

# UN MAR DE DATOS

QUÉ SABEMOS DEL OCÉANO TRAS  
LA EXPEDICIÓN MALASPINA 2010

[WWW.EXPEDICIONMALASPINA.ES](http://WWW.EXPEDICIONMALASPINA.ES)

**COORDINACIÓN GENERAL** CSIC - Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica **DIRECCIÓN** Pilar Tigera **COMISARIA TÉCNICA** Laura Llera Aranzaz **EQUIPO VACC** Eduardo Actis Monserrat, Belén Macías Marín **COMISARIADO CIENTÍFICO** Susana Agustí, Jordi Dachs, Carlos M. Duarte, Fidel Echevarría, Eugenio Fraile, Andrés Galera, Pep Gasol, Xabier Irigoyen, Xavier Niell, Rafael Simó **TEXTOS E INFORMACIÓN ADICIONAL** Silvia Acinas, X. Anton A. Salgado, Verónica Benítez, Andrés Cárdenas, M. Carmen Fernández Pinos, Francisco José González, Ainhoa Goñi, Pepa Hernández, Eva Mayol, Ramón Morales, José María Moreno, Enrique Moreno Ostos, Carles Pelejero, Pablo Sánchez, Marta Sebastián **IMÁGENES** FOTOGRAFÍAS Txetxu Arrieta, Santos Casado, Joan Costa, Andrés Cárdenas, Marta Estrada, Ana Fernández, M. Carmen Fernández Pinos, Irene Forn, Belén González Gaya, Nacho González-Gordillo, Ángel López Sanz, Eva Mayol, Mar Nieto-Cid, Pablo Sánchez **ILUSTRACIONES** Miquel Alcaraz, Andrés Cárdenas, Jamie Hawk **IMÁGENES HISTÓRICAS DIGITALIZADAS** Archivo y Biblioteca del Museo Naval de Madrid, Real Observatorio de la Armada **DISEÑO Y MAQUETACIÓN** underbau **IMAGEN PRINCIPAL** JOAN COSTA/CSIC



## ¿QUIÉN FUE ALEJANDRO MALASPINA?

El proyecto actual debe su nombre al **capitán de fragata** de la Armada Española Alejandro Malaspina (1754-1810), de origen italiano. A finales del siglo XVIII, Malaspina dirigió la primera expedición española de carácter global con fines científicos (1789-1794), al mando de las corbetas *Descubierta* y *Atrevida*. **La Expedición Malaspina 2010 conmemora los 200 años de su muerte.**

IMAGEN Retrato de Alejandro Malaspina con uniforme de Brigadier de la Real Armada. MUSEO NAVAL DE MADRID (MNM-1637).



IMAGEN PRINCIPAL Ruta o derrota de la Expedición Malaspina (2010-2011). En líneas continuas, las etapas realizadas por el buque oceanográfico *Hespérides*, y en líneas discontinuas, las etapas del *Sarmiento de Gamboa*.

I

# LA EXPEDICIÓN MALASPINA DEL SIGLO XXI

El 15 de diciembre de 2010, más de **250 investigadores e investigadoras** a bordo de los buques de investigación oceanográfica ***Hespérides*** y ***Sarmiento de Gamboa*** iniciaron una Expedición que los llevó a recorrer el mundo, en diferentes etapas (o legs), durante nueve meses. El objetivo: conocer el impacto del **cambio global en el océano** y explorar su **biodiversidad**, especialmente en el **océano profundo**.

La Expedición Malaspina, que aunó la investigación científica con la formación de jóvenes investigadores, además del **fomento de las ciencias marinas** y la cultura científica en la sociedad, forma parte de un proyecto más amplio perteneciente al Programa Consolider-Ingenio 2010 y desarrollado entre 2009 y 2014.

De carácter interdisciplinar y liderado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el

proyecto se realizó en estrecha colaboración con la Armada Española, así como con la Fundación BBVA.

En esta exposición se muestran **algunos de los hallazgos más importantes** alcanzados hasta el cierre del proyecto, a partir de las miles de muestras recogidas y las investigaciones realizadas hasta el momento. Otros muchos resultados seguirán produciéndose en los próximos años.

+ 700

PERSONAS IMPLICADAS  
EN LA EXPEDICIÓN

Entre ellas 400 investigadores de todo el mundo, más de medio centenar de técnicos, un centenar de efectivos de la Armada y 40 marinos civiles.

+ 42.000

MILLAS NÁUTICAS

Lo que equivale a 75.000 kilómetros (es decir, casi dos veces el perímetro de la Tierra) recorridos por los buques *Hespérides* (32.000) y *Sarmiento de Gamboa* (10.000).

~ 200.000

MUESTRAS DE LA ATMÓSFERA,  
AGUA, GASES Y PLANCTON

Una parte de ellas se integrará en la Colección Malaspina.

250

INVESTIGADORES  
E INVESTIGADORAS  
ESPAÑOLES

313

PUNTOS MUESTREADOS  
DURANTE LA EXPEDICIÓN

Con profundidades de hasta 6.000 metros.

6.000

GIGABYTES DE  
DATOS RECOPILADOS

27

GRUPOS DE  
INVESTIGACIÓN

Pertenecientes a 19 instituciones españolas, entre ellas el CSIC y la Armada, y 19 organismos asociados, tres de ellos españoles y 16 extranjeros.

3.000

HORAS DE MANIOBRAS

En las que se desplegaron más de 2.000 kilómetros de cables oceanográficos.

+ 80

ESTUDIANTES DE  
DOCTORADO Y MÁSTER

Se han formado en el seno del proyecto.



II

EL PROYECTO  
MALASPINA 2010  
EN CIFRAS



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD

CONSEJO  
SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

CSIC  
Consolider



Fundación BBVA

MALASPINA 2010



## 59 BOYAS DE OBSERVACIÓN

se desplegaron por el océano para analizar durante tres años las características del agua y describir la dinámica de las masas de agua. Estas boyas indican vía satélite su posición, así como información de la salinidad y temperatura, entre otros valores.

IMAGEN JOAN COSTA/CSIC



## LABORATORIOS MUY EQUIPADOS A BORDO

Los buques *Hespérides* y *Sarmiento de Gamboa* cuentan con amplios equipamientos de investigación científica, como cámaras termorreguladas, arcones de ultracongelación (hasta -80 °C), estufas de cultivos, hornos de desecación, microscopios, etc.

IMAGEN SANTOS CASADO



## LOS RADIÓMETROS

Los espectroradiómetros son instrumentos utilizados para medir la penetración de la radiación solar en el océano.

IMAGEN SANTOS CASADO



IMAGEN PRINCIPAL Momento de inmersión de la roseta-CTD en aguas oceánicas para la obtención de muestras a gran profundidad. JOAN COSTA/CSIC

III

# INSTRUMENTACIÓN EN LOS BUQUES OCEANOGRÁFICOS

La Expedición Malaspina ha requerido el uso de **múltiples y variados instrumentos** para recoger, observar, medir, analizar y evaluar las características del entorno marino.

Se han empleado **sistemas acústicos** para conocer, por ejemplo, la profundidad de los océanos, el subsuelo marino o la abundancia de organismos vivos; equipos de **muestreo atmosférico** para observar los diversos contaminantes y organismos presentes en el aire, así como diversos sistemas de **muestreo biológico**. Entre ellos destaca especialmente

la **roseta-CTD**, como uno de los instrumentos más completos y utilizados en la campaña.

La **roseta** puede descender hasta los **6.800 metros de profundidad** y analizar en un solo lance múltiples características de la columna de agua. Es capaz de recoger hasta 24 muestras de agua de mar de diversas profundidades. Contiene sensores de diversos tipos y puede **medir propiedades físicas, químicas y biológicas**, como la salinidad, la temperatura, el oxígeno, el pH, los nutrientes, la clorofila, la turbidez, etc. Aparte, se pueden añadir a

la roseta otros equipos de medición, como cámaras de filmación submarinas o contadores de plancton.

Como **equipamiento novedoso** a bordo de un buque oceanográfico cabe destacar el uso de **espectrómetros** de masas para el análisis de sustancias disueltas en el agua, un espectrómetro de radiación solar para medir la química atmosférica, así como un nuevo instrumento para el muestreo cuantitativo del plancton profundo: la **BottleNet**.

## INVIERNOS EN LISBOA Y NUEVA YORK

El flujo de calor que se desplaza hacia el norte en la 'cinta transportadora' oceánica entre Canarias y Florida afecta al clima europeo, de modo que **el invierno en Lisboa es más templado que el de Nueva York**, aunque estén en la misma latitud. Además, una variación de la temperatura de una superficie tan extensa del planeta puede afectar a toda la Tierra. Estudiar y controlar esta zona del océano es vital para el clima terrestre.

