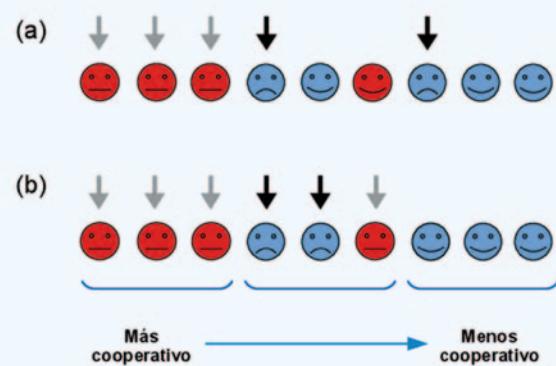


Puntos de interés

Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica y sus actores¹

UN CASTIGO PARA ESCAPAR DE LA TRAGEDIA

En un ejemplo típico de *tragedia de los comunes*, a cada país le conviene económicamente seguir usando o vendiendo combustibles fósiles pero todos admiten que hay que parar ya. Esta **deserción global corresponde en teoría de juegos a un equilibrio de Nash**. Alcanzada la cooperación global, es posible mantenerla si los jugadores (sean países, miembros de una tribu o estudiantes de psicología) pueden



castigar a los que no cooperan. Pero es mucho más difícil llevar a una sociedad en deserción hacia la armonía. Existe una transición de fase discontinua, donde la solución depende del estado inicial.

Samuel Johnson, entre las Universidades de Granada y Warwick, ha mostrado (DOI: 10.1098/rsos.150223) que **existen estrategias de castigo dirigido capaces de llevar gradualmente a una comunidad de desertores hacia la cooperación global**. La clave está en encontrar maneras de no diluir la capacidad castigadora de la sociedad en

situaciones de poca cooperación. La estrategia más sencilla se ilustra en el panel (a) de la figura. Consiste en posicionar a los jugadores según algún orden (a ser posible, que aproximadamente coincida con su tendencia natural a cooperar) y que **aquellos jugadores que estén dispuestos a castigar declaran que castigarán a cualquier jugador que no coopere si y sólo si el jugador a su izquierda coopera**. Las simulaciones muestran que la cooperación global se consigue con mucho menos nivel de castigo que cuando la estrategia consiste en castigar a todo desertor. A veces conviene refinar la estrategia. Por ejemplo, **si los jugadores son algo irracionales, es más robusta una estrategia de grupos**, como en el panel (b) de la figura. En este caso, un jugador que no coopere se considera culpable si cierto porcentaje del grupo a su izquierda está cooperando.

Estos "juegos" llevan a Johnson a proponer una **estrategia que puede servir a la comunidad internacional para combatir el cambio climático y otras "tragedias"**, como la sobre pesca, la deforestación y la contaminación. La idea consiste en formar grupos que **se comprometen a hacer cambios (emitir menos, dejar reservas sin extraer...) sólo cuando el grupo anterior esté cumpliendo sus compromisos**. Así, países pequeños pero ricos, o muy vulnerables, pueden participar en los primeros grupos, sabiendo que sus contribuciones tendrán un impacto, y los que estén más abajo se benefician de la reducción temporal de responsabilidad. Se podría encontrar una combinación de sanciones, ayudas o boicots que juegue el papel de "castigo dirigido", pero incluso el notarse **vigilado por los ojos del mundo** ya puede tener un efecto muy importante.

1 Animamos al lector a que proponga contribuciones para ser consideradas en esta sección y, en su caso, a debatir temas que aquí se presentan enviando sus comentarios para la sección "Pulsos e impulsos".

