complementariamente se citaban ingenios específicos para la captura artesanal de diferentes especies de peces en los algares o en los arenales limítrofes, tales como el instrumento de madera denominado ‘espadilla’, por su semejanza con una espada corta, y el aparejo de anzuelos ‘pose’.

Exploraremos también la relación del sargazo y otras especies con la prevención y tratamiento del escorbuto en los buques y hospitales de la Armada ilustrada, constatando cómo se mantuvieron durante demasiadas décadas muchas incógnitas sobre los verdaderos orígenes de esa terrible enfermedad. Incluso en un texto técnico de mediados del siglo XIX, cuando ya era considerada una patología rara entre los navegantes “gracias a los beneficios de la higiene”, comprobamos como la ausencia de verduras y fruta en la dieta de a bordo



Figura 2

Mapa de vientos dominantes (direcciones medias) del Atlántico N correspondientes al período 1764-1769. (Según R. García-Herrera y colaboradores, 2003).

(provocando el nefasto déficit corporal de vitamina C) no se consideraba todavía, fuera del ámbito de los pro-

fesionales de la medicina, la principal causa y ocupaba una posición central en una larga lista de factores negativos implicados: *“el frío prolongado, la humedad, la mala o insuficiente alimentación, la falta de vegetales frescos, la privación de la luz, abuso de los espirituosos, afecciones morales deprimentes y el desaseo personal”*.

LOS “MARES DE HIERBAS”

Fueron los antiguos navegantes españoles y portugueses del Golfo de Cádiz los primeros en descubrir esas grandes acumulaciones algares atlánticas en las tenebrosas aguas de mar abierto cercanas a los archipiélagos de Azores y Canarias. Muy posiblemente se encontró con esos sargazos oceánicos Pedro de Velasco, natural de Palos de Moguer y descubridor de la isla de Las Flores en 1452.

Hay que adelantar que hasta avanzado el siglo XIX esa concentración de algas del Atlántico nororiental era la única reconocida y abarcaba el área comprendida entre aquellas islas, las de Cabo Verde y la costa de África.

En relación a los experimentados marineros de Huelva del siglo XV escribió el marino militar e historiador Cesáreo Fernández Duro: *“Antes de la expedición descubridora de Colón conocían los mareantes del condado de Niebla la constancia de los vientos alisios, favorable a la navegación hacia el Oeste y contraria por tanto, al regreso; y esta experiencia, junto con varias más relativas al Mar del Sargazo, fue causa de repugnar la empresa propuesta por el almirante. Tenían por seguro los marineros que no se podía volver por donde se fuera...”*.

El genial Alexander von Humboldt (1769-1859), reivindicador de las aportaciones de Cristóbal Colón, fue el primer científico en estudiar a fondo todos los antecedentes históricos sobre ese mar de algas, que en realidad se extendía hasta la cercanía de las costas de América. Afirmaba que la amplia extensión geográfica conocida con la vaga denominación de “Mar de Sargazo” incluía realmente, en el centro del Atlántico, dos acumulaciones significativas de “fucus flotante” unidas por una banda transversal “casi permanente”. Según sus estimaciones ocuparían en conjunto un área aprox. 6 veces mayor que Alemania, siendo la mayor acumulación la ya citada oriental y la menor, la “americana”, entre las islas Bermudas y las Bahamas.

En opinión del biólogo marino cántabro Enrique Rioja (1895-1963), a ese explorador germano *“debemos la primera interpretación correcta del mar de hierbas como una inmensa asociación vegetal inacabable y gigantesca formada por una sola especie [género] vegetal, que cobija diversa e interesante población animal..., algas que han bautizado el inmenso y quieto corazón del Atlántico”*.

La primera cartografía marítima publicada en nuestro país con la ubicación del extenso Mar debió ser la fechada en 1860 y que acompañaba la traducción de la paradigmática obra del marino militar norteamericano M. F. Maury (1806-1873): *“Geografía Física del Mar”*. Como veremos más adelante se relacionaba íntimamente ese mar de algas con la corriente del Golfo.

LOS SARGAZOS COLOMBINOS

Efectivamente, las investigaciones oceánicas españolas en el Atlántico N comenzaron en 1492 con el primer viaje de Cristóbal Colón, quien hasta 1504 fue registrando en sus diarios de navegación las primeras noticias científicas ultramarinas desde las Indias Occidentales. Así, en su viaje inicial fue pionero en la descripción de variadas especies marinas americanas (algas, ballenas, peces, aves, etc.) y en comentar diferentes aspectos meteorológicos e hidrográficos. Pues entre toda la valiosa información de su primer viaje incluye numerosas anotaciones naturalísticas realizadas durante las aproximadamente tres semanas de navegación antes de pisar el Nuevo Mundo. Aparecen muchos comentarios sobre las algas flotantes, sargazo o “hierbas” (“se hallaban cangrejos en ellas” y al menos uno guardó el almirante), que les servía para intuir la presencia de corrientes. En otras ocasiones podemos interpretar que eran zonas de calma donde se acumulaban los restos vegetales flotantes de diferente antigüedad (“hierba mucha, alguna muy vieja y otra muy fresca, y traía como fruta”). Por esa situación observada se acuñaría el término de Mar de Sargazo, que durante los siglos siguientes fue muy popular en las descripciones de los marinos que navegaban por aquellas latitudes.

Otro interesante descubrimiento de Colón se produjo en su regreso del primer viaje (7/2/1493), cuando aparentemente ya distinguió dos tipos diferentes de algas en los sectores oriental y occidental: “Vieron yerba de otra manera que la pasada, de la que hay mucha en las islas Azores; después se vio de la pasada”. Actualmente, al menos en el área americana (Golfo de Méjico y Caribe), se distinguen dos especies relacionadas con esa corriente o “algas del Golfo”: *Sargassum natans* (“Common Gulfweed”) y *Sargassum fluitans* (“Broad-toothed Gulfweed”).

Su propio hijo Fernando también aportó información interesante en su capítulo: *“De las aves y otras señas que denotaban tierras cercanas, que encontró el almirante en su viaje”*. Así describió la situación vivida cuando estaban a unas 300 leguas de la isla del Hierro hacia Occidente (los días 15 y 16 de septiembre de 1492): *“bonancibles los vientos del Nordeste al Sudoeste, el mar sosegado y las corrientes continuas a*

Figura 3



Recreación clásica del primer encuentro de los navegantes transoceánicos españoles con animales y algas marinas americanas (De Bry, 1600).

Nordeste... Vieron una garza y otra ave llamada rabo de junco, de que entonces se animaron mucho por ser los primeros pájaros que habían visto, ... y encontraron gran abundancia de yerba entre verde y pajiza, que se veía en la superficie del agua, y que parecía haber sido arrancada poco antes de alguna isla o escollo. Al día siguiente no la vieron, por lo cual afirmaban muchos estar cercanos a tierra. Especialmente viendo un cangrejo vivo entre aquella yerba que no tenía pie, los ramos eran altos y estaba cargada de fruta como la del lentisco”.

Recordemos que serían tres escritores españoles los que divulgaron internacionalmente las ciencias naturales de América entre 1526 y 1590: Gonzalo Fernández de Oviedo, José de Acosta (fundador de la biogeografía) y Nicolás Monardes. Sus textos tuvieron una sorprendente difusión mundial en su época pero son muy pobres en ilustraciones. Situación contraria es la que presenta el *Tesoro de los viajes a las Indias Orientales* (1597-1628), de los De Bry, donde en la entrega del año 1600 incluyeron varias estampas muy realistas con algas flotantes (“hierbas”) y diferentes animales (ballenas, peces y aves), que los navegantes de altura “encuentran en el mar de camino a las Indias”. (Fig. 3.)

De la popularidad de este “mar de hierbas” o *Mare Herbidum* queda constancia en los textos de cronistas como Juan López de Velasco (1530-1598), Bartolomé de Las Casas (1480?-1566) y el citado Gonzalo Fernández de Oviedo (1478-1557). Particularmente éste, gran navegante que atravesó el Atlántico 16

veces entre 1514 y 1545, publicó una acertada descripción: “Hallaron en el mar grandes praderías de hierbas sobre el agua, que llaman salgazos, y se andan sobre aguadas en la superficie del mar. Las cuales según los tiempos y los agujajes suceden, así corren y se desvían o se allegan a oriente o poniente, o al sur o a la tramontana; y a veces se hallan a medio golfo, e otras veces más tarde y lejos o más cerca de España. Algunos viajes sucede que navíos topan muy pocas o ninguna de ellas, y también a veces hallan tantas que, como he dicho, parecen grandes prados verdes e amarillos o de color jalde [amarillo encendido], porque en estos dos colores penden en todo tiempo”.

