



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Los que eligen la isla de Sylt para pasar sus vacaciones, saben apreciar, ante todo, sus extensas playas. Allí, los visitantes descansan bajo el sol o disfrutan de largos paseos junto al viento que silba en los oídos; los niños juntan almejas, caracoles y otros objetos arrastrados por el mar o construyen castillos de arena. Cuando baja la marea, grandes y pequeños investigadores aficionados observan la actividad de arenícolas marinas, cangrejos y muchos otros organismos.

de arena y lo coloca en un frasco de vidrio. Luego, agrega un poco de acetona, un disolvente incoloro que ha traído del laboratorio, y agita brevemente el frasco hasta que la solución toma un color verde intenso. "Esto es clorofila, la misma sustancia que tiñe de verde el pasto o las hojas de los árboles", explica Cook. "En este caso, proviene de algas diminutas que la necesitan para realizar la fotosíntesis, como cualquier planta". La clorofila se hace visible recién cuando es extraída con acetona.

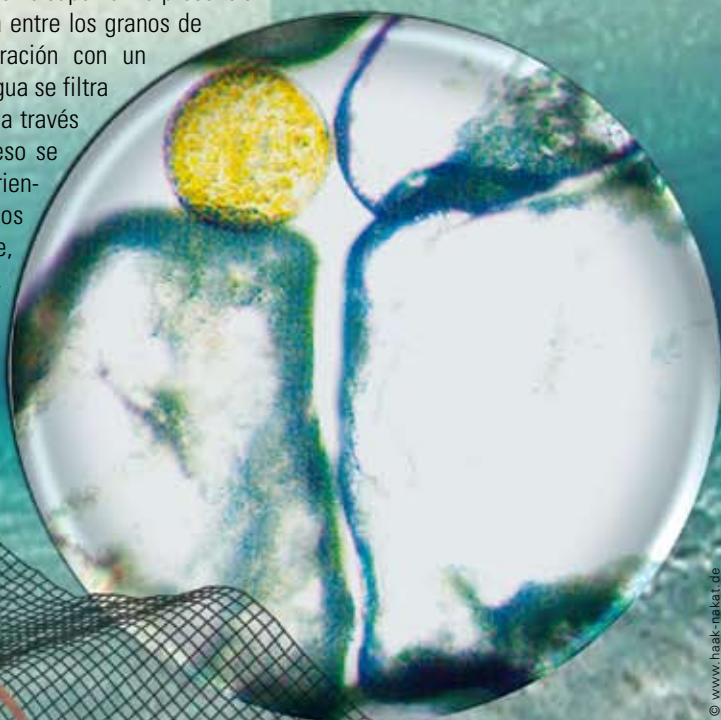
## Ciencia en el arenero

### Porqué las costas atraen a los investigadores

Con cierta regularidad, también llegan a la isla científicos desde Bremen: para los colaboradores del Instituto Max Planck de Microbiología Marina, las playas de la isla son un gigantesco laboratorio al aire libre. Pero los investigadores no se interesan tanto por los organismos que se pueden observar a simple vista, sino por aquellos que en su mayoría, aunque invisibles, también viven en las arenas de Sylt y sus alrededores; arenas que el agua cubre parcialmente en forma periódica para luego volver a secarse.

La arena se compone de dióxido de silicio. Desde el punto de vista químico, no debe existir en la naturaleza un material más aburrido e inerte. A pesar de ello, Perran Cook, un científico que trabaja en el Instituto Max Planck de Bremen, puede demostrar que hay vida en la arena de la isla valiéndose de un método muy simple: primero, toma un puñado