## COMO MEDIO MILLÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS

La cantidad de **calor que el océano transfiere a la atmósfera** a lo largo del paralelo 24,5º Norte es el equivalente al generado por medio millón de centrales eléctricas trabajando de manera conjunta **durante todo un año** (un petavatio o mil billones de vatios).



IV

## LA 'CINTA TRANSPORTADORA' DEL CALOR DEL PLANETA

Los océanos desempeñan un papel crucial en el clima del planeta. Así, la **circulación meridional del Atlántico Norte** transporta las aguas cálidas superficiales hacia el norte y las aguas frías profundas hacia el sur. Esta 'cinta transportadora' es clave para el sistema climático, dado que facilita la **redistribución global del calor**, el agua dulce y el dióxido de carbono. De ahí que detectar los cambios en la circulación meridional sea **esencial para entender las variaciones del clima en la Tierra**.

En concreto, la **franja oceánica atlántica entre Canarias y Florida** es la más importante para el clima europeo, dado que por esa zona se produce el mayor transporte de calor desde el océano a la atmósfera. Es natural, por tanto, que ese sector atlántico, el **paralelo 24,5º Norte**, haya interesado especialmente a los científicos desde hace tiempo y que en el último medio siglo se hayan realizado allí hasta seis campañas oceanográficas. El **bueque oceanográfico Sarmiento de Gamboa** realizó la séptima dentro de la Expedición Malaspina: navegó durante **52 días a lo largo de este paralelo**, desde Las Palmas de Gran Canaria hasta Santo Domingo.

Las mediciones realizadas confirman una **ralentización de la velocidad** de la circulación meridional del Atlántico Norte en el paralelo recorrido. No obstante, al darse al mismo tiempo un **aumento significativo de la temperatura del océano** en esa latitud debido al cambio climático, el transporte de calor hacia altas latitudes se mantiene prácticamente invariable con respecto a 1992, cuando se realizaron las últimas medidas.



## DEL MAR MUERTO A LA ANTÁRTIDA

La salinidad del agua puede variar mucho entre diferentes mares u océanos. El **mar Muerto**, por ejemplo, que está bastante aislado y en el cual hay mucha evaporación, es once veces más salado que el océano promedio. En cambio, en la **Antártida** la salinidad es muy baja, debido en parte a la dilución de las masas de hielo.

**IMAGEN** Boyas empleadas para medir la salinidad superficial del océano.  
JOAN COSTA/CSIC

V

## LA SAL QUE SE VE DESDE EL ESPACIO

Es sabido que el agua que conforma los mares y océanos se caracteriza por tener un alto contenido de sales disueltas. La salinidad es la propiedad físico-química que pretende expresar la concentración total de iones disueltos en agua.

La Expedición Malaspina permitió desplegar una **veintena de boyas a la deriva** para que el **satélite SMOS** de la Agencia Espacial Europea (ESA) pudiera registrar la salinidad superficial en distintos

océanos. Estas boyas fueron diseñadas para medir la salinidad a pocos centímetros de la superficie durante varios meses. De este modo, se pudieron corregir los algoritmos de medida del satélite con el objetivo de cuantificar, por primera vez, la **salinidad superficial del océano a escala global**.

La concentración de sales en el mar presenta **variaciones espaciales** que responden sobre todo a procesos de evaporación, precipitación

y mezcla y, en menor medida, a la descarga de ríos y el congelamiento/descongelamiento de los hielos polares. La salinidad influye en el ecosistema marino y constituye un indicador del estado del ciclo hidrológico, lo que repercute directamente sobre la circulación oceánica y la distribución de calor del océano. Por este motivo, la salinidad superficial del océano está considerada como uno de los parámetros **clave para entender el clima de la Tierra**.

# 30%

## MÁS DE ACIDEZ DESDE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La **acidez promedio** del océano superficial se ha incrementado en un 30% desde el comienzo de la revolución industrial. Este **incremento es 100 veces más rápido** que cualquier cambio experimentado de forma global durante al menos los últimos 50 millones de años. Los efectos perjudiciales solo podrán ser evitados si se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**IMAGEN PRINCIPAL** Los corales son unos de los organismos calcáreos que pueden sufrir las consecuencias negativas de la progresiva acidificación del océano. En la imagen principal, un ejemplar de *Astroides calyculus*. ÁNGEL LÓPEZ SANZ/ICM-CSIC  
**DERECHA** *Corallium rubrum*. ÁNGEL LÓPEZ SANZ/ICM-CSIC



VI

## OCÉANOS MÁS ÁCIDOS

Los océanos están experimentando un **descenso del pH del agua** a causa de la absorción de una parte del dióxido de carbono que emitimos los humanos a la atmósfera. Esta acidificación, a su vez, provoca una disminución progresiva de la capacidad del océano de absorber más CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo que cada vez será más difícil estabilizar las concentraciones de este gas de efecto invernadero.

Las mediciones realizadas durante la Expedición Malaspina en el Atlántico Norte Subtropical muestran que **dicha acidificación ha penetrado ya en las profundidades oceánicas** y es perceptible hasta los 1.000 metros de profundidad, lo que coincide con lo que se venía observando durante las últimas décadas en los observatorios oceánicos de Canarias y Bermudas.

El hecho de que el agua de los océanos sea cada vez más ácida puede tener **consecuencias negativas para la biodiversidad**, especialmente para los organismos que construyen estructuras de carbonato (corales, moluscos, crustáceos, erizos de mar, algunas microalgas), e incluso para la protección de las costas y la seguridad alimentaria.



## CUANTO MÁS VIEJA EL AGUA, MÁS AMARILLA

La concentración de sustancias húmicas marinas (moléculas fluorescentes) aumenta progresivamente desde el **Atlántico Norte**, donde están las aguas profundas más jóvenes, hasta el **Pacífico Norte**, donde se encuentran las más envejecidas. Cuanto más 'vieja' es un agua, más ha sido utilizada por las bacterias que viven en ella y, por tanto, más productos de desecho fruto de la descomposición microbiana presentará.

**IMAGEN** Cuando se concentra materia orgánica disuelta en el mar, ésta adquiere una tonalidad amarilla característica de las sustancias húmicas, también llamadas por ello *yellow substances* en la literatura científica anglosajona. MAR NIETO-CID



**IMAGEN PRINCIPAL** Extracto de materia orgánica disuelta compuesta en gran parte por sustancias húmicas. La muestra fue tomada durante la Expedición Malaspina en el océano Pacífico a una profundidad de 2.000 metros. MAR NIETO-CID

VII

## DESECHOS FLUORESCENTES EN EL OCÉANO PROFUNDO

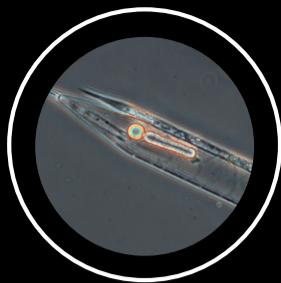
Los océanos albergan unos **700.000 millones de toneladas de carbono orgánico**, una cantidad equivalente al carbono acumulado en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera. El 95% de este carbono orgánico está disuelto en forma de cientos de miles de sustancias, aunque en tan bajas concentraciones que dificultan su estudio químico. La mayor parte de este carbono orgánico es un **subproducto de la actividad de los microbios que habitan el océano profundo** y

persiste en los océanos entre décadas y miles de años. Por eso, podría representar un mecanismo efectivo de secuestro del  $\text{CO}_2$  generado por la actividad humana, aún por cuantificar.

Entre los productos de desecho resultantes de la actividad microbiana están las llamadas **sustancias húmicas**, complejas **moléculas aromáticas fluorescentes**. La Expedición Malaspina ha brindado la oportunidad de censar la presencia

de estas sustancias en el océano profundo a escala global y de cuantificar, por primera vez, **que persisten en los océanos entre 400 y 600 años**.

Las sustancias húmicas disueltas en el océano pueden ser de **origen terrestre** (producidas en tierra y transportadas al mar por los ríos) o **marino** (producidas en el mar), y se distinguen fácilmente porque 'brillan' de distinta manera. Para detectar estas sustancias se utiliza la espectroscopía de fluorescencia.