Añadía Pedro Mártir de Anglería (1457-1526) en sus *Décadas* (1515) las tempranas dudas que ya tenían los interesados en la historia natural marina: “Ni el almirante Colón, que dijimos fue el primero que navegó por aquellas islas y el mar de yerbas, ni Pedro Arias dan explicación alguna de las yerbas. Piensan algunos que el mar es allí cenagoso, y que aquellas hierbas se crían en el fondo y se suben arriba ... Otros pretenden que no nacen allí; sino que, arrebatadas por las tempestades de los cerros que abundan por allí, sobrenadan por aquellos mares”.

El mapa de la figura 4 ilustra la utilización práctica de los vientos y corrientes en aquella heroica navegación colombina de 1492. Es una compilación original que Salvador de Madariaga incluyó en su monografía de 1956 sobre la “*Vida del muy magnífico señor D. Cristóbal Colón*”, integrando diversas fuentes científicas, como la información de los oceanógrafos alemanes

Otto Krümmel (1854-1912) y Gerhard Schott (1866-1961). (Fig 4).

INFLUENCIA DE LA CORRIENTE DEL GOLFO

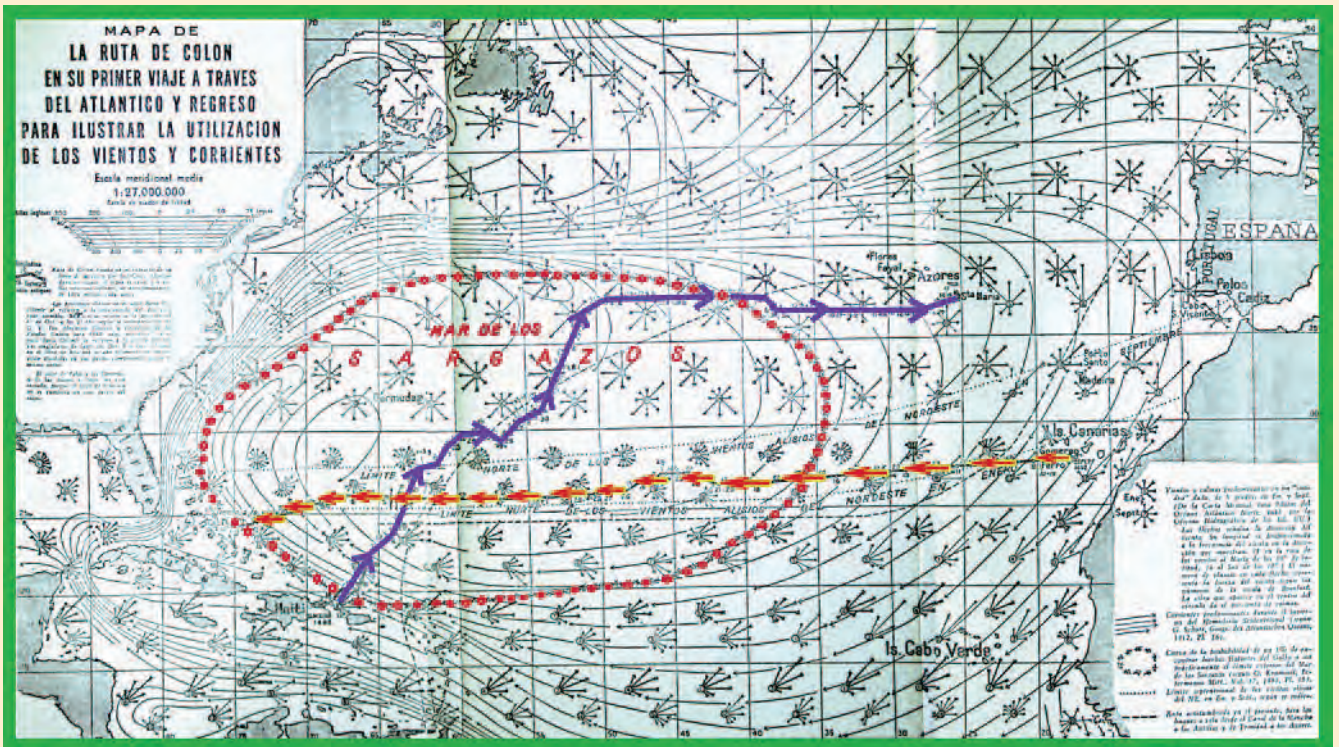
A finales del siglo XVIII en algunos mapas habían comenzado a señalar las situaciones geográficas donde navegantes del Atlántico informaban de la presencia de notorias acumulaciones de algas a la deriva en la superficie del océano. En la figura 5 mostramos un sector del confeccionado por el británico Th. Pownall (*The Atlantic Ocean*) en el que se localizan únicamente tres pequeñas concentraciones de "Sargasso" o "Gulf Weeds" en el área oriental (rectángulos verdes), en aparente relación con el margen interior de la corriente del Golfo. Más al sur también se ubica un temible torbellino "Maelstrom" o Caribdis (círculo rojo): el supuesto remolino de gran potencia y de giro anticiclónico, que se suponía capaz de engullir incluso ballenas y grandes buques. (Fig. 5.)

Esta relación directa de los sargazos con la corriente del Golfo aparece en los primeros *Derroteros* españoles sobre el Atlántico NO y esos conocimientos hidrográficos se divulgaron a la sociedad en obras como el *Diccionario Geográfico-Estadístico* de Miñano (1826), donde podía leerse: "Esta corriente se reconoce en la elevada temperatura de las aguas, en su extraordinaria salobrez [baja salinidad], en el color azul de Prusia que

tiene, en los vestigios de sargazo que cubren su superficie, y en el calor de la atmósfera que es muy sensible en invierno".

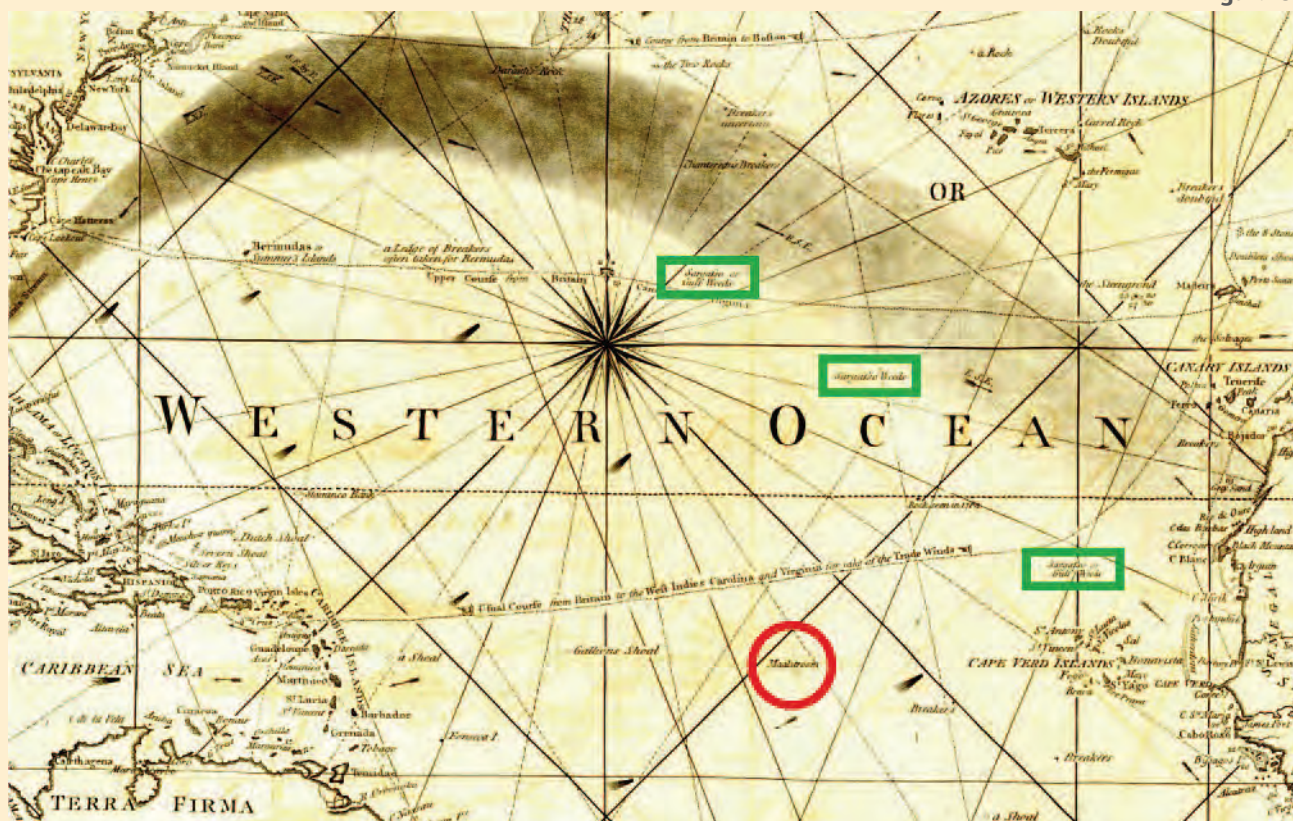
En efecto, al menos en la edición de 1820 del *Derrotero de las islas Antillas, de las costas de Tierra Firme, y de las del Seno Mexicano*, publicado por la Dirección de Hidrografía de la Marina Española, hay continuas referencias a la presencia de "yerba" marina y "algas", tanto arraigadas en los fondos costeros como a la deriva en las aguas oceánicas. Aunque no hemos hallado el término 'sargazo' inequívocamente se refiere a ella cuando reconoce la utilidad de una especie concreta para reconocer la cercanía de esa gran corriente americana: "El alga llamada del Golfo, que se ve de día, es un indicio de la margen de la corriente, encontrándose ésta por la parte de fuera de dicha margen en mayor cantidad y abundancia que dentro de ella; pues en este paraje se hallan las ramas de esta yerba más pequeñas y en menos cantidad". También se concretan las localizaciones en mar abierto descubiertas por el coronel Williams a finales del siglo XVIII ("observó grandes cantidades de alga que se suponían estar en la margen de la corriente en la latitud 41°53' y longitud 69°16'") y las anotaciones del capitán del buque Archibald (1815) sobre la presencia/ausencia de cúmulos algales en diferentes sectores de su travesía por aguas de las islas de Puerto-Rico, Santo Domingo, Cuba y Bahamas.

