

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

ANIMANDO A LOS ASTROS

¿Cuál es la estructura de un agujero negro? ¿Cómo funciona el campo magnético del Sol? ¿Qué es curvatura del espacio-tiempo? En muchos casos, no disponemos de imágenes reales y, en otros, se trata de conceptos poco intuitivos o demasiado complejos para explicar solo con palabras. La infografía y la anima-

El proyecto, denominado “Cuando los astros se animan”, tiene una doble función. Esto es, además de **desarrollar productos de divulgación para un público amplio**, se trata de **acostumbrar a profesionales y estudiantes de diseño y animación al lenguaje científico**, con objeto de que busquen recursos y estilos de animación que puedan **ajustarse mejor al mensaje**. De hecho, este trabajo ha mostrado cómo hay importantes carencias en el manejo del lenguaje científico fuera de su entorno, los centros de investigación, carencias que muestran la necesidad que hay de intensificar los esfuerzos por divulgar ciencia. A la vez, el proyecto ha familiarizado a los divulgadores con el lenguaje audiovisual.

En el contexto de esta iniciativa, se han desarrollado siete temas que abarcan, desde conceptos generales de astrofísica, hasta la explicación de proyectos científicos concretos, y también se ha producido un vídeo corporativo. Concretamente, se relata el viaje de un fotón desde su nacimiento en el núcleo del Sol hasta su llegada a nuestro planeta, incidiendo en cómo se transporta la energía a través de las distintas capas de nuestra estrella. También se narra cómo se formaron los elementos



Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogg.com).

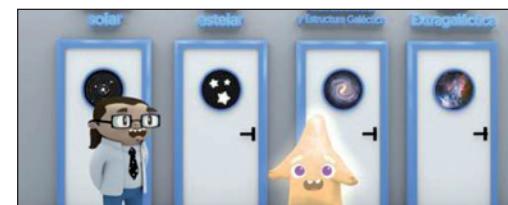


ción son entonces el mejor vehículo para transmitir el mensaje. Sin embargo, la animación aún es minoritaria en nuestro país como recurso divulgativo, quizás por carencia de diseñadores especializados en este área o por el esfuerzo extra que supone trasladar un mensaje a un medio que ha de ser breve (la producción resulta cara) y extremadamente sintético.

La Unidad de Comunicación del Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC ha indagado recientemente en las **posibilidades que ofrece la animación para comunicar conceptos científicos**. La iniciativa, financiada por la *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología*, ha permitido desarrollar siete piezas con distintas temáticas y estilos de animación que pueden visualizarse en la web animaciones.iaa.es



químicos en el universo, primero en la nucleosíntesis primordial y después en el corazón de las estrellas. Además, se explica cómo se catalogan los **distintos tipos de estrellas** y se detallan las **condiciones que actualmente conocemos del planeta Marte**. Por otra parte, también se divultan proyectos



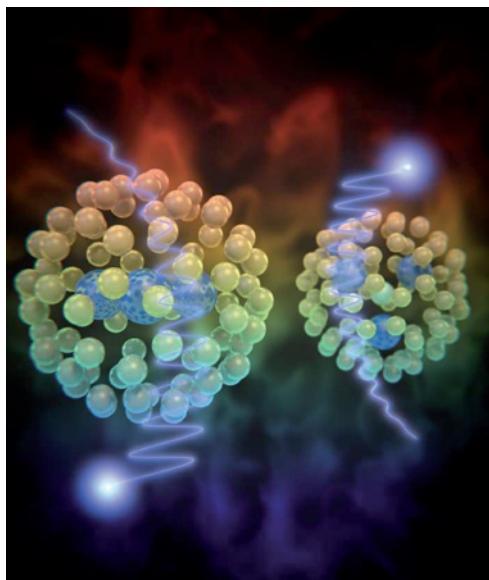
científicos en marcha, como *CALIFA* (un gran muestreo de galaxias en 3D) y *CARMENES*, un instrumento destinado a buscar planetas como el nuestro en torno a otras estrellas.

En fin, este proyecto —que ha empleado distintos tipos de animación (tradicional, *stop-motion*, vectorial...), narración y locución, tratando de optimizar la adaptación del lenguaje al tema en cada caso— ha revelado un **enorme potencial de este medio para la comunicación de conceptos científicos**. No hay duda de que debe explorarse más el camino.