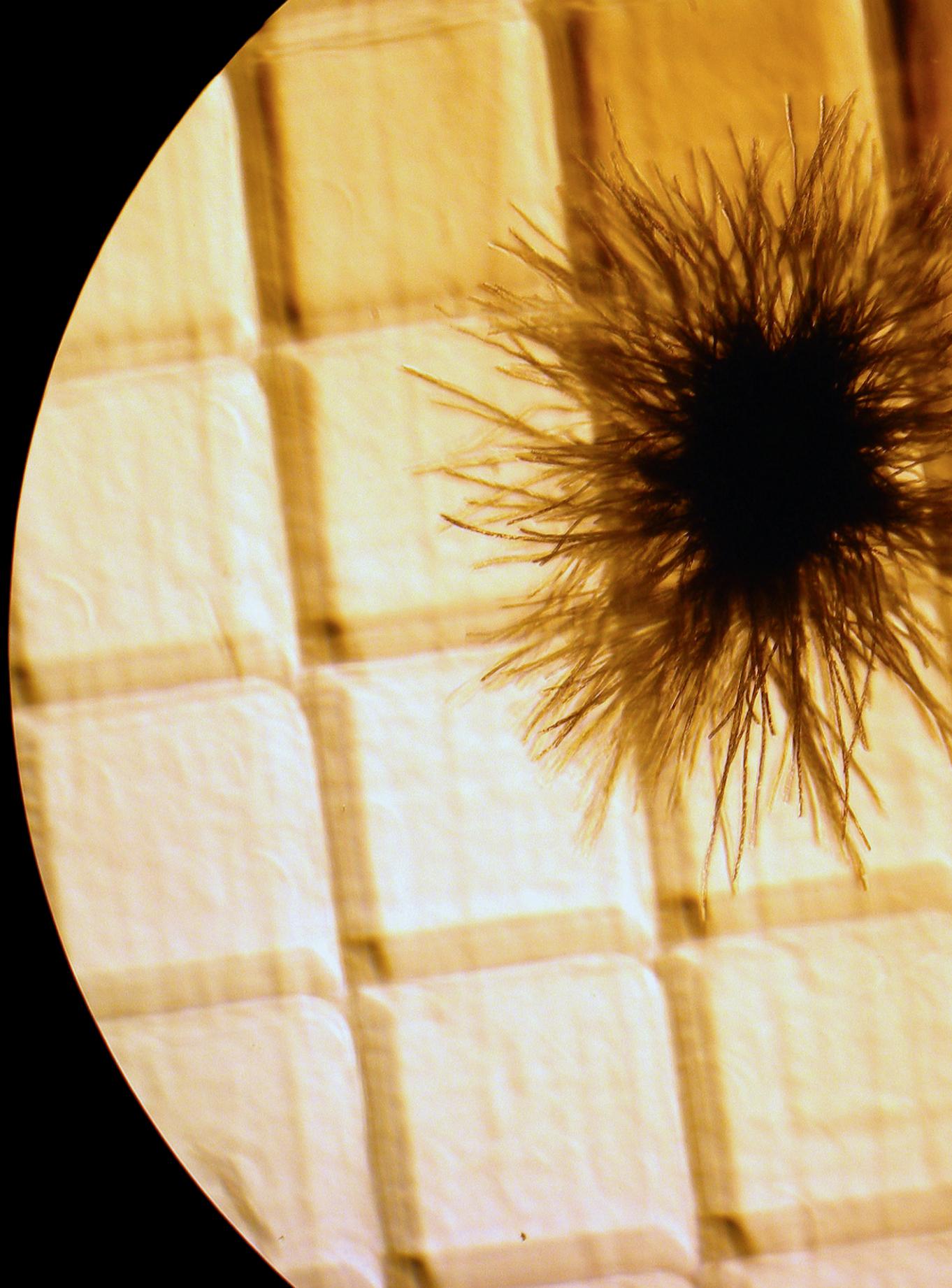
## UNA ALIANZA BENEFIOSA

El nitrógeno en forma de gas ( $N_2$ ), el mayor componente del aire atmosférico, es inútil para la mayoría de las formas de vida, excepto para unos pocos organismos que son capaces de fijar  $N_2$ , es decir, usarlo y convertirlo en formas útiles para la vida, como parte, por ejemplo, de los aminoácidos. Algunas cianobacterias (bacterias capaces de realizar la fotosíntesis) son los fijadores de  $N_2$  más conocidos.

El examen del fitoplancton recogido durante la Expedición ha puesto de manifiesto la presencia de numerosas **cianobacterias que absorben nitrógeno** de la atmósfera en todos los océanos, también en **el menos explorado del planeta, el Índico**. Algunas de ellas realizan la fijación de  $N_2$ , habitando en el interior de **microalgas** como la diatomea de la imagen superior, en una relación de **simbiosis beneficiosa** para ambos microorganismos.

IMAGEN DETALLE MARTA ESTRADA

IMAGEN PRINCIPAL La cianobacteria *Trichodesmium* es el organismo marino fijador de nitrógeno en forma de gas ( $N_2$ ) más conocido y estudiado. Forma colonias de un tamaño de entre 1 y 10 milímetros, con aspecto de bola de pelo. La Expedición Malaspina ha descrito la enorme abundancia de otros fijadores de nitrógeno, formados por simbiosis de microalgas con cianobacterias de un tamaño mil veces más pequeño que el de *Trichodesmium*. ANA FERNÁNDEZ



VIII

# EL NITRÓGENO QUE LLEGÓ DE LAS PROFUNDIDADES

La presencia de **nitrógeno en aguas superficiales** es fundamental para el crecimiento de las algas del plancton y, por consiguiente, para la productividad del ecosistema marino y su **capacidad para captar  $CO_2$  atmosférico** mediante la fotosíntesis.

Lejos de las costas, los procesos más importantes en el suministro de nitrógeno hacia el océano superficial son la **difusión desde aguas profundas, ricas en nitrato**, y la utilización del nitrógeno de la atmósfera por parte

de microorganismos diazotrofos, los únicos capaces de convertir el gas  $N_2$  en nitrógeno útil para la vida.

El hecho de que la mayoría del nitrógeno que se encuentra en el océano provenga de la atmósfera o del fondo marino determina la eficiencia del océano para retirar  $CO_2$  atmosférico. Por lo tanto, cuantificar ambos procesos y entender qué los regula es crucial para **determinar el papel del océano en el clima del futuro**.

Los resultados de la Expedición Malaspina contradicen estudios anteriores y muestran que, si bien la fijación de nitrógeno atmosférico es importante, **más del 80% del nitrógeno** llega a aguas superficiales por **difusión turbulenta desde aguas profundas**. Una de las razones de esta novedad radica en el hecho de que los estudios anteriores habían ignorado los procesos de **doble difusión o 'dedos de sal'**, lenguas de agua más densas y saladas en capas intermedias que funcionan como **vías rápidas en el transporte vertical de nitrógeno** a la superficie.

# 60 años

DESDE EL COMIENZO DE LA  
SÍNTESIS DE CONTAMINANTES  
ORGÁNICOS

han bastado para que hoy día se encuentren presentes en todas las zonas del planeta y en los organismos que lo habitan.

# 1.250 kg/año

DE DIOXINAS Y BIFENILOS  
POLICLORADOS

similares a las dioxinas entran desde la atmósfera al océano, generados como residuos de procesos de combustión.

# 3.261 toneladas

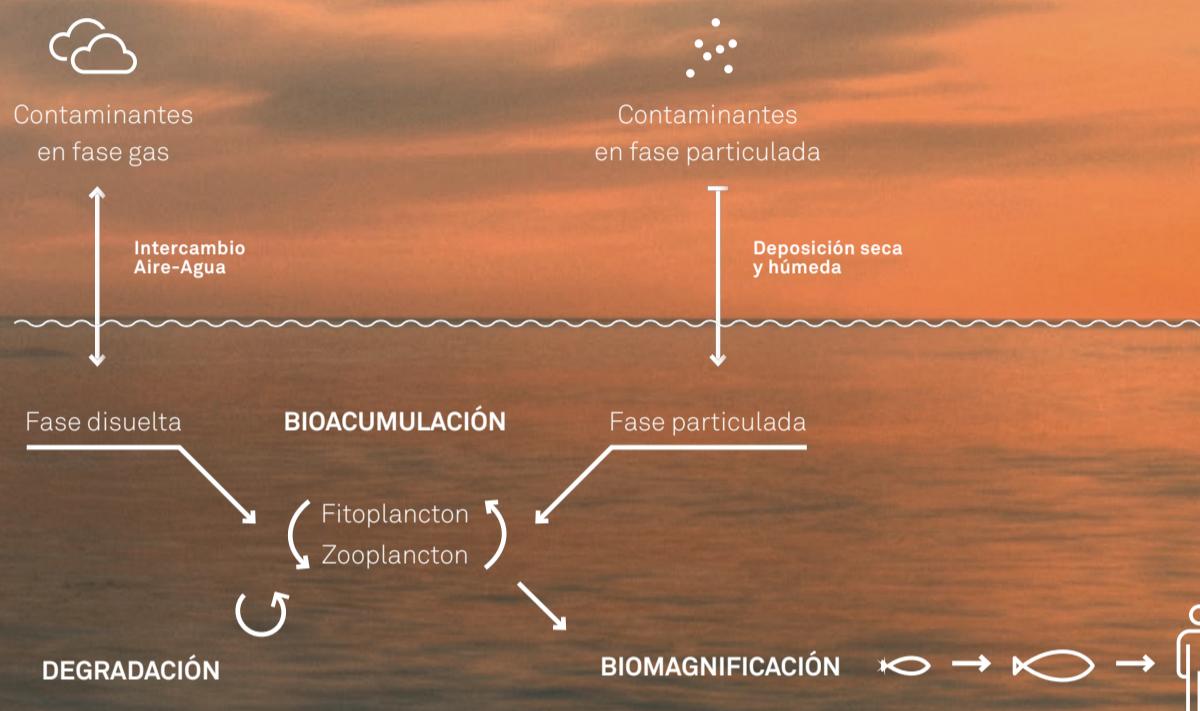
DE HIDROCARBUROS  
AROMÁTICOS POLICÍCLICOS

llegan al océano cada año procedentes sobre todo del uso de combustibles fósiles.