Figura 4



Mapa "oceanográfico" del libro que S. de Madariaga dedicó a la biografía de Colón (6ª edición, 1956). A partir de las travesías de ida y vuelta del primer viaje (1492-1493) se destacan los límites aproximados del Mar de los Sargazos colombiano (estrellas rojas) y las trayectorias diferentes que siguió, para aprovechar los vientos y corrientes favorables, en la ida (flechas rojas) y vuelta (línea azul).

Figura 5



Sector de un mapa inglés de 1787 que muestra la corriente del Golfo desde las costas de América en dirección hacia el sur de Canarias-África. Únicamente se ubican concentraciones de sargazo en el área oriental (rectángulos verdes) y uno de los míticos remolinos "Maalstrom" (círculo rojo) [Th. Pownall: *The Atlantic Ocean* (Rumsey Map Collection)].

Figura 6



Portada de la traducción española de la *Geografía Física del Mar* (Maury, 1860), y un sector de su lámina VI mostrando las extensas concentraciones de sargazos en el Atlántico N y las corrientes del área.

Como ya adelantamos, varias décadas después se publicaría la traducción española de la paradigmática obra de M. F. Maury *Geografía Física del Mar* (1860), con la que se incluyó la cartografía actualizada mostrando la verdadera extensión de los mares de algas con las corrientes del área. Puede comprobarse como el texto acompañante no concuerda con la ubicación que se muestra en el mapa, particularmente la acumulación del área americana ("Alga Marina") ni siquiera se menciona: "En el espacio intermedio del Atlántico, que forma un triángulo entre las Azores, Canarias e islas de Cabo Verde, se halla el Mar de Sargazo. Cubre un área igual en extensión a la del valle del Mississippi, y es tan espesa esta planta en todo él, que embaraza no poco la marcha de los buques.

Quando los compañeros de Colón le vieron por primera vez creyeron que marcaba los límites de la navegación, y concibieron temores. A la simple vista, y a corta distancia, parece de bastante consistencia para poder andar sobre él. Se ven manchones de sargazo siempre a lo largo de la corriente del Golfo. Ahora bien: si se echan pedacitos de corcho, paja o cualquiera otra materia flotante en un recipiente de agua, y se le da a esta un movimiento circular, todas aquellas partículas se reunirán en el centro, donde es menor el movimiento. El Océano Atlántico respecto a la corriente del Golfo es una vasija semejante, y el Mar de Sargazo el centro del remolino". (Fig.6). Finalizando ese siglo los navegantes españoles ya tenían constancia de las muy diferentes acumulaciones mun-

Figura 7



El médico hispano-portugués Cristóbal Acosta fue el primer divulgador internacional del sargazo en este libro de 1578 (*De las drogas y medicinas de las Indias*).

Figura 8



El *Consuelo de Navegantes* (1772) de V. de Lardizaval reproducía la lámina del sargazo de Acosta, especie también denominada en la época como "lenteja marina" o "mastuerzo acuático".

diales de algas a través del libro sobre *Meteorología Náutica y Oceanografía* de los marinos militares Antonio Terry y Victoriano Suanzes (1899), aunque se continuaba sin destacar la importancia del Mar de los Sargazos "americano". Leemos en el capítulo sobre "Oceanografía dinámica": "Mares de Sargazo: cada circuito tiene su centro ocupado por una región de calmas... El más notable es el del Atlántico del Norte, entre las Azores, Canarias e islas de Cabo Verde, correspondiendo al circuito de la corriente ecuatorial y la del Golfo. Hay otro hacia los 30° de latitud en el Océano Pacífico del Norte, formado por el circuito análogo al del Atlántico. También existen al NE de Nueva Zelanda en el encuentro de la corriente de sus costas y la ártica del

S. En el Atlántico del Sur obsérvase otro al N de las Malvinas, entre la corriente del Brasil y la del Cabo de Hornos, y otro al O del Cabo de Buena Esperanza, entre la transversal y la ártica, prolongándose hasta el E".

BOTÁNICA Y MEDICINA

En el siglo XVI un médico hispano-portugués publicó en castellano la primera descripción acertada del sargazo y de su utilidad para el consumo humano y animal. Información que vio la luz en un libro editado en Burgos en 1578, y que a pesar de su título también aporta información americana: *De las drogas y medicinas de las Indias Orientales, con sus plantas dibujadas al vivo por Cristóbal Acosta que las vio ocularmente*. Su descripción, que incluye una propiedad curativa como diurético, fue copiada por autores extranjeros posteriores que generalmente no citaban la fuente original, que aquí extractamos:

"En la muy profunda y larga mar de la muy nombrada y no menos temida Vuelta del Sargazo, aparece la mar llena de esta yerba. Es de un palmo, los ramillos delgados y sin raíz. La hoja es delgada, de medio dedo en largo, estrecha y muy picada en circuito, de color no muy roja, insípida en el sabor. Cada pie de hoja tiene una simiente redonda como un grano de pimienta vana, preñada de una agua salobre. Es opinión que las corrientes que de muchas islas se vienen a meter en esta mar, arrancan esta yerba y la traen consigo. Porfiando esto un piloto de una nave, en que yo me hallé en este paraje, bajaron unos grumetes, y limpiando junto a la nave el agua, apartando de ella de estas matas, vimos muy claramente subir montones de esta yerba, pegada una con otra, del profundo de la mar, donde sondando no se halló tierra.

Esta yerba en conserva de vinagre y sal, tiene el mismo sabor del crithmum o hinojo marino. Yo la hice echar así como la sacaban del mar, a unas cabras que en la nave venían y la comían con grande gana. No he sabido de ella mas virtud, de que un marinero que en la nave venía, apasionado de la urina, comió de esta yerba cruda y cocida, diciendo que le sabía bien y a muy pocos días me afirmó que se hallaba muy bien con ella, y llevó de ella para comer en tierra".

Ilustró el texto con una lámina sobre esa especie que fue reproducida en el siglo XVIII por V. de Lardizaval, junto con la revaloración de sus propiedades terapéuticas, como veremos seguidamente. (Fig. 7)

Desde entonces esa aparente utilidad del sargazo para resolver problemas de retención de orina fue divulgada en diferentes obras francesas como *Le dictionnaire universel des arts et des sciences* y la dirigida por F. Rozier *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts*. En 1772 salió de la imprenta la citada del médico de San Sebastian Vicente de

Lardizaval (*Consuelo de Navegantes*), como ampliaremos en el siguiente apartado. (Fig.8).

Finalizando esa centuria el científico cortesano Hipólito Ruiz (1754-1816), del Real Jardín Botánico de Madrid, la identifica con el *Fucus natans* de Linneo (1753) —que según la versión española: “habita en el piélago nadando libremente y sin raíces” — y publica su primera descripción exhaustiva de la especie y de su aparente fructificación en 1798 (*De vera fuci natantis fructificatione*). Aunque con los lógicos errores que ha puntualizado F. Dosil Mancilla: “el desconocimiento en la época de la biología particular de las criptógamas le llevó a identificar los numerosos epífitos que presentaba el ejemplar con los órganos masculinos y femeninos debido al parecido de los epífitos (briozoos) con las anteras y pistilos de las fanerógamas, y a los aerocistes con las semillas”. Este mismo autor ha confirmado las recolecciones de algas marinas en las costas del norte peninsular por varios naturalistas ilustrados entre los años 1761 y 1796: los botánicos José Quer y Javier de Arízaga, y el dibujante científico José Guío Sánchez. Podemos ampliar la relación con el naturalista y comisario de marina Antonio Sañez Reguart, que comenzó recorriendo las costas de Cantabria (“de orden del conde de Floridablanca”) para inventariar las “Producciones marítimas de los mares de España”; y con el clérigo tinerfeño José de Viera y Clavijo, autor de un *Diccionario de Historia Natural de las Islas Canarias*. En éste cita varios tipos de “algas”: escaras, coralinas, cebas, ovas, fucos y sargazos o sargazos (“se cría dentro del mar, a la altura de un palmo... Según los viajeros, se encuentra una extendida pradería suya en la superficie de este mar Atlántico entre nuestras islas Canarias y las de Cabo Verde, cuya vista no deja de infundir algún pavor, pues a veces detiene los bajel en su navegación”). (Fig.9).