Los expertos estiman que varios cientos de miles de diferentes microorganismos viven entre los granos de arena, principalmente, diversos tipos de algas y bacterias (Fig. A). "Hasta ahora sólo se ha podido identificar menos del 1%", dice Antje Boetius, directora del grupo de investigación "Hábitat Microbianos" del Instituto Max Planck de Microbiología Marina. Una de las causas posibles bien podría ser que, hasta hace unos pocos años, los científicos no suponían la presencia de semejante vida entre los granos de arena. En comparación con un fondo lodoso, el agua se filtra con cierta rapidez a través de la arena. Por eso se creía que los nutrientes eran lavados rápidamente y que, en consecuencia, los microorganismos carecían de medios para subsistir. →



A

► Gran cantidad de microorganismos se adhieren a la superficie de los granos de arena, como esta diatomea, un tipo de alga microscópica. Adelante: reconstrucción en 3D de una superficie de arena rizada, elaborada con ayuda del Lance-A-Lot.



© Instituto Max Planck de Microbiología Marina

**B**

◀ **Lance-A-Lot mide elevaciones y depresiones del lecho marino mediante un rayo láser que apunta hacia distintos puntos del sedimento. Una cámara digital captura el reflejo del rayo y, a partir de estos datos, se calcula la topografía del suelo (ver fig. A). Para determinar la velocidad de avance del agua intersticial, se introduce el cabezal del sensor en el sedimento. El láser, la cámara y los detectores se desplazan sobre el sedimento en sentido horizontal mediante un riel.**

→ Además, es difícil estudiar el arenoso lecho marino; durante mucho tiempo simplemente no existían métodos experimentales apropiados. Mientras tanto, los científicos saben que las arenas de las costas continentales, cubiertas periódica o constantemente por agua de mar, funcionan como gigantescos **sistemas de filtrado**. A través de los ríos, llegan al mar enormes volúmenes de materia orgánica y nutrientes inorgánicos como nitratos y fosfatos. Los microorganismos que viven en la arena aprovechan estas sustancias para crecer obteniendo energía a partir de ellas. Además, durante el proceso, se ocupan de la descomposición del material orgánico. Las regiones costeras, por lo tanto, son un enorme ecosistema que se auto depura.

### NUEVOS ACTORES DEL ACONTECER CLIMÁTICO

Al final de numerosas cadenas metabólicas aparece el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A la inversa, el  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua se transforma nuevamente —por ejemplo, en la arena por intervención de las algas— en material orgánico, como ser hidratos de carbono o proteínas. Por eso, también los climatólogos se interesan por las zonas costeras de los continentes. El dióxido de carbono es un **gas de efecto invernadero** y, como tal, en parte responsable por el calentamiento global observado en el pasado reciente. “Por eso, uno de nuestros objetivos de investigación más