## TRANSPORTE DE CONTAMINANTES A LARGA DISTANCIA

Los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) pueden llegar a lugares remotos como el mar abierto.

GRÁFICO Basado en Berrojalbí et al. Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (10).



IX

## LA HUELLA QUÍMICA HUMANA: LA CONTAMINACIÓN TAMBIÉN VIAJA

En las sociedades desarrolladas se utilizan unas **200.000 sustancias orgánicas sintéticas** en aplicaciones industriales, agrícolas y en productos de consumo. Miles de estas sustancias entran en el medio ambiente y pueden distribuirse a escala global mediante las corrientes oceánicas y el transporte atmosférico. Sin embargo, se conoce poco de su presencia en el océano, los posibles efectos sobre los organismos y el papel que juegan como vector del cambio global.

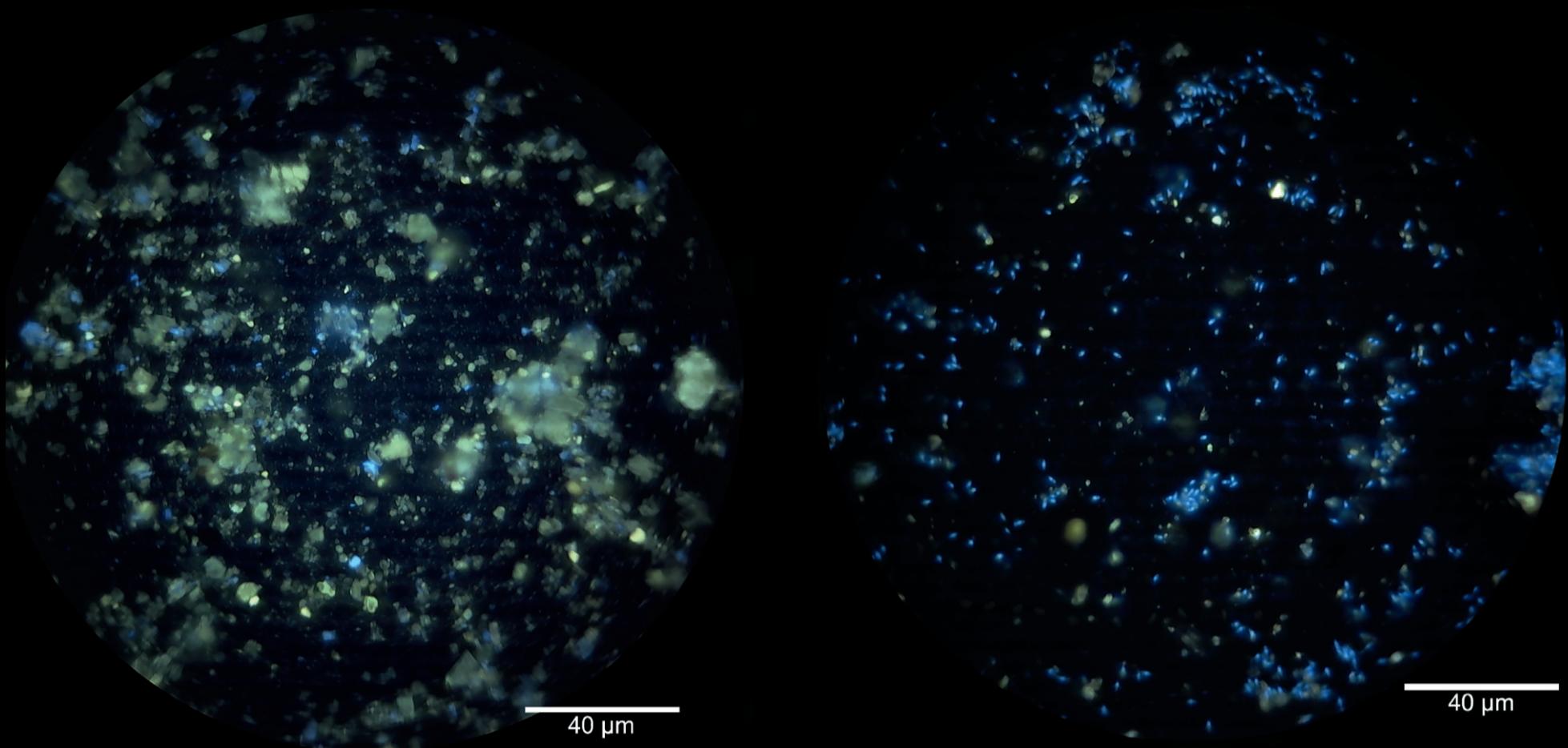
Durante la Expedición Malaspina se analizó la presencia, los mecanismos de distribución y los

efectos de varias familias de **contaminantes orgánicos** especialmente peligrosos por ser:

- **Persistentes**, pueden tardar en degradarse varios años o décadas.
- **Bioacumulables**, capaces de acumularse en los seres vivos.
- **Altamente tóxicos** para los organismos vivos, incluyendo al ser humano.

Por primera vez se han cuantificado los niveles de contaminantes como las dioxinas, los hidrocarburos o los compuestos orgánicos fluorados en el aire,

el agua y el plancton, y su transferencia entre ellos. Las observaciones realizadas han permitido encontrar **una entrada neta de contaminantes desde la atmósfera al océano** y se ha descubierto la importancia de la acumulación en organismos vivos para que ciertos contaminantes lleguen a aguas profundas. Este mecanismo vertical es conocido como 'bomba biológica'. Además se han comprobado **efectos tóxicos** sobre la cianobacteria *Prochlorococcus*, el organismo fotosintético más abundante del mundo, lo que podría reducir su actividad fijadora de carbono e influir sobre el ciclo del carbono oceánico.



**IMAGEN PRINCIPAL** Muestras de bioaerosoles bajo el microscopio. En la imagen de la izquierda predominan las partículas de polvo, mientras que en la otra se aprecian esporas y bacterias. **EVA MAYOL** **DERECHA** Colección de bioaerosoles. TXETXU ARRIBA



X

## MICROORGANISMOS QUE SE LLEVA EL VIENTO

Los bioaerosoles, o microorganismos presentes en la atmósfera, son esencialmente **bacterias, esporas de hongos, polen y células de fitoplancton**. Estos microorganismos, que pueden provenir de tierra o del propio océano mediante procesos de aerosolización (partículas suspendidas en el aire) por la ruptura de olas, permanecen en suspensión varios días. Así, **logran viajar a distancias que superan los 5.000 kilómetros** durante su periplo atmosférico.

Durante la Expedición Malaspina se ha estimado la cantidad de microorganismos aerotransportados

sobre los océanos Atlántico, Índico y Pacífico a latitudes medias y tropicales. Se encontró un total de entre 1.000 y 180.000 microorganismos por metro cúbico de aire sobre diferentes localidades oceánicas (fundamentalmente bacterias y esporas de hongos). Se calcula un **promedio de 25.000 microorganismos por metro cúbico de aire sobre el océano global**. También se ha estudiado el transporte y los flujos de aerosolización y deposición.

Estos resultados identifican la **atmósfera como un vector para el rápido transporte de larga distancia**

de **microorganismos**, con un papel potencialmente muy importante para mantener la **conectividad en la biodiversidad** del océano. También se revela una faceta de la atmósfera, aún por explorar, como medio para la **propagación a gran distancia de patógenos**.