A finales de aquel año 1798 el mencionado Lardizaval le contestó a Ruiz, ofendido, con unas *Reflexiones apologeticas*; donde se quejaba de que le acusara de ser “plagiaro de Acosta” y de otras cuestiones menores, como que “no fijó la consideración sobre los menudísimos crustáceos y caracolillos que cubren la superficie de sus hojas”.

Los antiescorbúticos

En los años 70 de ese siglo algunos autores todavía defendían que, en las dilatadas navegaciones, la principal causa del temido escorbuto era el consumo de carnes y pescados salados, junto con unas deplorables condiciones de habitabilidad del buque. Época en la que el referido doctor V. de Lardizaval publicó un par de libros dirigidos a mantener adecuadamente la salud de los navegantes, comenzando por unas *Consideraciones político-médicas* (1769). En la siguiente mono-

Figura 9



Lámina del alga *Fucus natans* (nombre vernáculo: Sargazo) que acompaña a la descripción científica en latín de 1798 por el botánico Hipólito Ruiz.

grafía defendía la importancia del consumo del sargazo por las tripulaciones para prevenir el escorbuto o “peste de la mar”. Nos referimos a su “disertación físico-médica” titulada *Consuelo de navegantes en los estrechos conflictos de falta de ensaladas, y otros víveres frescos en las largas navegaciones. Recurso fácil al uso del sargazo, o lenteja marina, planta que se produce naturalmente en la misma mar* (1772). Por orden real del año anterior se había determinado su impresión para divulgar el uso de esa especie de alga: “expresando el modo de aderezarla para comerla, y darla también a los animales que se lleven en los navíos; advirtiéndose en el mismo tratado observen los médicos y cirujanos de ellos, si de su uso advierten en las largas navegaciones sea menos frecuente el escorbuto, y que pruebe también pueda usarse como alimento, por la virtud que tiene aperitiva”. Puede leerse más adelante:

“Las algas, el fucus y todas las demás plantas marinas convienen con el sargazo en criarse dentro de las aguas, y en ser común a todas el olor de marisco; pero se diferencian en la figura de sus hojas, que en la primera de estas plantas son largas, y de figura de una correa, y en el segundo son más anchas, a diferencia del sargazo, que las tiene menudas”. Copiamos su receta para preparar la ensalada de algas, tras dos cocciones del

Tripulantes de las corbetas de la Expedición Malaspina (1789-1794) recogiendo algas costeras en el puerto de Acapulco para utilizarlas como remedio antiescorbútico. [Sección de un cuadro de Fernando Brambila (Museo de América, Madrid)].



Figura 10

sargazo en agua, preferiblemente dulce, hasta que *“las yerbas se pongan blandas. Se sacarán entonces a un plato y se les echará encima un jugo de aceite crudo, o hervido con ajos, y la cantidad correspondiente de vinagre. Quedará de un hermoso color verde, privada enteramente del olor de marisco, y agradable al gusto”*. En la década siguiente, los documentos relativos a la dilatada expedición con la fragata de la Armada *Nuestra Señora de la Cabeza* al estrecho de Magallanes (1785-1786), queda patente como el comandante, capitán de navío Antonio de Córdoba, estableció un eficaz régimen alimentario preventivo y tomó las debidas precauciones higiénicas. Desde que atravesaron el trópico todo el personal consumía diariamente *“un buen plato de gazpacho; y con el riego frecuente de vinagre y sahumerio en los entrepuentes se logró tener la gente sana y robusta”*. En las playas americanas recolectaban *“apio silvestre o persil de Macedonia, de un gusto regularmente agradable. Por su virtud antiescorbútica se hizo de él un continuo uso y la tripulación le comía con provecho tanto en el caldero como en ensalada”*.

Por otro lado, el sargazo es la única especie de alga que incluye el vocabulario de *“plantas, aves y animales”* que publicó el coronel Antonio de Alcedo en 1789 como apéndice a su *Diccionario geográfico-histórico de las Indias Occidentales o América*. Junto con una descripción de su morfología y características recuerda sus virtudes terapéuticas:

“Planta de la especie de las Algas, que se cría dentro del mar, y crece a la altura de poco más de un palmo, no se le conoce raíz ... Sus hojas son estrechas y aserradas a la redonda, al principio de cada hoja y a su remate tiene ciertas vejiguillas huecas de la magnitud de un grano de pimienta que están llenas de agua, y se rompen con facilidad comprimiéndolas entre los dedos ... Las hojas están pegadas una a otra de tal modo, que tirando de ellas sale del fondo del mar una sarta de yerbas amontonadas ..., y el que las ve la primera vez cree que son montones de yerba arrebatadas de la corriente... Su gusto es insípido con alguna acrimonia que solo se percibe al mascarla, es diurética y antiescorbútica según

el Dr. Lardizabal, que escribió una disertación sobre esta planta”.

Sin duda contendrán mucha información sobre algas mundiales los diarios de navegación de la conocida como Expedición Malaspina (1789-1794), que como es sabido fue la última gran campaña científica ultramarina de nuestra ilustración. Recorrieron durante 62 meses el continente americano, Australia y las islas Marianas y Filipinas. Aquí nos limitaremos a recordar la preocupación que tuvo su máximo responsable, Alejandro Malaspina (1754-1810), para informarse, durante la fase de planificación, de la alimentación que fuera más saludable para el numeroso personal que debería embarcar. Meses antes de zarpar contactó con el protomédico de la Armada en Cádiz y le consultaba *“sobre los antiescorbúticos más oportunos para usarse en el dilatado viaje”*. Malaspina consideraba a *“las menestras”*, con las verduras más asequebles en los diferentes puertos, como *“el alimento más útil para la navegación”*. En su opinión eran beneficiosos los gazpachos pero temía que a la marinería (mayoritariamente *“de las costas septentrionales, en donde el aceite apenas se conoce”*) podría repugnarles su consumo habitual. Tenía una opinión favorable del vino (*“de efecto saludable, excelente digestivo y antiescorbútico”*) pero planteaba erradicar en los buques el consumo de aguardiente y pescado salado.

Entre los víveres embarcados finalmente se encontraban: coles agrias, frascos con jugos cítricos, vinagre de Cartagena, miel, cebada molida y probablemente también brócolis y coliflores en aceite. En las paradas en tierra deberían procurar adquirir *“verduras y frutas... víveres frescos”*. Las algas mantuvieron su interés como antiescorbúticas, como puede comprobarse en la imagen adjunta del artista que fue testigo de la recolección por los marineros, durante la bajamar, de las especies que encontraban sobre las rocas del litoral. (Fig.10).

Precisamente el año del regreso de esa expedición, en 1794, el médico cirujano de la Armada Antonio Corbella publicó una *Disertación médico-chirúrgica* que incluía a esa enfermedad. Ya no se recomienda a los marinos el consumo de algas en las largas travesías y comenta el autor que cuando trató en el hospital de Montevideo a la dotación completa del navío *San Pedro de Alcántara* (que llegó de arribada *“con toda su marinería y plana mayor infecta del escorbuto”*), consiguió que sanaran principalmente con una alimentación vegetariana tradicional y zumo de limón.

Tres décadas después tendría resonancia internacional la dramática situación vivida por los integrantes de la primera expedición científica de J. S. Dumont d'Urville con el buque *Astrolabe* (ex *La Coquille*), convertido en



Retrato supuesto del cosmógrafo y piloto Pedro Sarmiento de Gamboa, con la tardía publicación resultante de sus expediciones y el mapa de los hermanos García de Nodal (1618-1619), con las recién descubiertas Islas de Diego Ramirez (56° 30' S).

una “enfermería flotante” por el Pacífico, con dos tercios de la marinería gravemente enferma de escorbuto, paludismo o disentería. Afortunadamente en mayo de 1828 llegaron al puerto de Guam, en las islas Marianas, y el gobernador español José de Medinilla alojó a los oficiales en su residencia y los 39 enfermos graves ingresaron urgentemente en el hospital.

ALGAS DE OTRAS ÁREAS

A finales del siglo XVI también hallamos muchos comentarios sobre “hierbas marinas” y sus acumulaciones (“hierbazales” o “herbazales”), en las descripciones del estrecho de Magallanes realizadas por Pedro Sarmiento de Gamboa (1531?-1592), quien acabó fundando en aquel inhóspito territorio las primeras colonias españolas (1581). Por motivos políticos y geoestratégicos fue muy tardía la publicación de un libro con toda la documentación generada durante sus arriesgadas expediciones: *Viaje al estrecho de Magallanes por el capitán Pedro Sarmiento de Gamboa en los años de 1579 y 1580. Y noticia de la expedición que después hizo para poblarle* (1768, Madrid).