OBSERVANDO UNIONES MOLECULARES PARA AHORRAR ENERGÍA

Los **materiales termoeléctricos**, capaces de convertir calor en electricidad, son candidatos para recuperar parte del calor que desperdiciamos, estimado en más de la mitad de la energía total generada en nuestro planeta. Pero los actualmente disponibles tienen un rendimiento limitado además de problemas de toxicidad y un elevado coste.

1 Sección preparada por Joaquín Marro (jmarro@ugr.es), en colaboración con actores implicados, que anima a proponer contribuciones relevantes para ser consideradas aquí.



Afortunadamente, ya pueden estudiarse las propiedades termoeléctricas indagando en las mismas uniones moleculares a escala nanométrica. Incluso es posible inspeccionar una única molécula entre dos electrodos con un microscopio de efecto túnel modificado. Esto ha de permitir diseñar nuevos materiales orgánicos más apropiados y de menor coste, y se ha abierto así un campo de investigación muy activo cuyos resultados, por lo que se refiere a la obtención de materiales eficaces y respetuosos con el medio ambiente, podrían tener un enorme impacto en nuestra sociedad.

Los investigadores de la UAM Laura Rincón-García y Nicolás Agraít (ambos en el IMDEA-Nanociencia), Charalampos Evangelí y Gabino Rubio-Bollinger, colaborando con colegas de las Universidades de Lancaster, Tikrit y Oxford, han mostrado por primera vez, en un trabajo que combina experimentos y cálculos teóricos (DOI: 10.1038/nmat4487) que algunos fullerenos *endohédricos* (FE) son sistemas *bitemporelectríficos*. Esto es, el coeficiente termoeléctrico de la molécula puede ser positivo o negativo, dependiendo de su orientación. Se sigue, además, la posibilidad de modificar el valor de este coeficiente ejerciendo presión sobre la molécula.

La molécula FE está formada por un **fullereno** (átomos de carbono ordenados en una estructura similar a la de un balón de fútbol) dentro del que se introduce otra molécula mediante síntesis química. En el caso $Sc_3N@C_{80}$ (en la figura, según dibujo de E. Saha-

gún, www.scixel.es), el fullereno tiene 80 átomos de carbono y contiene tres átomos de escandio unidos a un átomo de nitrógeno. La orientación de cada molécula en el compuesto determina que la corriente eléctrica pase en uno u otro sentido, lo que fija el signo del coeficiente termoeléctrico. Al ejercer presión, se modifican las propiedades de transporte y el valor de este coeficiente se vuelve más negativo. De esta forma, si es inicialmente positivo, puede cambiar de signo. La clave de este comportamiento tan peculiar consiste en la aparición de una resonancia de transporte en la molécula metálica dentro del fullereno a la que son sensibles los electrones que atraviesan la molécula.

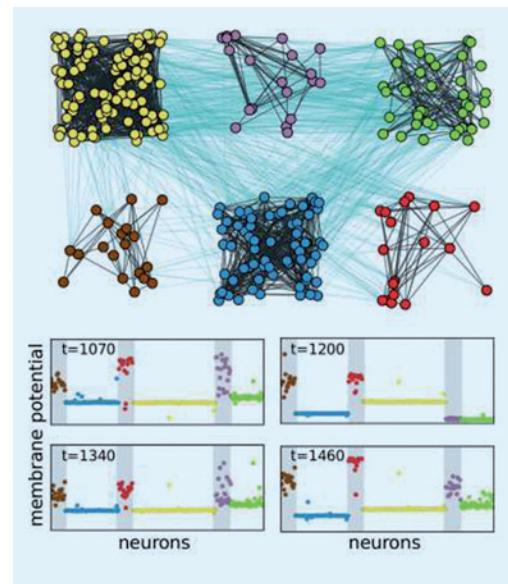
Este hallazgo abre la puerta al estudio de nuevos materiales que han de permitir avances tecnológicos en aplicaciones de recuperación de calor, sensores y sistemas de refrigeración. Se trata de conseguir materiales con una eficiencia óptima para tratar de minimizar las pérdidas energéticas.

LA SINCRONIZACIÓN CONVENCE

Inspirados en *Quimera*, la criatura mitológica griega con cabeza de león, cuerpo de cabra y cola de serpiente, Daniel Abrams y Steven Strogatz acuñaron el término **estados químéricos** para designar un fenómeno contra-intuitivo: la coexistencia en un sistema de un estado sincronizado en una de sus partes con otro intrínsecamente asincrónico. Es una circunstancia posiblemente relacionada con el *sueño uni-hemisférico*, es decir, la capacidad de tener una mitad del cerebro dormida y otra no, observado en aves y delfines, que duermen con un ojo cerrado mientras el otro permanece vigilante.