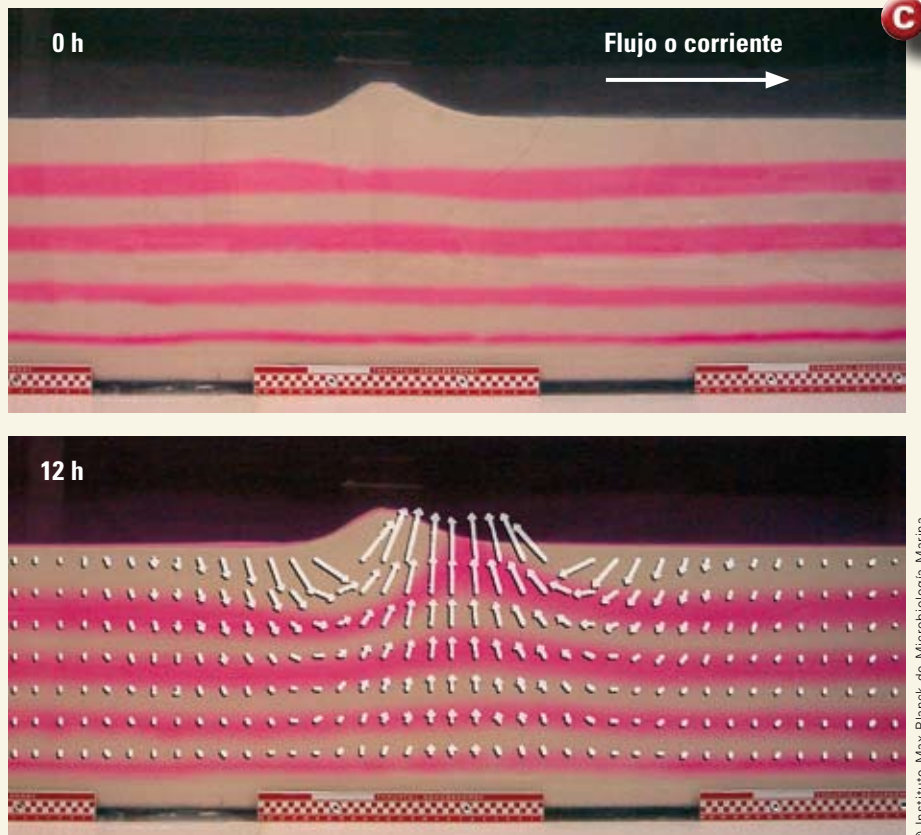
► Se coloreó el agua intersticial de algunos terrenos arenosos. Tan pronto como el agua comienza a circular sobre las irregularidades del lecho, se genera un gradiente de presión en la superficie de la arena. Este gradiente bombea agua a través de la arena. Las flechas en la imagen inferior muestran el patrón de flujo de advección del agua intersticial.

importantes es el análisis cuantitativo de la producción y consumo de  $\text{CO}_2$  en la arena”, explica Antje Boetius. Mediante este estudio, los investigadores de Bremen esperan poder definir la importancia que revisten las **arenas costeras** para el clima.

La actividad de los microorganismos en la arena y la velocidad con la que fijan el dióxido de carbono (lo utilizan en la formación de su estructura celular) o lo liberan, depende en muy alto grado de la velocidad con que los nutrientes disueltos en el agua llegan a los microorganismos. A pesar de que estos

procesos de transporte son extremadamente importantes, hasta ahora se los ha investigado muy poco. La causa es que también para esto faltaban métodos de medición apropiados. Por eso, el investigador del Instituto Max Planck, Felix Janßen, primero tuvo que desarrollar un nuevo dispositivo con el cual ahora estudia —entre otros lugares, en las costas de la isla de Sylt— el proceso de **advección del agua intersticial**, es decir, el intercambio entre el agua del lecho marino y el presente entre los granos de arena (el espacio poroso o intersticial).

La velocidad con la que se realiza este intercambio depende fundamentalmente de la forma del lecho marino (topografía). El aparato de Janßen, que lleva el nombre “Lance-A-Lot”, es capaz de cumplir ambas tareas (**Fig. B**): por un lado, genera imágenes tridimensionales de la superficie del lecho y, por el otro, mide la velocidad a la que se mueve el agua a través de la arena. Para ello, los investigadores aplican un principio de probada eficacia: el dispositivo inyecta un colorante bajo la superficie de la arena y, mediante sensores ópticos, determina el tiempo que la corriente de agua necesita para trasladar el colorante entre los granos de arena desde el punto de inyección hasta el sensor. A partir del tiempo transcurrido y la distancia entre el punto de inyección y



**C**

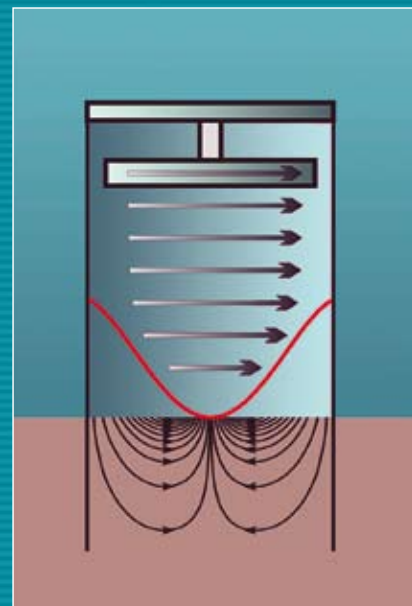
© Instituto Max Planck de Microbiología Marina

el sensor, los científicos pueden calcular la velocidad a la que circula el agua a través de la arena. Finalmente, pueden establecer una relación entre la velocidad y la topografía en el punto de medición.