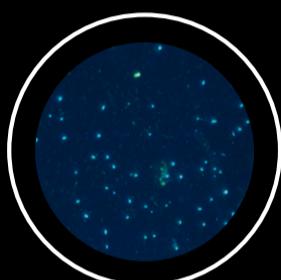
El carácter global de este muestreo ha permitido distinguir diferentes áreas del océano con distintos contenidos de microorganismos aerotransportados. Hasta ahora existía un vacío de esta clase de datos, y la mayor parte provenían de áreas costeras.



## PEQUEÑA GRAN BIODIVERSIDAD

Si Charles Darwin viviera en nuestra época se quedaría atónito al saber que **la mayor parte de la biodiversidad es microscópica**, es decir, invisible para el ojo humano. Dos terceras partes de la diversidad del planeta Tierra es de origen procariota (bacterias y arqueas). Si tenemos en cuenta que el 70% de la superficie del planeta está cubierta por océanos con una profundidad media de 4.000 metros, se deduce que la mayor biodiversidad se encuentra en los océanos.

Si pusiéramos **todas las bacterias del océano** en una balanza, **su peso equivaldría a más de 6,7 millones de ballenas azules** y el 75% de esta biomasa está en el océano oscuro. Estas bacterias son los motores de los ciclos biogeoquímicos: generan energía, reciclan la materia orgánica y producen los nutrientes imprescindibles para la vida de organismos superiores.



## MÁS BACTERIAS QUE ESTRELLAS

Aunque parece un cielo estrellado, esta imagen corresponde a bacterias en el océano. Hay un millón de bacterias en una gota de agua, esto es,  $10^{29}$  en todo el océano: 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000. En el universo 'solo' hay 1.000.000.000.000 ( $10^{11}$ ) de estrellas.

IMAGEN: IRENE FORN

IMAGEN PRINCIPAL: PABLO SÁNCHEZ  
DERECHA: GILBERT Y DUPONT, *Annual Review of Marine Science*.

# LOS GENES DEL OCÉANO

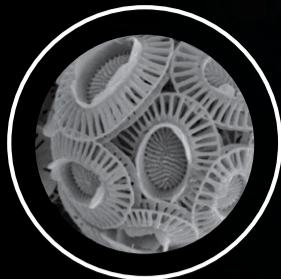
Las **bacterias y arqueas microscópicas** fueron los primeros habitantes de nuestro planeta. Después de 3.500 millones de años de evolución, estos organismos son capaces de realizar **funciones difíciles de imaginar y de gran utilidad para la sociedad**: desde degradar compuestos altamente tóxicos para la salud humana y ambiental, hasta sintetizar compuestos de utilidad farmacéutica y biotecnológica en campos como la bioenergía, la alimentación o la cosmética. A pesar de su importancia, los microorganismos marinos son los

grandes desconocidos de los océanos y su diversidad está en gran parte por explorar.

Uno de los hitos del proyecto Malaspina es la **secuenciación de ADN de las muestras** recogidas desde la superficie del océano **hasta los 4.000 metros de profundidad**. Las tecnologías actuales permiten analizar a escala global los genes de los microorganismos recolectados. La secuenciación de una comunidad microbiana implica leer sus moléculas de ADN como una sucesión de letras. En 2003 se

secuenció el primer genoma humano; la **secuenciación total** que se obtendrá **con el proyecto Malaspina equivale a más de 750 genomas humanos**.

Los resultados preliminares del proyecto indican que el **60% de las especies de bacterias** en el océano profundo **son desconocidas** y, en consecuencia, tampoco conocemos sus genes y funciones. En los próximos años, **se espera descubrir decenas de millones de genes nuevos**. De hecho, se calcula inventariar 154 millones de genes.



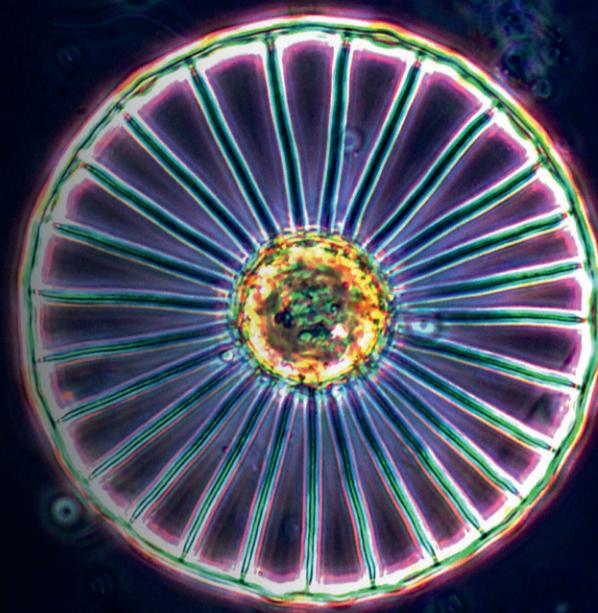
## MICROALGAS CON 'CÁSCARA'

Algunas microalgas del fitoplancton, como los **cocolitofóridos**, realizan la **calcificación** o formación de placas de carbonato cálcico que cubren sus células a modo de 'cáscara'. Este proceso, del que hasta ahora existían pocos estudios a gran escala, puede favorecer el flujo de carbonato cálcico hacia aguas profundas y **la retención de carbono en el océano**.

Las observaciones durante la Expedición Malaspina han revelado que la calcificación es un proceso persistente en todas las regiones oceánicas. Gracias a este proceso, **la cantidad de carbono que se fija en estas 'cáscaras' se ha estimado en más de dos gigatoneladas al año**, un valor significativamente mayor de lo que hasta ahora se consideraba.

**IMAGEN DETALLE** Microscopía electrónica de cocolitofóridos muestreados en el océano Índico. DELGADO, ESTRADA, BLASCO, CROS Y FORTUÑO

**IMAGEN PRINCIPAL** Fitoplancton muestreado durante la Expedición. JOAN COSTA/CSIC



XII

# FITOPLANCTON, EL SEGUNDO PULMÓN DEL PLANETA

Los microorganismos fotosintéticos que forman el fitoplancton marino (cianobacterias y microalgas) funcionan como el segundo pulmón del planeta, dado que **generan alrededor del 50% del oxígeno que respiramos**. Además, absorben en torno a un 30% de nuestra producción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por lo que son un componente esencial en la regulación del clima. Las muestras obtenidas durante la Expedición Malaspina sugieren que **el océano puede actuar como sumidero de  $\text{CO}_2$**  a un ritmo más rápido de lo que se pensaba. ¿Cómo lo consigue?

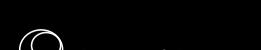
El fitoplancton retira grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y mediante la fotosíntesis produce oxígeno y carbono orgánico que, en parte, es 'bombeado' al fondo del océano. **Allí el carbono permanecerá 'secuestrado' durante cientos o incluso miles de años** antes de volver a la atmósfera. La sedimentación del propio fitoplancton, que conforma la base de las cadenas alimenticias marinas, y de sus depredadores (zooplancton y peces, o sus restos biológicos) son los mecanismos por los que se consigue hundir el carbono a grandes profundidades.

Este flujo vertical, conocido como '**bomba biológica de carbono**', fuerza y acelera el paso de  $\text{CO}_2$  desde la atmósfera hacia el océano, y contribuye así a paliar la acumulación en la atmósfera de  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico (esto es, generado por las actividades humanas), causa aceptada científicamente como responsable principal del calentamiento global del planeta.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Fundación BBVA





**IMÁGENES** Muestras de fitoplancton encontrado en diferentes profundidades oceánicas durante la Expedición Malaspina.  
MARTA ESTRADA

XIII

## UNA LLUVIA DE CÉLULAS EN EL OCÉANO PROFUNDO

La mayor **actividad biológica del océano está en su superficie**. Es allí donde penetra la luz solar que permite que las microalgas, o fitoplancton, realicen la fotosíntesis. Así, el zooplancton acude a 'pastar' sobre estas algas microscópicas para después servir de alimento a los peces y otros organismos.

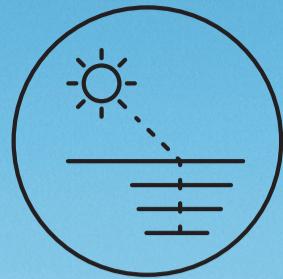
Sin embargo, **una parte del fitoplancton** (células muy pequeñas que difícilmente nadan) **no es comida y cae desde la superficie hacia el fondo del océano**, como si fuera una lluvia de células. Es un fenómeno

difícil de estudiar pero muy importante, puesto que transporta el fitoplancton desde la superficie hasta las profundidades, donde hay muy poco, y alimenta a organismos que crecen en el fondo del océano.