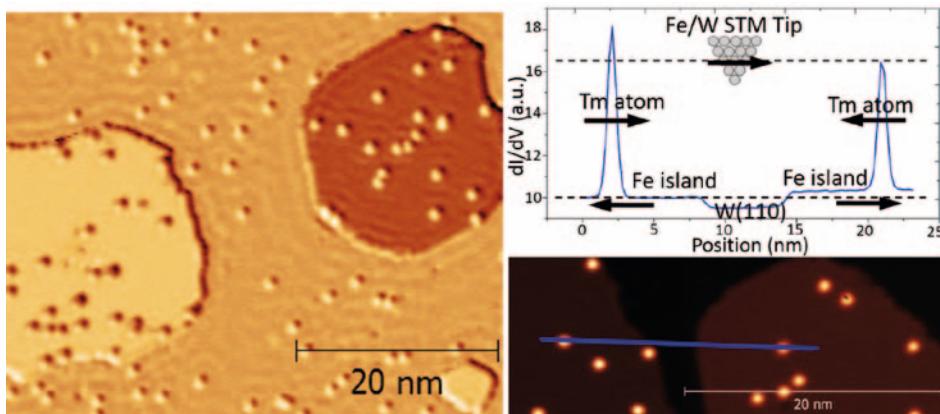


MAGNETISMO DE TIERRAS RARAS

El aumento de densidad de grabación magnética y el perfeccionamiento de dispositivos aptos para espintrónica, que requieren un buen conocimiento y control del acoplamiento entre nanomagnes, son factores importantes en el desarrollo de futuros sistemas de computación cuántica.

Las unidades magnéticas más pequeñas que podemos manipular para la fabricación de nanoestructuras son átomos, y el microscopio de efecto túnel (STM) permite manipular átomos aislados adsorbidos sobre superficies (adátomos) y determinar su estado magnético. Esto ha permitido una mejor comprensión de las interacciones magnéticas de adátomos y nanoestructuras sobre distintas superficies, un tema de interés en las dos últimas décadas, principalmente en relación con adátomos de metales de transición, cuyo momento magnético está asociado a los electrones 3d. Por otro lado, ya que en las aplicaciones indicadas el **momento magnético y la anisotropía magnética han de ser elevados**, los átomos de Tierras Raras (TR) aparecen como candidatos que deben considerarse frente a los de metales 3d, lo que ha incrementado recientemente la investigación en imanes moleculares con un ion de TR.

La accesibilidad de los electrones internos 4f de la TR y su papel en la corriente túnel, aunque abordada en



dichos imanes moleculares, es controvertida para el caso de átomos de TR sobre metales y clave para estimar la anisotropía magnética de los adátomos. David Coffey, José L. Diez-Ferrer, David Serrate, Miguel Ciria, César de la Fuente y José I. Arnaudas, en la Universidad de Zaragoza, han arrojado luz sobre este tema (DOI: 10.1038/srep13709) investigando el tipo de **acoplamiento magnético y el carácter de la corriente túnel para átomos de tulio (Tm) y de lutecio (Lu) sobre islas monocapa atómica de hierro**, en las que están adsorbidos. Las TR Tm y Lu poseen capas electrónicas externas comparables, pero su magnetismo es muy diferente, ya que la capa magnetógena 4f no está llena en Tm, pero sí en Lu, de forma que este último no posee momento magnético 4f. El similar comportamiento observado para ambos adátomos, independiente de que su capa 4f esté completa o no, indica que **en metales de TR los electrones que intervienen en la corriente túnel son los 5d**, lo cual dificulta el uso tecnológico de los electrones 4f en sistemas de átomos individuales. Los experimentos, en combinación con cálculos de primeros principios, muestran además que en ambos tipos de adátomos de TR, **los estados 5d, por su hibridación con los 3d del hierro, tienen un momento magnético de espín neto que se acopla antiparalelamente a la imanación, paralela al plano, de la isla de hierro** (la figura muestra el caso Tm/Fe).

TERMITAS Y CAMBIOS DE FASE

Las **termitas**, a pesar de sus posibles efectos devastadores en zonas habi-

tadas, **juegan un papel relevante en el ciclo del nitrógeno** y de otros elementos. Esto es así porque habitan en túneles bajo tierra formando colonias, donde **acumulan formas orgánicas de esos elementos que luego transforman en inorgánicas obteniendo energía**. En un estudio (DOI: 10.1126/science.1261487) con participación de Juan Antonio Bonachela en el Departamento de Ecología de la Universidad de Princeton, en colaboración con colegas de la Universidad de Strathclyde (Reino Unido) y del Mpala Research Centre de Nanyuki, se concluye que el papel de las termitas en zonas de clima semiári-

ta supervivencia. Puede decirse que es **el parámetro de control en un cambio de fase** entre una zona desértica y otra con vegetación. Los modelos teóricos de interacción agua-vegetación conocidos muestran que este cambio es abrupto (como los de “primer orden” en termodinámica), con el umbral de desertificación (cambio vegetación → desierto) mayor que el umbral de recuperación (cambio desierto → vegetación), por tanto mostrando un ciclo de histéresis.