En realidad, el lecho marino nunca es totalmente plano y el agua que lo cubre jamás está quieta. "Y, de todos modos, en los lugares donde encontramos arena, la corriente es relativamente fuerte", señala Felix Janßen. Esto hace que la arena permanezca permeable. Si la corriente fuese más débil, se podrían depositar pequeñas partículas suspendidas en el agua y el lecho marino se transformaría progresivamente en un cieno de granos finos. La regla general dice: cuanto más pequeñas las partículas, más pequeños son los espacios entre ellas y tanto más tiempo necesita el agua para atravesarlos. Por eso mismo, el agua fluye más lentamente a través de arena que de grava. En comparación, el cieno es prácticamente impermeable; en él, los organismos sólo pueden abastecerse de nutrientes mediante difusión molecular.

Las corrientes marinas y los organismos excavadores como las arenícolas o los cangrejos, se ocupan constantemente de formar elevaciones en los suelos de arena (por ejemplo, pequeños rizos alargados) y también de deshacerlas. La corriente de agua genera que en los puntos de mayor elevación la presión sea menor que en las laderas. "Se trata de diferencias de presión ínfimas, la mayoría de las veces inferiores a un milímetro de columna de agua", explica Janßen. "Aunque es justamente gracias a estas diferencias de presión que el agua es bombeada a través del suelo arenoso". Ya a principios de la década de 1990, junto a un grupo de colegas del Instituto Max Planck de Microbiología Marina, Markus Hüttel investigó este fenómeno en canales de flujo (Fig. C). Los primeros experimentos con *Lance-A-Lot* en arenas del Mar del Norte y del Mar Báltico demostraron que también en condiciones naturales el agua es bombeada a través de la arena de manera sorprendentemente eficaz desarrollando velocidades que van desde varios centímetros hasta varios decímetros por día. "Ahora, con la computadora, estamos calculando la relación entre la topografía del lecho marino y las velocidades de la corriente en la arena", dice Felix Janßen. El objetivo de los investigadores es crear modelos computarizados con los cuales se pueda, en primer lugar, reconstruir las condiciones reales y, luego en función de las condiciones del suelo, predecir

## CÁMARAS DE AGITACIÓN EN EL LECHO MARINO



▲ El esquema de la derecha muestra como el disco rotatorio agita el agua generando un gradiente de presión (línea roja) sobre la superficie del sedimento. El gradiente de presión moviliza el agua a través de la arena siguiendo una trayectoria curvada (líneas negras).

el flujo de nutrientes tan importante para los microorganismos del lecho marino.