En la Expedición Malaspina se tomaron muestras entre 2.000 y 4.000 metros de profundidad, donde se encontraron células de fitoplancton que llegaban desde la superficie, el 18% de ellas aún vivas. **¿Cómo puede algo tan pequeño recorrer cuatro kilómetros sin la luz necesaria para la fotosíntesis y seguir vivo?**

Solo es posible si cayera muy deprisa. Según los experimentos realizados a bordo, podría hacerlo si sedimentara a una velocidad media de 350 metros por día, 100 veces más rápido que si cayera por simple gravedad.

Estos resultados apoyan las hipótesis que explican que **hay células vivas que se agregan o que se acumulan sobre los desechos sin digerir del zooplancton**, haciéndose más pesadas y acelerando su caída al fondo del océano.



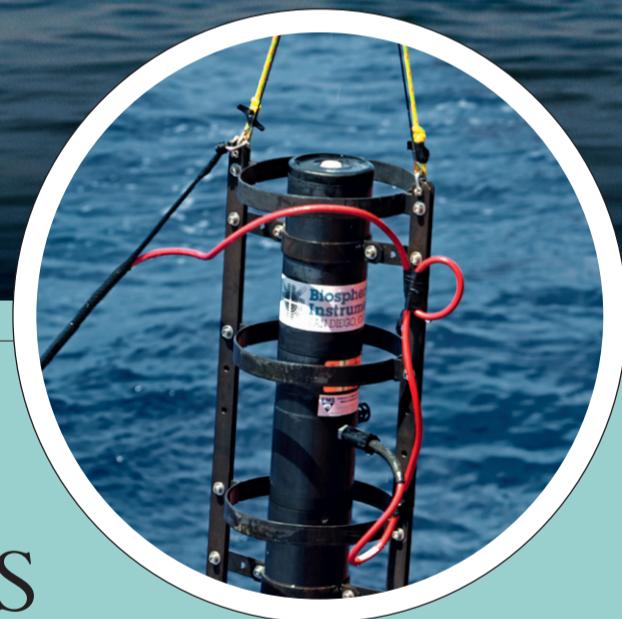
## LA CANTIDAD DE LUZ

que llega a una determinada profundidad depende principalmente del ángulo solar (latitud), la intensidad de la luz durante el ciclo diario y la nubosidad, pero también de las características de la masa de agua y de la cantidad de partículas en suspensión.

DERECHA A lo largo del recorrido de la Expedición Malaspina se midió con un espectroradiómetro UV-Visible la radiación incidente sobre la superficie del océano, así como la penetración de la radiación solar. JOAN COSTA/CSIC

XIV

# LAS AGUAS MÁS TRANSPARENTES, UN HÁBITAT DURO PARA LA VIDA



**La radiación solar es necesaria para la vida en los océanos**, indispensable para que las microalgas (o fitoplancton) conviertan mediante la **fotosíntesis** el carbono inorgánico en carbono orgánico disponible para otros organismos. También es responsable de numerosos procesos químicos esenciales para los ciclos de energía y materia en el océano.

Sin embargo, igual que para los organismos terrestres, **las altas intensidades de luz**, especialmente en el rango del espectro ultravioleta

(UV) no visible para el ser humano, también **pueden ser dañinas en aguas superficiales del océano**.

Los resultados obtenidos en la Expedición demostraron que **las aguas más transparentes se encuentran en las partes centrales de los océanos**, donde el escaso aporte continental de materia y la propia circulación giratoria de las masas de agua restringen el acceso de nutrientes necesarios para el crecimiento del fitoplancton. Las aguas con mayor transparencia se encontraron en el **giro subtropical**

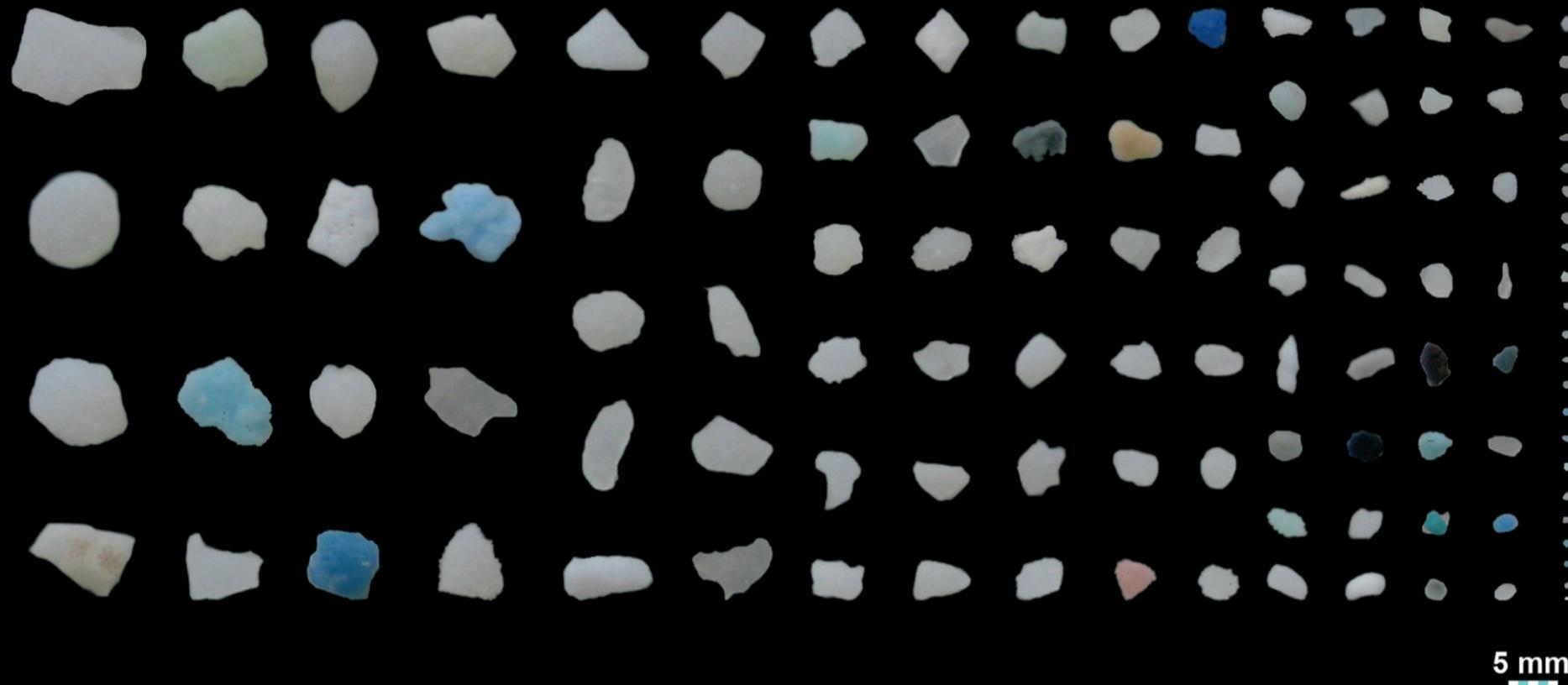
**del Pacífico Sur**, donde la penetración de la radiación UV llegó a alcanzar los 58 metros de profundidad.

Como consecuencia de su transparencia, estas aguas dejan pasar con facilidad (y hasta profundidades muy considerables) la radiación UV, muy perjudicial para la vida, por lo que constituyen **un hábitat especialmente duro** para los organismos.



## BOLSAS, ENVASES Y JUGUETES

Los residuos plásticos encontrados en la superficie de los océanos son principalmente polietileno y polipropileno. Ambos son polímeros utilizados en productos como bolsas, envases de bebida y comida, envoltorios, utensilios de cocina o juguetes.



**IMAGEN PRINCIPAL** Microplásticos encontrados en una muestra de agua del Atlántico Sur. Estos fragmentos de plásticos a menudo acumulan contaminantes que pueden ser transferidos a los organismos marinos si son ingeridos. ANDRÉS CÓZAR Y NACHO GONZÁLEZ-GORDILLO. **DERECHA** Una de las cinco grandes acumulaciones de plásticos flotantes encontrados en las aguas superficiales de los océanos. ANDRÉS CÓZAR (UNIVERSIDAD DE CÁDIZ) Y JAMIE HAWK (NATIONAL GEOGRAPHIC USA)

XV

# TONELADAS DE PLÁSTICOS EN EL OCÉANO GLOBAL

A pesar de que todas las muestras de la Expedición Malaspina se tomaron en aguas del océano abierto, alejadas de la costa y los núcleos urbanos, **en el 88% de la superficie oceánica muestreada aparecieron plásticos flotando**. Esto demuestra la **escala planetaria** de este problema.