El contenido algológico mayoritario consiste en simples anotaciones del capitán para prevenir a otros navegantes del peligro que ocasionan las proliferaciones de algas en los fondos someros, motivo por el cual no hay ningún comentario sobre las morfologías o colores de las diferentes variedades con las que debió encontrarse. Excepcionalmente en su expedición de febrero de 1580 informa también de una especie de gran tamaño y consistencia, cuando explora con un batel del navío las cercanías del puerto de la Misericordia y puede observar la superficie del agua a muy corta distancia:

“A la vuelta hallamos muchos herbazales que con la bonanza habían sobreaguado: los sondamos y hallamos algunos de ellos peligrosos [por la poca profundidad...]; y cuando no sea tan bajo que toque el navío, es

gran peligro para los timones, que los embarazan; y son tan recias algunas ramas de estas hierbas que podrían arrancar el timón si el navío fuese con viento fresco. Por tanto, guárdense de ellas como de cualquier otro peligro”.

Está claro que estos últimos ejemplares descritos serían una de las especies de los francamente endurecidos “sargazos gigantes” propios de esas aguas australes, como veremos más abajo. (Fig.11)

Mucho tiempo después de aquellas expediciones pioneras de Sarmiento, a mediados del siglo XVIII, los marinos científicos Jorge Juan (1713-1773) y Antonio de Ulloa (1716-1795) dejaron constancia de varios mares de “sargazo” que atravesaron durante sus navegaciones por el Pacífico y Atlántico, cuando regresaban a España a bordo de las fragatas *Lys* y *Nuestra Señora de la Deliberanza*. Los resultados de su comisión científica en América se publicaron en varios tomos y fueron traducidos al francés (*Voyage historique de l’Amérique méridionale fait par ordre du roi d’Espagne*) e inglés. Las descripciones comienzan durante el periplo por las aguas de los actuales Perú y Chile:

“El día 27 [junio de 1745], estando en 17° 57’ de latitud se vio la mar cubierta de sargazo, y continuó hasta el 7 de julio, que en la latitud de 33° 31’ era ya muy poco el que se veía; pero hubo días, en que su abundancia cubría toda la superficie del agua”.

Unos diez días después, ya alejándose de las costas de Brasil, se quejan del mal estado en que se encontraba la fragata *Deliberanza*, con filtraciones de agua por las “costuras” del casco. Al atravesar las densas masas vegetales las “ramillas” del sargazo taponaban temporalmente las grietas en la madera pero dificultaban el funcionamiento de las bombas de achique. Navegaron sobre diferentes “praderas” flotantes de algas de gran extensión:

“Ya queda visto el mal estado en que salió la

Figura 12



Ediciones española y francesa de libros publicados por los marinos Jorge Juan y Antonio de Ulloa al regreso de su viaje científico por América.

de él, que salían por la bomba, cuanto porque reconocidas por la parte de afuera se encontró mucho agarrado a ellas. El día 29 volvió a acrecentarse el agua [debió disminuir la concentración de algas en superficie], y unas veces con más exceso que otras, ya disminuyendo repentinamente, o ya aumentando permaneció todo lo que duró el viaje". (Fig.12).

LA EXPEDICIÓN DE 1785-1786 AL ESTRECHO DE MAGALLANES

Un par de años después del regreso de la fragata Nuestra Señora de la Cabeza J. Vargas Ponce publicó "de orden del rey" una pormenorizada y anónima *Relación del último viaje al Estrecho de Magallanes en los años 1785 y 1786*, y noticia de los habitantes, suelo, clima y producciones del Estrecho. En el extenso libro solo encontramos una referencia al sargazo, con aplicación práctica porque de su presencia podía inferirse el origen geográfico del viento de los días anteriores en la zona: "Desde el 15 de mayo en adelante se vieron pasar manchas de sargazo del que se cría en la América Septentrional, según lo que se había examinado y las noticias de Frezier. Esta planta es distinta de la que se cría en las Canarias y costas del E, y por tanto se infirió habían reinado los vientos del Oeste".

El autor aludido era el ingeniero militar francés A. F. Frézier (1682-1773), autor de la obra *Relation du voyage de la Mer du Sud aux cotes du Chily et du Peru, fait pendant les années 1712-1714*, que también abarcó información de Brasil. Conoció el éxito editorial y tuvo varias reediciones, con la versión inglesa de 1735 suplementada por el prestigioso científico Edmund Halley.

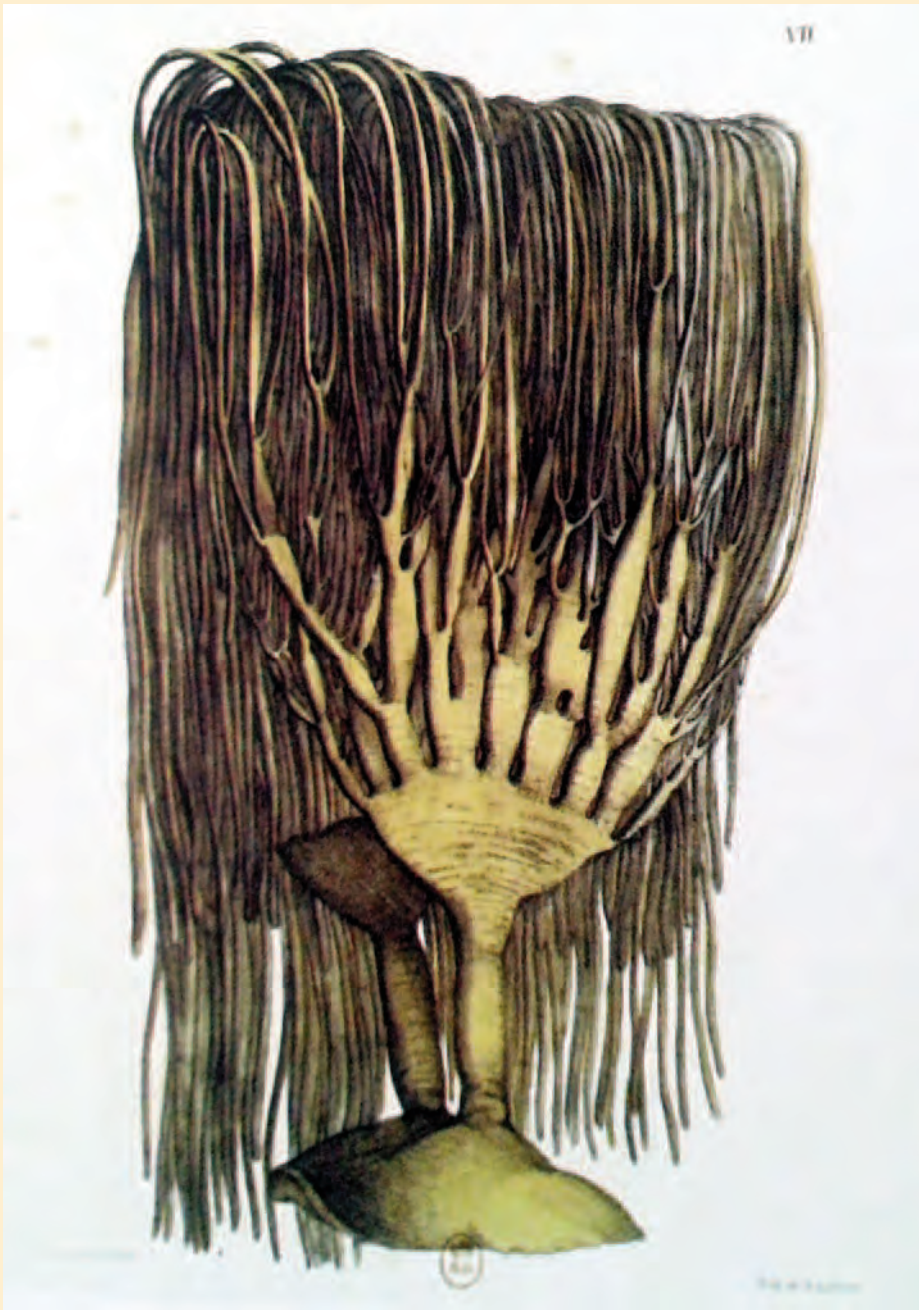
En la *Relación* española si fueron extensas las descripciones de la especie de "planta marina" conocida popularmente "por nuestros marineros" con el nombre de 'Cachiyuyo', cuyos "yerbazaes se hallan en casi todos los bajos del Estrecho de Magallanes" y de cuyo jugo se consideraba que se alimentaban muchos "mariscos" en esa frías aguas. Puntualizan más adelante: "los naturalistas que fueron con Mr. Cook en su primer viaje a la Mar del Sur la nombraron *Fucus giganteus antarcticus* por propia de este hemisferio. Su tallo se levanta hasta la superficie del agua, siendo su largo de 15 a 20 brazas; aunque dicho viajero pretende, que las hay de 60 y 70, pero en este viaje último nosotros no encontramos ninguna de tan extraordinaria longitud. Echan sus raíces en las piedras y son de color de lo demás de la planta, esto es, de un amarillo obscuro. El espesor de su tallo es de un dedo cuando mas, destila un humor mugilaginoso [sic] y baboso; de trecho en trecho se ven unas calabacitas larguitas llenas en su interior de agua, de las

Figura 13



Estampa del alga *Fucus giganteus* ("Cachiyuyo") [actual *Macrocystis pyrifera*], una de las especies descritas en la *Relación del último viaje al Estrecho de Magallanes de la fragata de S. M. Nuestra Señora de la Cabeza en los años 1785 y 1786*.