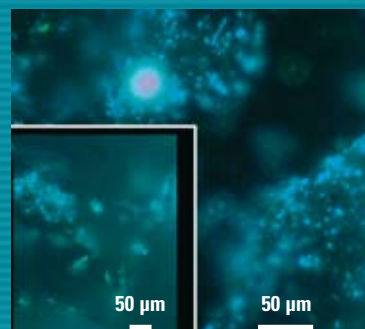
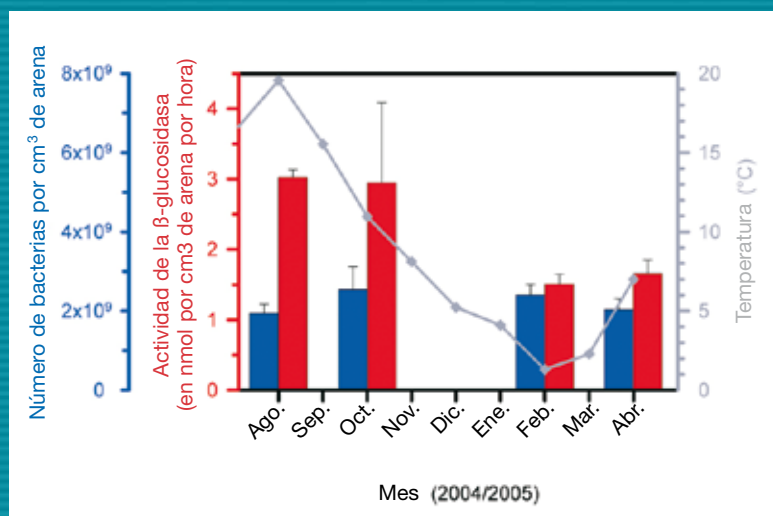
Perran Cook estudia de qué modo estas velocidades de las corrientes influyen en la vida presente en la arena. El marco es el proyecto COSA (*Coastal Sands as Biocatalytical Filters*) de la Unión Europea, que él mismo coordina junto con Markus Hüttel. En este proyecto trabajan conjuntamente científicos de cinco institutos de investigación con sede en Alemania, Polonia, los Países Bajos y Dinamarca. Todos ellos quieren conocer el papel que desempeñan las zonas costeras arenosas de los océanos en la transformación de las sustancias presentes en esas aguas. "Nos interesa principalmente el peso que tienen las arenas en el **ciclo global del carbono y nitrógeno**", explica Cook.

### ¿QUÉ IMPULSA AL AGUA A TRAVÉS DE LA ARENA?

Igual que casi todas las personas involucradas en el proyecto, el biogeoquímico australiano realiza investigaciones en el laboratorio y trabajo de campo en las costas de Sylt y de la península de Hel en el Mar Báltico Polaco. "Junto con otros 24 científicos, en la primavera hicimos un viaje de tres semanas a Sylt", cuenta Cook. "Montamos los equipos en el agua helada. A pesar de las bajas temperaturas, incluso por la noche teníamos que entrar al agua cada tres horas

para recolectar los datos. ¡Eso fue duro!". Entre otros dispositivos, Cook y sus colegas instalaron cámaras de agitación en el lecho marino (Fig. D). Con ellas se puede medir el intercambio de dióxido de carbono, oxígeno y diversos nutrientes inorgánicos (por ejemplo, fosfatos y nitratos) entre la arena y el agua que la cubre. Para variar la velocidad de la corriente que atraviesa la arena se utiliza un disco rotativo que agita el agua. Esto produce un aumento de la presión en la superficie arenosa de los bordes de la cámara, en comparación con el centro donde es menor. La diferencia de presión y el patrón de flujo del agua intersticial reproducen fielmente las condiciones que se registran en las irregularidades naturales del lecho, como rizos o pequeñas elevaciones.

Con las cámaras, los científicos confirmaron que sus suposiciones sobre la transformación de las sustancias en la arena y su fuerte dependencia del diferencial de presión, es decir, de la velocidad de bombeo del agua a través de la arena, eran correctas (y por ende también, con qué eficacia se abastecen de nutrientes los microorganismos que viven entre los granos de arena). "Por primera vez podemos calcular cuantitativamente dónde prevalece la liberación y dónde la fijación de dióxido de carbono en la arena, es decir, en qué época del año y en qué zonas costeras se produce o se consume CO<sub>2</sub>", constata Antje Boetius.



Izquierda: aunque el número de bacterias permanece relativamente constante, se observan importantes diferencias en la actividad de los microorganismos. La actividad enzimática más elevada (desdoblamiento de beta-glucosa) se registró a fines del verano, cuando la temperatura del agua es más elevada. Arriba: Bacterias teñidas con un colorante fluorescente sobre la superficie de los granos de arena.