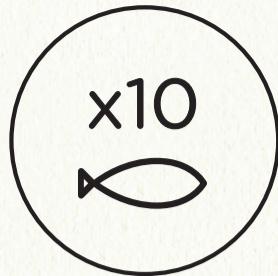
Según los resultados, existen **cinco grandes acumulaciones de residuos plásticos en el océano abierto**, coincidentes con los cinco grandes giros de circulación de agua superficial en el océano.

El problema no se da solo en el Pacífico Norte, como se creía, sino que también afecta al Atlántico Norte, al Pacífico Sur, al Atlántico Sur y al Índico.

Las corrientes oceánicas y la radiación solar resquebrajan los plásticos, que se rompen en fragmentos cada vez más pequeños. Estos **microplásticos pueden llegar a durar cientos de años**. La cantidad global de plástico acumulado se estima en **decenas de miles de toneladas** solo en la superficie del mar.

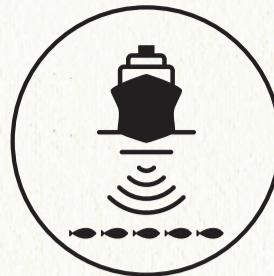
Además, los datos indican que **la superficie de los grandes giros oceánicos no es el destino final del plástico flotante**, ya que grandes cantidades de microplásticos podrían estar pasando a los fondos oceánicos y a la cadena alimenticia marina. Se estima que hay diez veces más plásticos acumulados en las profundidades que en la superficie. Probablemente, la mayor parte de los impactos de la contaminación por plástico en los océanos aún no se conoce.





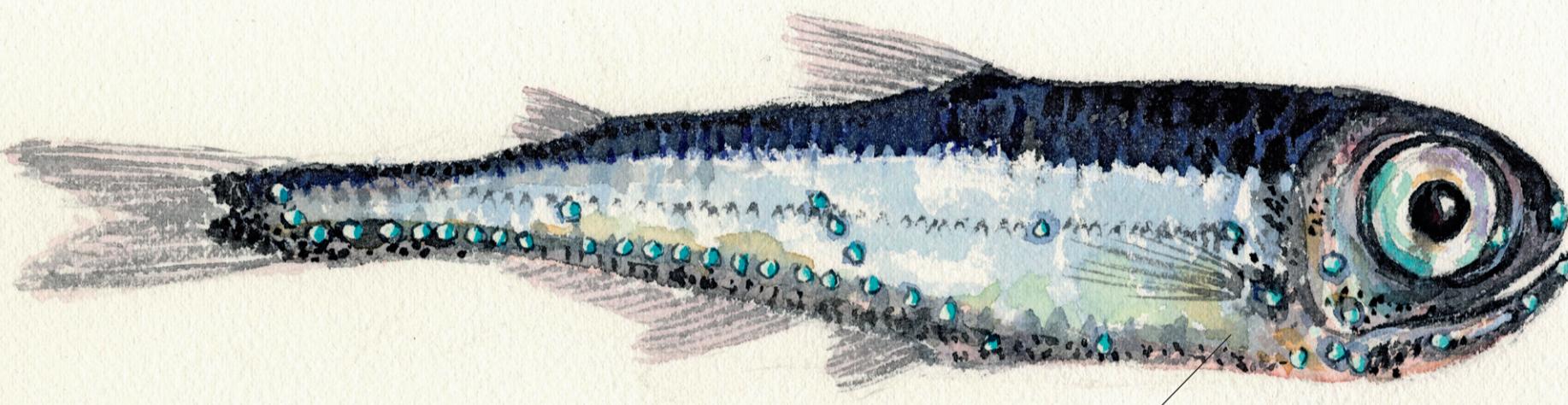
## DIEZ VECES MÁS PECES DE LO QUE SE CREÍA

Los peces mesopelágicos son **los vertebrados más abundantes del planeta**. Se calculaba que existía una cantidad de 1.000 millones de toneladas. Sin embargo, con los nuevos datos se estima una abundancia de **10.000 millones de toneladas**. Esto hace que sea necesario replantearse el papel de estos peces en los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas oceánicos.



## UNOS PECES CON HABILIDADES SENSORIALES EXTRAORDINARIAS

Hasta ahora había sido muy difícil cuantificar estos peces, ya que **son capaces de detectar una red a 100 metros de distancia**. Cuando esto ocurre, descienden rápidamente y tardan horas en situarse nuevamente en su posición. Este comportamiento ha podido observarse colocando un sensor fijo al paso de una red. Durante la Expedición se capturaron 190 muestras de estos peces, posiblemente enfermos o débiles.



**IMAGEN PRINCIPAL** Acuarela de un pez mictófido realizada por Miquel Alcaraz. **IZQUIERDA** Detalle de uno de estos peces, también conocidos como peces linterna. JOAN COSTA/CSIC

XVI

## EL FALSO FONDO DEL OCÉANO

Los datos obtenidos en la Expedición Malaspina han permitido establecer que en el océano **hay diez veces más peces de lo que se creía**. Los responsables son los llamados **peces mictófidos**, organismos de **entre 4 y 15 centímetros de longitud** cuyo ejemplar más abundante es el **pez linterna**, así conocido porque sobre la piel tiene unos órganos semejantes a pequeñas gotas de agua que emiten luz. A estos peces también se los conoce como **mesopelágicos**, es decir, que viven hasta a unos 1.000 metros de profundidad.

Estos peces son protagonistas de **la mayor migración que ocurre diariamente** en las cuencas oceánicas. Aunque pasan la mayor parte del tiempo entre los 400 y 700 metros de profundidad, evitando la radiación ultravioleta del Sol y los predadores, por la noche ascienden hasta la superficie para alimentarse. Este comportamiento les hace formar la '**capa reflectora profunda del océano**', conocida desde hace décadas porque es tan densa que los aparatos sónar de los

barcos rebotan en ella, creando la sensación de que existe un **falso fondo del océano**.

Hasta ahora se pensaba que esta capa estaba formada fundamentalmente por copépodos, invertebrados y crustáceos de zooplancton, pero ahora se sabe que los mayores responsables son estos peces reflectantes.



## UN LIBRO SOBRE LA EXPEDICIÓN DEL SIGLO XVIII

Las corbetas del rey. El viaje alrededor del mundo de Alejandro Malaspina (1789-1794) es un libro de Andrés Galera que narra el viaje histórico aunando palabras e imágenes, en busca de una divulgación científica con fundamento literario.

IMAGEN Detalle de la portada del libro.

IMAGEN PRINCIPAL Láminas de la colección de Luis Née, conservadas en el Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC).



*Jatropha podagraria*



*Mentzelia aspera*



*Rubus radicans*

XVII

# HISTORIA, BOTÁNICA Y USOS DE LAS PLANTAS

El proyecto Malaspina ha contado también con una importante dimensión histórica. Con el objetivo de elaborar un catálogo actualizado de plantas de la expedición de Malaspina, se han estudiado los más de 12.000 ejemplares y 2.500 descripciones del **herbario de Luis Née (1734-1803)**, botánico de la expedición original. Hasta el momento **se han identificado 8.381 plantas y localizado 8.077** a lo largo de Chile, México,

Filipinas, Australia, Perú, etc. El estudio detallado de la taxonomía de dicho herbario ha llevado a la identificación de 899 tipos de plantas en la colección.

Además, se ha realizado un exhaustivo **estudio etnobotánico de los usos de las plantas** de la colección de Née. Aparte de las plantas alimenticias y las especias, se han identificado, descrito y

localizado plantas medicinales (cedrón o hierba luisa, ruibarbo, chichimalli...), estimulantes, como el tabaco y la coca, así como plantas para tejer, lavar, teñir o techar. También se han identificado plantas con usos muy particulares, como el de la pegarropa (Méjico), utilizada como reloj para los labradores, o el boraso (Isla de los Amigos, Polinesia), utilizada como taza.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Fundación BBVA





## DOS CIRUJANOS A BORDO

En la vertiente histórica del actual proyecto Malaspina se ha profundizado en los trabajos realizados por **los dos cirujanos de las corbetas Descubierta y Atrevida**, especialmente en el manuscrito que sirvió de base para la publicación del *Tratado de las enfermedades de la gente de mar en que se exponen sus causas, y los medios de preaverlas* (Pedro María González), conservado en el Museo Naval de Madrid. Asimismo, se ha seguido la trayectoria de ambos cirujanos tras su participación en la expedición, lo que ha permitido descubrir información relevante en cuanto a la participación de ambos especialistas en el **contexto político del Cádiz de las Cortes**.

IMAGEN Detalle de la portada del libro. BIBLIOTECA MUSEO NAVAL (BMN-579).



IMAGEN PRINCIPAL La corbeta *Atrevida* entre bancas de nieve el día 28 de enero de 1794. FERNANDO BAMBRILLA. ARCHIVO DEL MUSEO NAVAL (AMN 1726.49). DERECHA El Real Instituto y Observatorio de la Armada a mediados del siglo XIX.