El fenómeno ha sido estudiado en sistemas de osciladores acoplados, donde todos los osciladores se comunican con todos, y en redes de topología aleatoria. No se habían estudiado **redes modulares**, cuyos nodos forman grupos (módulos) internamente más densamente conectados que entre módulos distintos. Para comprender estos escenarios, Nikos E. Kouvaris y Albert Díaz-Guilera de la UB y Gorka Zamora-López de la UPF en colaboración con

colegas de las Universidades de Creta y Essex y el Centro “Demokritos” en Atenas (DOI: 10.1038/srep19845) se han inspirado en la **red neuronal del Caenorhabditis elegans**. Se trata de un gusano de un milímetro de longitud cuyo sistema nervioso tiene 302 neuronas relacionadas mediante sinapsis de dos tipos, eléctricas o químicas, que desempeñan roles distintos en la dinámica de auto-organización. Usando **métodos automatizados de detección de comunidades**, los investigadores dividieron esta red neuronal en **seis módulos**, con las neuronas en cada grupo enlazadas mediante sinapsis eléctricas mientras que las neuronas de grupos distintos se relacionaban mediante sinapsis químicas. Para completar el modelo, se supuso que la actividad de cada neurona obedecía una **dinámica caótica con interacciones a pulsos entre neuronas**.



Al estudiar la actividad resultante en simulaciones numéricas, se observaron **estados dinámicos químéricos** en los que una fracción de neuronas fuertemente sincronizadas coexistía con el resto sin sincronizar. El análisis topológico de la estructura de la red reveló que este fenómeno tan peculiar es debido a la heterogeneidad de la distribución de neuronas en módulos o comunidades de distinto tamaño y densidad. Y, más importante, se ha notado así que las dos comunidades de mayor tamaño son las más influyentes: mientras sus neuronas permanezcan sincronizadas, son capaces de perturbar la actividad de las comunidades más pequeñas.

impidiendo la sincronización entre sus neuronas. No hay duda del interés que tiene **extrapolar este comportamiento a otros escenarios en biología y sociología**.

En la figura, los nodos pertenecientes a comunidades diferentes en el *C. elegans* se identifican con distinto color, y las sinapsis eléctricas se indican en negro, mientras que las químicas son azules. En la parte inferior, se muestran cuatro instantáneas de la actividad del sistema. Barras semitransparentes grises indican las comunidades cuyos nodos son en su mayoría asíncronos.

LÁSERES CON ESPEJOS DESORDENADOS

Una fuente de luz láser tiene dos elementos principales: uno (la cavidad) atrapa la luz en el interior del dispositivo y otro (el material con ganancia) es capaz de emitir luz y amplificarla. El **primer láser de la historia** consistía de un cristal de rubí y dos **espejos paralelos en sus extremos** de modo que, en cada rebote, la luz generada en el cristal volvía a pasar a lo largo de él estimulando nueva emisión y amplificándose una y otra vez. **Esta estructura genera un haz predominantemente direccional** (perpendicular a los espejos) y **monocromático** (por efecto de la cavidad resonante).

Los **láseres estocásticos** pertenecen a una categoría muy diferente. Contienen un **material activo entremezclado con polvo** (partículas nanométricas) de **alto poder difusivo**. Las partículas, **en posiciones y con formas aleatorias**, difunden la luz en el interior del material

activo, alargando así el camino de la luz y amplificando la intensidad. Al carecer de cavidad, la **emisión es omnidireccional** en contraposición con el fino haz de un láser convencional.

Antonio Consoli y Cefe López del Instituto de Ciencia de Materiales CSIC de Madrid han propuesto un **nuevo láser estocástico** y demostrado su funcionamiento (DOI: 10.1038/srep16848). Las funciones en él están separadas: hay una región con ganancia y otra con retroalimentación difusa. El **polvo de nano-partículas que produce la retroalimentación óptica** se encuentra **en los extremos del material activo**, en vez de estar entremezclado y distribuido al azar. Su arquitectura recuerda la de un láser clásico, pero con los **espejos sustituidos por superficies rugosas muy difusivas**.