Deliberanza de la Isla de Fernando de Noroña, y en el mismo continuó hasta el día 16, en que, o ya fuese por el movimiento de el andar, o por otra causa se acrecentó tanto el agua. En esta conformidad se mantuvo, y el día 20 fue con tal extremo, que en todo el discurso de la noche no se pudo dejar de la mano la bomba; pero en el siguiente 21 se disminuyó repentinamente a casi la cuarta parte de la que había hecho el día antes, y prosiguió aminorándose, desde que entramos en el sargazo, tanto que el día 27 apenas hacía la octava parte de la que recogía el 20. Esta mutación sin duda provino de haberse llenado de sargazo las costuras, que estaban abiertas, como se verificó tanto por las ramillas



Ejemplar de *Fucus antarcticus* [actual *Durvillaea antarctica*], nueva especie recogida y descrita por Adelbert von Chamisso. Lámina VII del *Voyage pittoresque autour du monde*, de L. Choris (1822).

que toma nacimiento cada hoja, cuyo largo es de 2 a 2 1/2 pies, y de ancho por donde mas de 4 a 5 pulgadas, remata en punta y es su figura como la de una almendra muy puntiaguda. Estas hojas no son lisas en su superficie, sino vistosamente dibujadas con líneas longitudinales y algo realzadas, tanto, que vistas a distancia se parecen a las cintas de aguas. Cada raíz echa cinco o seis de estas ramas, y tan juntas las unas de las otras, que muchas veces cubren enteramente un gran espacio de mar, y tan espesas que con suma dificultad puede pasar un bote por encima. La vista de esta planta indica siempre un fondo de piedra y así debe evitarse cuando lo permitan las circunstancias el navegar en sus inmediaciones. En muchos parajes se hallan montones flotantes, que la marejada y fuerza de los vientos ha

desgajado de sus raíces, y de ellas están llenas por lo común las playas de todo el Estrecho".

Entre aquellos antiguos "sargazos gigantes" australes, los fucólogos del siglo XXI distinguen dos especies aparentemente similares para los neófitos pero claramente separables a nivel taxonómico: el *Fucus giganteus* [actual *Macrocystis pyrifera*: 'cachiyuyo' o 'sargazo gigante'], explotado comercialmente en Baja California] y el *Fucus antarcticus* [*Durvillaea antarctica*: 'cochayuyo', 'cochajugo']. De ésta incluimos una estampa extraída de la obra de Louis Choris (1822): *Voyage pittoresque autour du monde, avec des portraits de sauvages... et plusieurs objets d'Histoire naturelle*, dedicada al "emperador de todas las Rusias". Se trata de la primera descripción científica de la

especie por el botánico y poeta franco-alemán Adelbert von Chamisso. (Fig.14).

LA PROSPECCIÓN PACÍFICA DE LAS GOLETAS SUTIL Y MEXICANA (1792)

Como en aquella época aun se consideraba la posibilidad de encontrar el legendario Paso del Noroeste que comunicaba los océanos Atlántico y Pacífico, se determinó explorar a fondo aquel año el estrecho de Juan de Fuca para comprobar si era una de las entradas. En 1802 se publicaría, “de orden del rey”, la *Relación del viaje hecho por las goletas Sutil y Mexicana en el año de 1792 para reconocer el Estrecho de Fuca*. (Fig. 15)

En su derrota desde el Norte penetraron en dicho Estrecho, que es el mayor canal natural de todo el Pacífico americano y por cuyas aguas discurre la vigente línea fronteriza entre EEUU y Canadá. Anotaron la presencia de “sargazo” en varios enclaves y en uno de ellos fueron recibidos amigablemente por los nativos: en Punta de Lángara, a poca distancia de la actual ciudad de Vancouver, la más poblada de la Columbia o Colombia Británica. Seleccionamos los párrafos más interesantes sobre el asunto:

Hasta las 11 siguió la calma: las corrientes nos respaldaron para dentro del Estrecho como una legua; vimos mucho escarceo producido por ellas. Luego que nos acercamos notamos sobre la costa del N. matas de la yerba marina que conocen los navegantes bajo el nombre de sargazo. Sondamos en el escarceo, y hallamos treinta y dos brazas de fondo. El marinero acostumbrado a navegar cerca de costas no ignora que esta planta

es las más veces señal de poco fondo, y que los escarceos del agua lo son también en general, formándolos las corrientes al chocar con el obstáculo que se les presenta: nosotros lo hemos verificado varias veces por nuestra propia experiencia [...]. A las cuatro de la tarde avistamos el Puerto de Núñez Gaona [hoy Neah Bay] y el comandante de la corbeta Princesa nos confirmó en la idea de que la Costa O. era sucia como lo indicaba el sargazo: la dejamos perdiendo barlovento.

[...] Salieron de la parte SO. de la Punta de Lángara siete canoas medianas de indios, los mas pintados de diversos colores, que se dirigieron a las goletas [...]. Traían unos cestos con arpones de piedra, puntas de fisgas, cuerdas de sargazo, y otros instrumentos y útiles para la pesca. Cuando atracaron a bordo regalaron inmediatamente un salmón sin mostrar que esperaban recompensa.(Fig. 16 , arriba).

Muchas millas más al sur, en aguas californianas de suficiente fondo anotaron: “Pasamos cerca de la Punta de San Diego, por encima del sargazo que la circunda”. (Fig. 16, abajo).