XVIII

# EL LEGADO DE MALASPINA: DIGITALIZANDO EL PASADO

Durante el periodo en el que el **marino Alejandro Malaspina** proyectaba su expedición (esto es, en los años previos a 1789), el Real Observatorio de Cádiz era un centro prestigioso en el contexto astronómico europeo del siglo XVIII.

En el proyecto actual, una importante labor ha sido la **recuperación y digitalización de los**

**fondos documentales** fechados en los años de la expedición de Alejandro Malaspina y conservados en el actual Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada. Hasta ahora **se han digitalizado 6.864 imágenes** de documentos que permitirán seguir investigando sobre los trabajos científicos desarrollados por esta institución.

En el caso del madrileño Museo Naval, se ha llevado a cabo la digitalización de los **dibujos y mapas de la expedición original de Malaspina**, labor que constituye una aportación fundamental para el legado de aquel viaje histórico.

**10**

**PUERTOS DONDE SE HAN  
ORGANIZADO ACTIVIDADES DE  
DIVULGACIÓN Y VISITAS GUIADAS  
A LOS BUQUES**

Cádiz, Río de Janeiro, Las Palmas, Ciudad del Cabo, Santo Domingo, Perth, Sídney, Auckland, Honolulu y Cartagena de Indias.

**+ 100**

**CONFERENCIAS  
EN 15 PAÍSES**

Entre ellas, una charla TEDx en la que intervino el coordinador del proyecto, Carlos Duarte. Múltiples instituciones implicadas.

**13**

**RUEDAS DE PRENSA  
EN 8 PAÍSES**

En diferentes momentos del proyecto y del recorrido de la Expedición.

**1.950**

**APARICIONES EN PRENSA,  
RADIO Y TELEVISIÓN**

Ha sido la campaña de comunicación con más visibilidad de la ciencia española para un proyecto finito.

**6**

**EXPOSICIONES,  
INCLUIDA ÉSTA**

Entre ellas, una muestra itinerante que viajó a bordo de los buques, una gran exposición que se instaló en el Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC), y otra de macrofotografía. Además, la Expedición fue el tema central del pabellón de España en la Expo 2012 de Yeosu (Corea del Sur), por el que pasaron más de 600.000 visitantes.

**18**

**AUDIOVISUALES**

Ejemplos de ello son la animación de Tadeo Jones dedicada al proyecto Malaspina, el vídeo 3D *Una aventura en el océano* o los capítulos de la serie documental Bitácora.

**+ 50**

**ILUSTRACIONES EN ACUARELA  
Y UN CÓMIC**

El investigador e ilustrador científico Miquel Alcaraz plasmó sus observaciones en un gran número de láminas. También se editó el cómic *Expedición Malaspina, un viaje de 200 años*, de Luis Resines, Anita Bonilla y David Finch.

**6**

**LIBROS PARA TODOS  
LOS PÚBLICOS**

La Editorial CSIC ha acercado el proyecto a los lectores con publicaciones como la crónica de la Expedición escrita por el biólogo y divulgador Santos Casado. Se han publicado también estudios históricos, catálogos, e incluso un libro blanco colectivo que recoge métodos y técnicas del trabajo oceanográfico.

**+100.000**

**VISITAS**

Al portal web [www.expedicionmalaspina.es](http://www.expedicionmalaspina.es), procedentes de 113 países.

**IMAGEN PRINCIPAL** LICENCIA CREATIVE COMMONS © FOLKERT GORTER -  
**SUPERFAMOUS STUDIOS** DERECHA Joan Costa, fotógrafo oficial de la Expedición, ganó el 2º premio World Press Photo 2012 en la categoría 'Naturaleza' por la imagen de un microorganismo recogido durante la navegación. Esta y otras fotografías científicas han servido para documentar los principales hitos del proyecto. JOAN COSTA/CSIC

XIX

# LA CIENCIA DEL OCÉANO PARA TODOS LOS PÚBLICOS



Conferencias, visitas guiadas a los buques en los puertos, exposiciones, ruedas de prensa, apariciones en medios, libros, documentales, material divulgativo y hasta un sello de correos... La Expedición Malaspina no solo ha explorado el océano global, sino que ha acercado las ciencias marinas al público de diversos países del mundo.



## 75 TESIS PRODUCIDAS EN EL MARCO DE ESTE PROYECTO

27 de máster y 48 tesis doctorales



## UN REPOSITORIO

en la Biblioteca Carlos Bas de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria albergará todos los documentos de tesis.

**IMAGEN PRINCIPAL** Estudiantes recogiendo muestras durante la travesía. JOAN COSTA/CSIC  
**DERECHA** Foto de grupo en el Buque Escuela de Oceanografía. JOAN COSTA/CSIC

XX

# UNA UNIVERSIDAD FLOTANTE

El proyecto Malaspina ha dedicado una atención preferente a la **formación de estudiantes de posgrado**. Aunque en principio el objetivo era realizar al menos 35 tesis en el marco de este proyecto, la cifra se ha duplicado.

Una parte de estas tesis se ha originado a partir de **datos recogidos por los propios estudiantes** a bordo del buque **Hespérides** durante la campaña principal de circunnavegación. Cinco de las tesis

doctorales se están realizando gracias a contratos predoctorales financiados por la Fundación BBVA. Además, se aprovechó para formación la campaña transatlántica realizada por el **Sarmiento de Gamboa**, especialmente el tránsito de vuelta desde Santo Domingo (República Dominicana) hasta Vigo. Este recorrido se convirtió en una gran oportunidad para un conjunto de 15 estudiantes que, junto a cinco profesores de las universidades de Cádiz, Las Palmas de Gran Canaria, Oviedo, Barcelona y la Universidad

Internacional Menéndez Pelayo, tuvieron ocasión de realizar sus tesis de máster durante esta travesía, que se denominó **Buque Escuela de Oceanografía**.

Las poblaciones bacterianas marinas, el transporte atmosférico de microorganismos, los contaminantes orgánicos persistentes, la concentración de microplásticos o la presencia de genomas hasta ahora desconocidos en el océano profundo son algunos de los temas abordados en las diferentes investigaciones.





## EL PRIMER BANCO DE MUESTRAS DE MATERIA ORGÁNICA Y CONTAMINANTES ORGÁNICOS

posibilitará en el futuro la caracterización, mediante nuevas técnicas, del carbono orgánico disuelto y particulado profundo, así como de contaminantes orgánicos en muestras de aerosoles, partículas marinas y fitoplancton. Hasta la fecha no había precedentes de este tipo de bancos de muestras.

**IMAGEN** Para la obtención de muestras se utilizaron sistemas de muestreo biológico como la roseta o las redes neuston, además de aparatos de muestreo atmosférico, como estos captadores de aerosoles. BELÉN GONZÁLEZ GAYA



## LAS MUESTRAS CONSERVADAS DE ADN Y ARN

permitirán aplicar nuevas metodologías para el futuro escrutinio de la estructura y función de las comunidades microbiológicas. Las muestras de **zooplancton** y **fitoplancton** recogidas durante la Expedición conforman una colección única por su cobertura global.

**IMAGEN** JOAN COSTA/CSIC

**IMAGEN PRINCIPAL** Ejemplo de muestras recogidas. JOAN COSTA/CSIC



XXI

# COLECCIÓN MALASPINA: UNA CÁPSULA DEL TIEMPO PARA LA CIENCIA DEL FUTURO

La Expedición Malaspina es un hito histórico de la ciencia española y la oceanografía mundial. Con el **objetivo de prolongar en el tiempo el impacto científico de este proyecto**, se ha creado la **Colección Malaspina**, formada por el **Banco de datos** (con los materiales escritos y audiovisuales generados durante la preparación y ejecución del proyecto) y el **Banco de muestras**.

Este último contiene **miles de muestras que fueron recogidas durante la Expedición** y se dividen en cinco subcolecciones: biogeoquímica, contaminantes, fitoplancton, microbiología y zooplancton. Este banco, que quedará como un registro excepcional de cómo era el océano en 2011, permanecerá sellado a modo de **cápsula del tiempo durante décadas**, para que las muestras puedan ser analizadas en el futuro con técnicas no disponibles en la actualidad o bajo nuevos parámetros aún desconocidos.

El Banco de muestras está repartido en **cuatro sedes**: tres institutos del CSIC (Instituto de Ciencias del Mar, Instituto de Investigaciones Marinas, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua) y la Universidad de Cádiz. El **futuro préstamo de estas muestras** para su análisis se hará bajo un **protocolo** que asegure su uso óptimo en términos de interés científico.