→ En este sentido, también es interesante hacer una comparación con otros ecosistemas. Para medir la productividad de un ecosistema, los científicos calculan cuánto carbono se fija por metro cuadrado y por año. En el caso de la selva tropical, el valor se encuentra aproximadamente en 1.000 gramos; en el desierto, por el contrario, este valor sólo alcanza los 90 gramos. Los organismos de la arena llegan a fijar unos 100 a 200 gramos, valor comparable con el de un cultivo de soja, que requiere alrededor de 260 gramos de carbono por metro cuadrado para el crecimiento de los porotos. "Las arenas son muchísimo más productivas de lo que se creía hasta hace poco", relata Perran Cook. "Y, en consecuencia, revisten importancia en el ciclo global del carbono y para el clima".

La microbióloga de Bremen, Simone Böer, estudia en qué medida la actividad de los microorganismos en la arena depende de la

▼ Extracción submarina de un núcleo de material sedimentario de gran tamaño para realizar experimentos en el laboratorio.



época del año o de la profundidad a la que viven dentro del lecho marino. La científica viaja a Sylt cuatro veces por año y, en distintos puntos del suelo arenoso, extrae muestras de sedimentos en núcleos de 15 centímetros de largo (Fig. F). En el laboratorio, estas muestras se dividen en tres secciones de cinco centímetros cada una y luego se estudia la velocidad a la cual las bacterias presentes en las muestras asimilan distintos nutrientes. Para ello, la microbióloga agrega sustancias especiales marcadas con colorantes fluorescentes a los sedimentos: por cada molécula que las bacterias descomponen se libera una molécula de colorante. La científica determina la actividad relacionando la señal del colorante con el tiempo transcurrido (Fig. E).

### LOS MICROBIOS AMAN EL VERANO

El resultado: la actividad es mucho mayor en verano que en invierno. También se determinó la cantidad total de bacterias por mililitro de arena, para lo cual, primero hay que separarlas de la arena utilizando un equipo de ultrasonido. "Más del 90 % de las bacterias se adhieren firmemente a los granos del sedimento", explica Simone Böer. Por lo general, se encuentran aproximadamente 10<sup>9</sup> bacterias por mililitro. "Todavía no está claro en qué medida el incremento en la actividad microbiana depende de las condiciones de luz, temperatura u otros factores", dice la microbióloga. En el futuro, Böer y sus colegas del Instituto Max Planck quieren identificar la mayor cantidad de grupos bacteriológicos posible y estudiar si determinadas poblaciones aumentan su actividad en diferentes estaciones del año. Estos y otros resultados en torno a la temática de las arenas no sólo resultarán

provechosos para la investigación climática; los trabajos que se llevan a cabo en Bremen también pueden servir para la preservación de las costas. Su uso como lugares de verano o sitios para la pesca se incrementa día a día. Además, con las plataformas petroleras y los parques eólicos se sobrecarga cada vez más el paisaje costero comprometiendo su equilibrio natural. Finalmente, la concentración de sustancias contaminantes arrojadas al mar por los ríos, es relativamente alta. Por todo esto, los investigadores del Instituto Max Planck de Bremen quieren colaborar en el desarrollo de sistemas de alarma temprana que indiquen si el ecosistema de las arenas costeras está en riesgo. "El objetivo es realizar regularmente pruebas microbiológicas sencillas. Si se obtienen resultados anómalos, habrá que actuar", afirma Simone Böer. Por otra parte, los microorganismos no sólo actúan como sensores sensibles a las alteraciones ecológicas, sino que también son el primer eslabón de una larga cadena alimenticia, en cuyo extremo se encuentra el ser humano.

### PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Ute Hänslér

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst  
Servicio Alemán de Intercambio Académico

200 AÑOS  
BICENTENARIO  
ARGENTINO

Ministerio de  
Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva  
Presidencia de la Nación

SIEMENS



BASF  
The Chemical Company