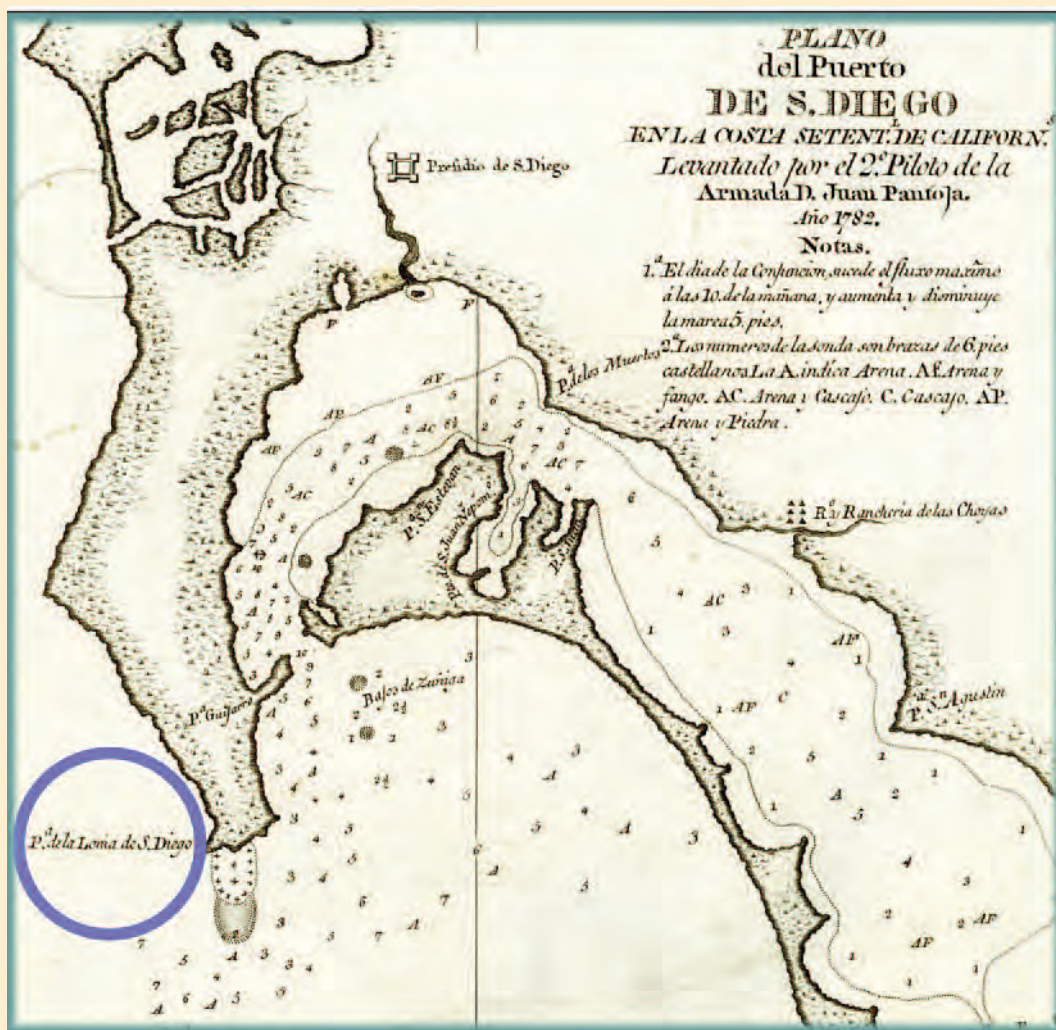
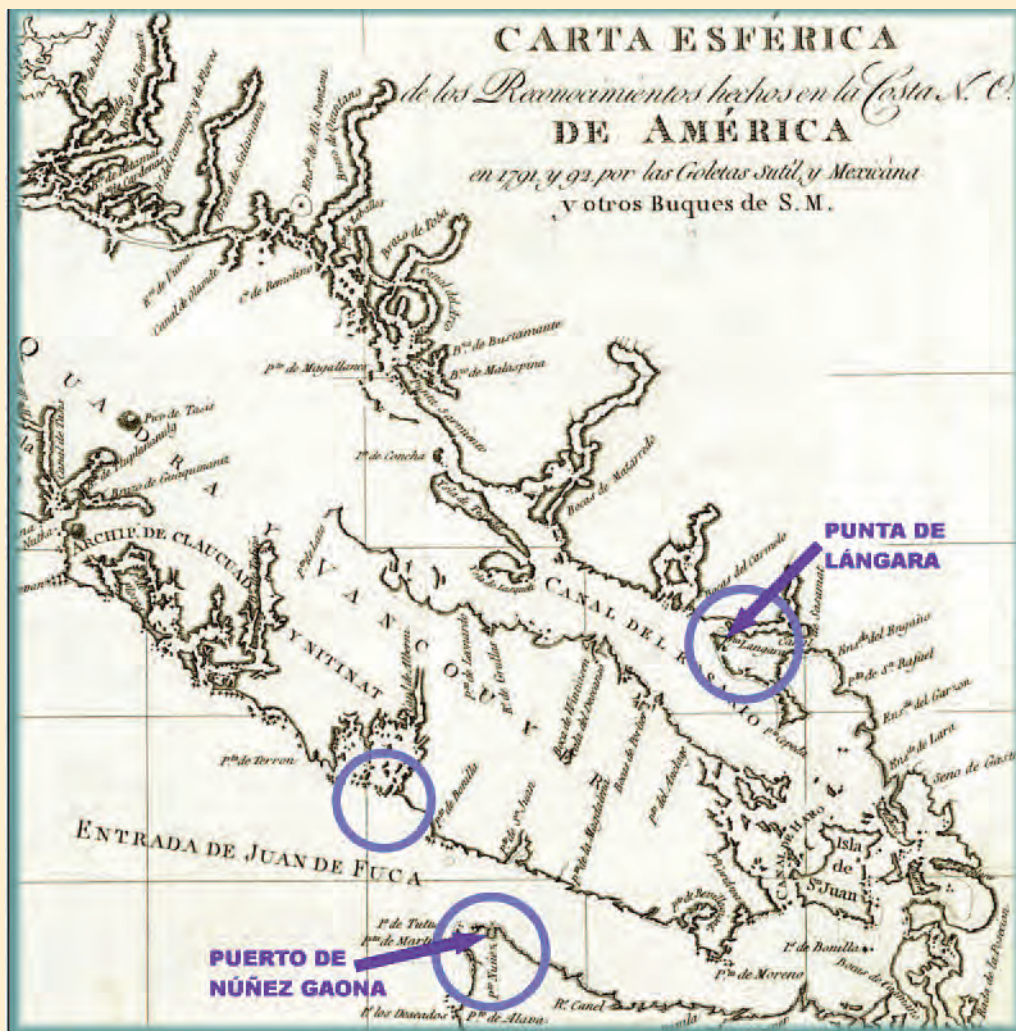
Finalicemos con las esperanzas puestas en el desarrollo internacional de la denominada *Declaración de Hamilton*, firmada en las islas Bermudas (11/3/2014), que impulsa la colaboración intergubernamental para proteger el ecosistema oceánico único del Mar de los Sargazos (área americana) al que por su alta biodiversidad lo consideran como “*The golden floating rainforest of the Atlantic*”. Es un acuerdo no vinculante que firmaron inicialmente cinco gobiernos (de las islas Azores y Bermudas, Mónaco, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y EEUU), y desde agosto de aquel año cuenta con un grupo científico de trabajo específico (*Sargasso Sea Commission*), que aunque no tiene autoridad de gestión ha recibido “el mandato para ejercer una función de custodia del Mar de los Sargazos y mantener su salud, productividad y resiliencia en examen continuo y elaborar un programa de trabajo y planes de acción para su conservación”, esfuerzos que también deben abarcar los fondos marinos del área.

El completo informe *The Protection and Management of the Sargasso Sea* (2011) está disponible en <http://www.sargassoseacommission.org>

Figura 15



Las goletas Sutil y Mexicana en el Pacífico N y portada del libro resultante de su expedición de 1792 al Estrecho de Juan de Fuca [Archivo del Museo Naval, Madrid].



Sectores de cartas náuticas españolas del Pacífico incluidas en el Atlas publicado como complemento a la Relación del Viaje de las goletas. Corresponden al septentrional estrecho de Fuca (izquierda) y al meridional Puerto de San Diego, California. Con los círculos azules ubicamos los avistamientos de "sargazo" de esa expedición que citamos en el texto. En esas cartas náuticas las letras indicativas de la naturaleza del fondo aún no mostraban la presencia de algas, limitándose a la información más útil para poder elegir los mejores puntos para largar el ancla: junto a la profundidad (en brazas de 6 pies castellanos), se indica la presencia de arena (A), cascajo (C), fango (F) y piedra (P), en sus variadas combinaciones.

EL PRIMER BUQUE OCEANOGRÁFICO DE ANDALUCÍA

SE TRATA DEL *UCADIZ*, UNA EMBARCACIÓN, PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD DE CÁDIZ Y CEI·MAR

TRAS CINCO MESES de intenso trabajo en los astilleros Pecci de Barbate, el pasado mes de enero se dio por finalizada la transformación de un antiguo barco pesquero en el primer buque oceanográfico con el que cuenta una universidad española.

El *UCADIZ*, con 25 metros de eslora y 7,5 manga, reforzará las infraestructuras científicas de la Universidad de Cádiz y del CEI·Mar y se pondrá inmediatamente a disposición de la comunidad científica del Campus para avanzar en los trabajos de investigación en distintos ámbitos como la oceanografía, la arqueología náutica y subacuática, la gestión del agua y del



mar. Al mismo tiempo, constituirá un recurso de grandes prestaciones para la docencia de grados y másteres especializados en los estudios marinos y marítimos que se imparten en la actualidad en el mismo.

En su reforma, con un coste total estimado de cinco millones de euros, han sido empleados un centenar de operarios directos y una veintena de empresas auxiliares de la provincia, que han redistribuido las áreas internas del buque en cuatro espacios: un área de trabajo y de habitabilidad de la tripulación y científicos; una sala de máquinas e instalación eléctrica; el puente de gobierno y la zona para equipamiento científico básico, con capacidad para estudios en diversas zonas marinas.

De este modo, el *UCADIZ* contará con laboratorio seco y húmedo para campañas oceanográficas, equipamiento de puente integrado de navegación con instalación de radares ARPA, sistema de presentación de cartas electrónicas (ECDIS), pantalla de información de datos de navegación, sistema de gobierno (Giroscópica / Piloto Automático), receptor GPS / DGPS, panel de alarmas, sonda, corredera, equipo de viento y consola de radio GMDSS en sus diferentes versiones y áreas de cobertura.

Además, su equipamiento científico incluye, entre otras dotaciones, sonda CTD con cable oceanográfico, sonda CTC multiparamétrica auto-contenida para aguas someras, salinómetro portasal, perfiladores de corriente de 75 kHz y 600 kHz, termosalinógrafo, fluorímetro, estación meteorológica, CTD ondulante con sensores de oxígeno y turbidez, un avanzado sistema de cámara fotográfica profunda para cable electromecánico con sensores auxiliares o un novedoso vehículo submarino operado desde el buque (ROV).