Estos investigadores han demostrado que así se obtiene acción láser con **numerosos picos de emisión estrechos y aleatoriamente distribuidos en el espectro** (figura) y con un umbral de emisión (bombeo mínimo para funcionamiento). Un sencillo modelo teórico, en el que los dos bloques difusivos son “espejos” cuyas respuestas en amplitud y fase son arbitrarias, indica que el láser solo podrá oscilar a las frecuencias que recorran un camino óptico cerrado dentro del dispositivo y cuya longitud corresponda a un número entero de longitudes de onda de emisión. El umbral de cada modo queda determinado por la contribución conjunta de las pérdidas debidas a la respuesta en amplitud de cada “espejo” y a la ganancia.

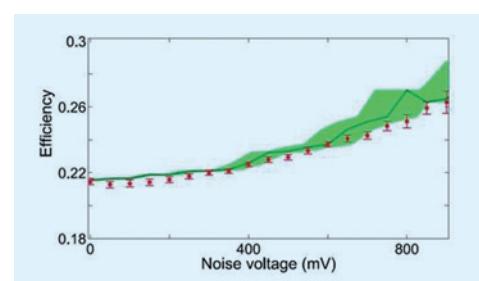
En definitiva, los autores han revelado la posibilidad de una **novedosa estructura para un láser estocástico**,

que simplifica el diseño y muestra analogía con los láseres tipo Fabry-Perot, y han desarrollado un modelo teórico que explica el funcionamiento del dispositivo. La figura muestra, arriba, un esquema del láser, con dos regiones de partículas (blancas) delimitando una región desde donde se bombea. Abajo se amplifican las regiones de emisión, a la

izquierda, y se muestran sus respectivos espectros, a la derecha.

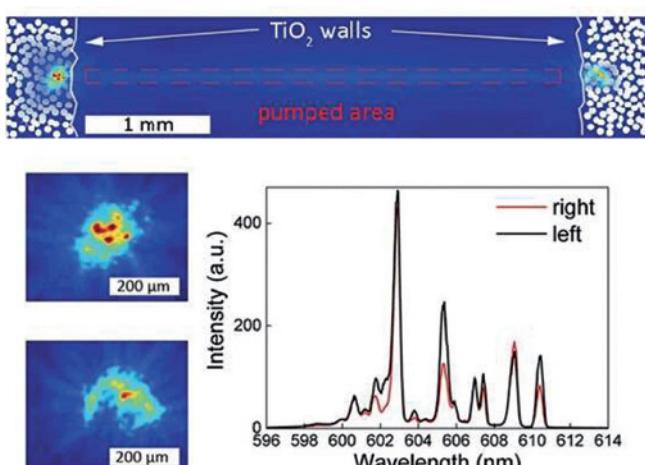
ES MEJOR CON OSCILADORES RUIDOSOS

Un conjunto de osciladores armónicos acoplados es **metáfora matemática apropiada para muchos sistemas naturales**, desde conjuntos mecánicos de péndulos que se relacionan mediante resortes, hasta complejos moleculares que se saben relevantes en biología. Un



elemento esencial que deben de incorporar estos modelos para ser realistas es el **ruido**, que es componente esencial en todo sistema natural. Podría pensarse que el ruido tendría que disminuir la eficiencia del transporte de energía entre los osciladores, pero el **estudio del efecto del ruido en sistemas dinámicos coherentes ha llevado al convencimiento** en los últimos años de que, bajo ciertas condiciones, **incrementa sorprendentemente la eficiencia de ese transporte**. De hecho, se ha descrito un fenómeno, conocido como **transporte asistido por ruido**, que viene despertando mucha atención como potencial candidato para mejorar el diseño, ingeniería y construcción de nuevos dispositivos, en particular, en el caso de dispositivos fotosintéticos artificiales tales como las células solares orgánicas de alta eficiencia.

Estaba demostrado teóricamente que el transporte asistido por ruido era un fenómeno fascinante susceptible de ocurrir tanto en sistemas clásicos como cuánticos, pero no se había conseguido observar experimentalmente. Una colaboración de Juan P. Torres en el ICFO y la UPC y Roberto León en la Universidad de California en San Diego con investigadores del INAOE de Puebla, el Instituto Politécnico Nacional de Santa Ana y la UNAM, todos estos centros en



Méjico, han conseguido **observar por primera vez** (DOI: 10.1038/srep17339) el **transporte asistido por ruido en una red de osciladores electrónicos acoplados**.