El nuevo estudio, destacado en la portada de *Science*, **usa la teoría de cambios de fase para mostrar cómo las termitas contribuyen a incrementar la robustez de su ecosistema** ante cambios climáticos. El escenario se hace mucho más complejo cuando hay termitas puesto que sus túneles ayudan a la infiltración de agua y, por tanto, incrementa la humedad, mientras que la acumulación de material orgánico e inorgánico aumenta la densidad de nutrientes. El resultado global es que **las termitas crean de manera efectiva “islas de fertilidad”** en (y alrededor de) los termiteros, resultando condiciones para el creci-



do como los altiplanos de Kenia (en la foto adjunta de Robert M. Pringle, tras la temporada de lluvias, donde se aprecian montículos de termitas cubiertos de vegetación) puede ser incluso más relevante.

La **densidad de agua de lluvia en zonas semiáridas** es el recurso que más limita el crecimiento de vegetación y, por tanto, un factor determinante para

el crecimiento de vegetación más favorables. De hecho, añadiendo estos factores a los modelos matemáticos conocidos, el diagrama de fases cambia radicalmente: **para cantidades de lluvia con las que el sistema original sería desierto, el sistema con termitas muestra vegetación sobre los termiteros**. Así, los umbrales de desertificación y recuperación quedan desplazados

a densidades de lluvia menores o, en otras palabras, el ecosistema resiste condiciones más severas y se recupera más fácilmente, todo gracias a la presencia de las termitas.

El modelo teórico ha permitido un estudio muy detallado que, sobre el terreno, hubiera requerido un control exhaustivo del sistema real (densidad de lluvia incluida) durante décadas, algo difícilmente realizable en la práctica. También es notable que se trata de un **estudio multidisciplinar**, fruto de combinar datos sobre el terreno, ecología, y modelos matemáticos, **en el que la física ha sido determinante**.

LÁSERES ORGÁNICOS VERSÁTILES, COMPACTOS Y EFICIENTES

Los láseres basados en películas delgadas orgánicas tienen gran interés por sus potenciales aplicaciones en

preparado en película delgada usando métodos baratos tales como la impresión.

Una colaboración (DOI: 10.1038/natcomms9458) entre el grupo de María A. Díaz-García, de la Universidad de Alicante, Juan Casado, de la Universidad de Málaga y un grupo japonés **ha conseguido fabricar láseres con estas características**, esto es, muy eficientes, extremadamente estables durante su funcionamiento bajo iluminación en condiciones ambientales (permiten más de 24 horas de operación continua) y emiten en todos los colores del espectro visible. Esto ha sido posible **combinando un nuevo tipo de moléculas orgánicas** basadas en oligoparafenilenos vinílicos rigidificados intramolecularmente (denominadas COPV_n, con $n=1-6$, siendo n el número de veces que se repite una unidad básica), que muestran ganancia óptica y fotoestabilidad elevadas, así como gran estabilidad química y térmica, **con resonadores láser fabricados mediante técnicas litográficas**, que consisten en nanoestructuras grabadas en la propia película o en el substrato sobre el que ésta se deposita.

El resonador láser es un elemento básico en estos dispositivos cuya función consiste en que el haz de luz originalmente generado por el material pase muchas veces

a su través para conseguir mayor amplificación y un color mejor definido, es decir, un espectro de emisión muy estrecho. La protección estérica del esqueleto de carbono ópticamente activo y la rigidez/planaridad estructural de los COPV_n son claves en el diseño para obtener emisión láser con muy poca energía de excitación, cercana a la que pueden suministrar fuentes compactas, tales como diodos láser o incluso diodos emisores de luz. Además, estos compuestos permiten modular el color de la emisión en prácticamente todo el espectro visible, simplemente cambiando el número n ; y son semiconductores, lo que permite desarrollar láseres orgánicos excitados eléctricamente. **Los COPV_n son materiales únicos que aúnan todas estas propiedades en un**

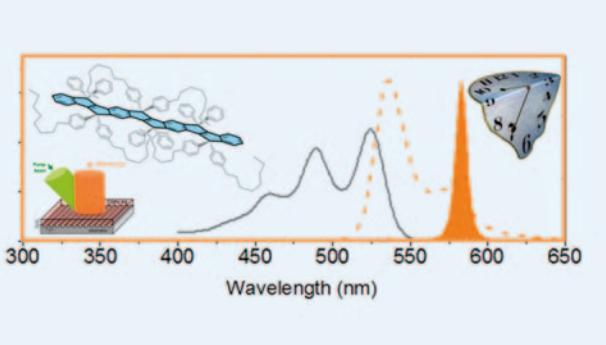
único diseño molecular permitiendo así **fabricar láseres con prestaciones excelentes**.