FICHA TÉCNICA

CARACTERÍSTICAS:

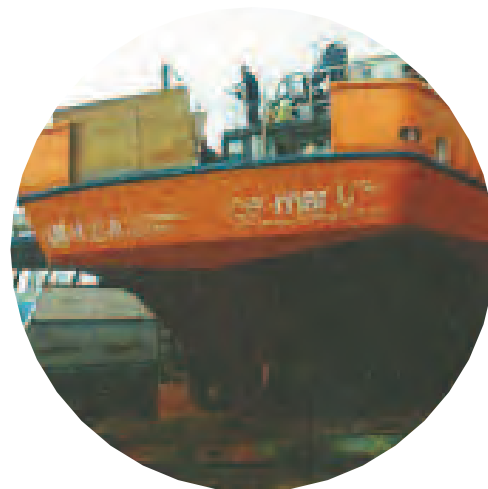
- Eslora: 25 m
- Manga: 7,5 m
- Desplazamiento: 160 toneladas.
- Capacidad de embarque: 17 personas (5 tripulación + 12 científicos)
- Laboratorio húmedo: 30 m²
- Laboratorio seco: 50 m²
- Autonomía máxima: 10 días

MAQUINARIA HIDRÁULICA

- Grúa de 8 m. (800 Kg. a 8 m)
- Pórtico de Popa (ancho: 4.5 m. - alto : 6 m.) con chigre con 1500 m. de cable.
- Pórtico de estribor (ancho 2,5m.-alto: 3,5 m) con chigre con 1500 m.
- Compresor de alta presión para carga de botellas de buceo.
- Compresor de baja presión.

EQUIPAMIENTO OCEANOGRÁFICO

- Sonda multiparamétrica SEABIRD 19 con sensores CTD, fluorescencia, oxígeno disuelto, turbidímetro) con roseta para doce botellas de 12 litros.
- Sonda multihaz SIMRAD EM2040
- Perfilador de corriente de casco flowquest de 75 kh.
- Termosalinómetro
- PCO2
- Equipo de producción de agua destilada.
- Salinómetro portasal
- Ctd ondulante.



PUBLICACIONES

Libros relacionados con la oceanografía

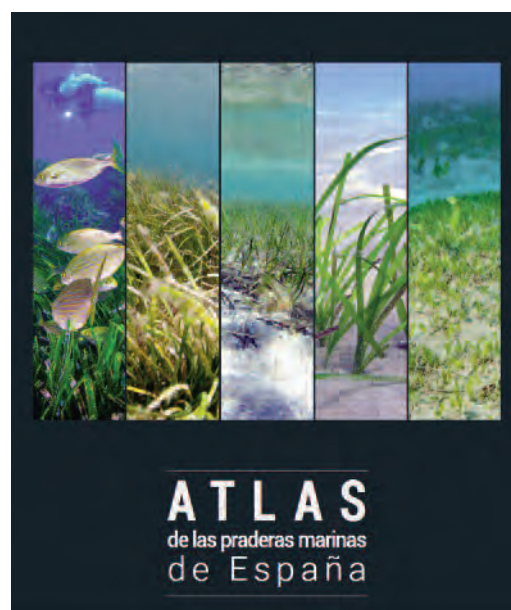
ATLAS PRADERAS MARINAS

El *Atlas de las praderas marinas de España*, la primera obra de ámbito nacional publicada sobre la distribución y el estado ecológico de los bosques sumergidos de nuestras costas, ya puede descargarse íntegro y de forma gratuita en la web del IEO.

Se trata de una obra colectiva en la que han participado 84 expertos, procedentes de todas las comunidades autónomas costeras, miembros de las instituciones científicas y administraciones que, durante los últimos 40 años, han estado implicados en el estudio, gestión y protección de estos valiosos hábitats marinos. El Atlas ha sido promovido y coordinado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Instituto de Ecología Litoral (IEL), contribuyendo a su financiación la Fundación Biodiversidad.

Para descargar pincha aquí:

<http://www.ieo.es/documents/10192/26809/Atlas-praderas-marinas-de-Es-pa%C3%B1a-244-1.pdf/ee4e0dd6-e30c-443e-a6dd-14cc445068ad>



GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE PARALARVAS DE CEFALÓPODOS DEL MEDITERRÁNEO

Investigadores del Centro Oceanográfico de Baleares del Instituto Español de Oceanografía (IEO), en colaboración con el *Departamento do Mar del Instituto Português do Mar e da Atmosfera* (IPMA), han publicado en la revista *ICES Cooperative Research Reports* una guía de identificación de larvas y juveniles de cefalópodos (pulpos, calamares y sepias) para el Mar Mediterráneo.

Esta guía es el resultado de la recopilación de la información taxonómica actualmente disponible de los primeros estadios de vida de un total de 53 especies de pulpos, sepias y calamares presentes en el Mediterráneo. La única guía que se encontraba disponible hasta ahora se publicó hace más de 20 años y desde entonces ha ido apareciendo información taxonómica valiosa, aunque de manera fragmentaria, en diferentes fuentes (revistas científicas, literatura gris, páginas web). Se hacía necesaria, por tanto, una recopilación de dicha información con el fin de actualizar los conocimientos actualmente disponibles. La guía incorpora material gráfico inédito de las muestras analizadas por los autores del trabajo.

Para descargar pincha aquí:

[http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Cooperative%20Research%20Report%20\(CRR\)/crr324/CRR%20324.pdf](http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Cooperative%20Research%20Report%20(CRR)/crr324/CRR%20324.pdf)





SEDE CENTRAL Y DIRECCIÓN

Corazón de María, 8.
28002 Madrid
Teléfono 91 342 11 00
Fax 91 597 47 70
Web: www.ieo.es

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE GIJÓN

Camino del Arbeyal, s/n
33212 Gijón (Asturias)
Teléfono +34 985 308 672
Fax +34 985 326 277
E-mail: ieo.gijon@gi.ieo.es

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE SANTANDER

Promontorio San Martín, s/n
Apdo. 240. 39080 Santander
Teléfono +34 942 291 060
Fax +34 942 275 072
E-mail: ieosantander@st.ieo.es

PLANTA EXPERIMENTAL
DE CULTIVOS MARINOS DE
SANTANDER
Barrio Bolao, s/n

El Bocal-Monte. 39012 Santander
Teléfono +34 942 321 513
Fax +34 942 323 486

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE A CORUÑA

Muelle de las Ánimas, s/n
Apdo. 130. 15001 A Coruña
Teléfono +34 981 205 362
Fax +34 981 229 077
E-mail: ieo.coruna@co.ieo.es

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE CANARIAS

Vía Espaldón, dársena pesquera,
Parcela 8
38180 Santa Cruz de Tenerife
Teléfonos +34 922 549 400
Fax 922 549 554
Email: coc@ca.ieo.es

PLANTA EXPERIMENTAL DE
CULTIVOS MARINOS DE
CANARIAS
Dársena Pesquera s/n
Carretera de San Andrés
Apdo. 1373
38120 Santa Cruz de Tenerife

Tel. +34 922 549 400
Fax +34 922 549 554

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE MÁLAGA

Puerto Pesquero, s/n
Apdo. 285
29640 Fuengirola
(Málaga)
Teléfono +34 952 476 955
Fax +34 952 463 808
E-mail: ieomalaga@ma.ieo.es

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE CÁDIZ

Puerto pesquero,
Muelle de Levante, s/n,
11006 Cádiz
Tfno: 956294189
Fax: 956294232

CENTRO OCEANOGRÁFICO Y PLANTA EXPERIMENTAL DE CULTIVOS DE VIGO

Subida a Radio Faro, 50-52
Cabo Estay, Canido
36390 Vigo
Tel: +34 986 492 111
Fax: +34 986 498 626

E-mail: ieovigo@vi.ieo.es

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE MURCIA

Magallanes, 2 - Apdo. 22
30740 San Pedro del Pinatar
(Murcia)
Teléfono +34 968 180 500
Fax +34 968 184 441
E-mail: comurcia@mu.ieo.es

PLANTA EXPERIMENTAL
DE CULTIVOS MARINOS
DE MURCIA

Ctra. de la Azohía, s/n
Apdo. 22 30860
Puerto de Mazarrón (Murcia)
Teléfono +34 968 153 159
Fax +34 968 153 934

CENTRO OCEANOGRÁFICO DE BALEARES

Muelle de Poniente, s/n
Apdo. 291
07015 Palma de Mallorca
Teléfono + 34 971 401 561
Fax + 34 971 404 945
E-mail: cobieo@ba.ieo.es



Muchos textos e imágenes aparecidos en esta revista pueden ser reproducidos o utilizados de forma gratuita por los medios de comunicación. Para ello, debe solicitarse la cesión de derechos al correo electrónico revistaieo@md.ieo.es indicando el uso que se va a dar al material. La autorización será concedida de inmediato, sin más exigencias que citar la fuente y, en el caso de artículos o fotos con firma, citando fuente y autor. En muchos casos el Instituto Español de Oceanografía (IEO) tiene información más amplia sobre los temas publicados, tanto escrita como gráfica, que está a disposición de periodistas y medios de comunicación.



REVISTA DEL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO)
Corazón de María nº 8
28002 Madrid, ESPAÑA
Tel.: 913 421 100 Fax: 915 974 770
www.ieo.es