COMUNICACIÓN ELÉCTRICA EN BACTERIAS

El sistema nervioso es uno de nuestros principales activos. Los pensamientos y la inteligencia, la manera en que percibimos el mundo a través de nuestros sentidos y cómo actuamos sobre él a través de nuestros músculos, todo ello depende de la comunicación eléctrica entre células especializadas, las neuronas. Iones diversos entran y salen de nuestras neuronas continuamente, dando lugar a pequeñas corrientes eléctricas cuya propagación permite que **distintas partes de nuestro cuerpo se comuniquen entre sí y con nuestro cerebro de forma muy eficiente**. ¿Pero cómo **surge esta forma de comunicación celular**? Hasta el momento sólo se había observado comunicación eléctrica en células relativamente complejas, empezando por los paramecios. Una colaboración de Jordi García Ojalvo en la Universitat Pompeu Fabra con colegas de las Universidades de California en San Diego y de Warwick en el Reino Unido acaba de mostrar (DOI: 10.1038/nature15709) que **las bacterias ya usan señales eléctricas para comunicarse entre sí**.

Se sabe desde hace años que éstas **tienen canales iónicos**, estructuras que permiten a los iones entrar y salir de las células. Comprender el uso que tienen estos canales ha sido crucial para comprender el caso de nuestras neuronas. Aquellos investigadores han descubierto que **las bacterias usan esos canales para comunicarse entre sí cuando se encuentran en dificultades** debido, por ejemplo, a la falta de nutrientes. Esto pasa frecuentemente en biofilms bacterianos, colonias celulares en las que conviven millones de bacterias, cuando se dan condiciones adversas. **Las bacterias pueden entonces sobrevivir mejor, lo que puede llegar a constituir un problema clínico y medioambiental** para los seres humanos, debido a su resistencia a antibióticos y agentes desinfectantes.

En los biofilms bacterianos, **las bacterias del interior se encuentran en una situación de gran estrés** debido



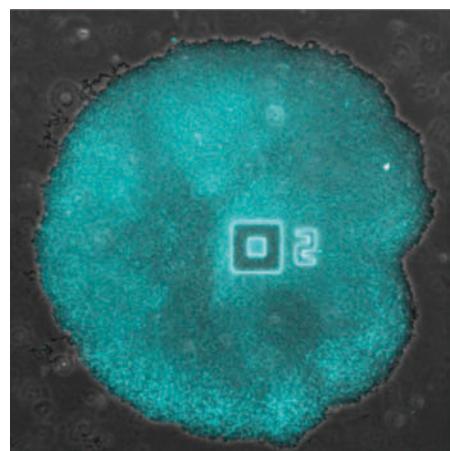
comunicaciones ópticas, espectroscopía y sensores químicos y biológicos. Su atractivo reside en que sus componentes orgánicos los hacen **baratos, mecánicamente flexibles, compactos**, fácilmente integrables con otros dispositivos y emiten luz en todo el espectro visible. El reto actual consiste en dar con el material orgánico adecuado que permita llevarlos al mercado. Esto es, **han de amplificar con altas prestaciones en varios aspectos**. Se les pide que requieran poca energía para funcionar, de modo que puedan alimentarse con una fuente de luz compacta o una batería, que tengan funcionamiento estable en aire que permita larga duración, que emitan luz de distintos colores, y que el material sea soluble para poder ser

a la falta de nutrientes. El estudio de García Ojalvo y colaboradores pone de manifiesto que estas bacterias envían entonces señales eléctricas a las bacterias de la periferia del biofilm, menos estresadas, para que les ayuden a sobrevivir (básicamente dejando pasar más nutrientes). La principal moneda de cambio de esta interacción es el glutamato, y el ión asociado es el potasio.

Curiosamente, el glutamato y el potasio juegan también un papel muy importante en desórdenes neuronales

como las auras, ondas de actividad eléctrica anómala que se producen en el cerebro de personas con epilepsia y migrañas. Es por tanto de esperar que el fenómeno descubierto ahora en neuronas pueda asociarse con esos comportamientos patológicos en el cerebro humano.

La figura, obtenida en el laboratorio de la UCSD, muestra un biofilm formado por bacterias *Bacillus subtilis*. El azul se corresponde con la fluorescencia de Thioflavina-T, un marcador de potencial de membrana.



EL SISTEMA D13. NADA QUE CELEBRAR

by Joan Tretze. 2015