El sistema estudiado se inspira en el funcionamiento de un ordenador analógico. Los investigadores demuestran así que, al introducir desorden dinámico, esto es, *ruido*, en uno de los acoplamientos en una red de osciladores, la **eficiencia en el transporte de energía del sistema logra incrementarse hasta en un 25 %**. El hecho de que este efecto pueda ocurrir en sistemas electrónicos abre **caminos fascinantes hacia el desarrollo de nuevos métodos que permitirían mejorar la eficiencia en el transporte de energía**, tanto en sistemas de transferencia de información en circuitos micro-electrónicos como en líneas eléctricas de alta tensión.

En el experimento se transfirió energía de un oscilador (fuente) a otro (receptor) conectados en una red. La figura muestra la **fracción de energía (teoría y experimento) disipada en el receptor en función de la cantidad de ruido** presente en la red. Se observa claramente que la eficiencia del transporte de energía desde la fuente al receptor crece con el nivel de ruido.

SEÑALES ELÉCTRICAS Y CRECIMIENTO BIOLÓGICO

La comunicación intercelular sigue rutas bioquímicas, incluyendo los flujos iónicos a través de la membrana celular y señales eléctricas codificadas en el potencial eléctrico. Es importante la **diferencia**

de **potencial eléctrico** (unas decenas de milivoltios), denominada **potencial de membrana**, que existe entre el **interior de la célula y el medio extracelular**. Este potencial está regulado por **canales iónicos**, esto es, proteínas especializadas que se insertan en la membrana celular y actúan como diodos que facilitan el transporte de iones como potasio, sodio y calcio. El potencial de membrana resulta ser anormalmente bajo (*estado depolarizado*) en células plásticas como las embrionarias y las cancerosas, mientras que es alto (*estado hiperpolarizado*) en células estables ya bien diferenciadas.

El estudio de los fenómenos de bioelectricidad en procesos de desarrollo multicelular tuvo su auge en la primera mitad del siglo xx, pero fue perdiendo relevancia frente a los extraordinarios avances de los estudios genéticos. Actualmente, hay un **renovado interés por las señales eléctricas en medios biológicos** debido al desarrollo de métodos experimentales que permiten obtener detallados **mapas espaciotemporales del potencial eléctrico** en sistemas multicelulares. Estos mapas pueden ser importantes para estudiar

la morfogénesis y la biofísica del cáncer debido a la conexión entre los procesos bioeléctricos y los bioquímicos a nivel celular. En efecto, las **señales eléctricas parecen facilitar la coordinación entre células vecinas en el crecimiento de tejidos** y en los procesos tumorales observados en seres vivos (véase, por ejemplo, doi:10.1038/nature.2015.17087). Una mejor comprensión de estas señales puede así conducir al desarrollo de métodos que permitan su control desde el exterior, con importantes posibles implicaciones en biomedicina.

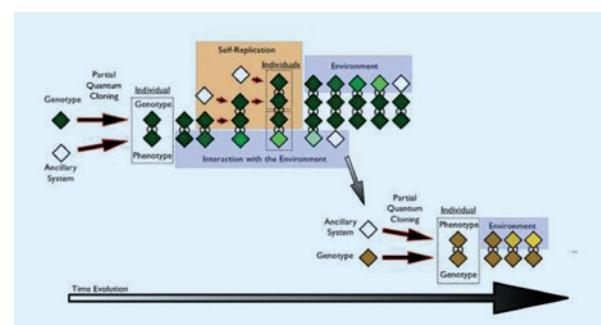
Javier Cervera y Salvador Mafé de la UV y Antonio Alcaraz de la UJ1 han propuesto un **método** (esquematizado en la figura adjunta) para **simular la bi-estabilidad en células interconectadas eléctricamente** (doi:10.1038/srep20403) basado en: *i*) el potencial de membrana como característica individual del estado eléctrico celular; *ii*) una red de canales de unión (*gap junctions*) entre células vecinas que traslada a la escala multicelular los cambios eléctri-

cos individuales, permitiendo de este modo la formación de estructuras espacio-temporales; *iii*) un agente externo que modifica localmente las conductancias de los canales iónicos de la membrana, introduciendo así una modulación bioquímica en las estructuras anteriores.

Los mapas espacio-temporales de potencial eléctrico obtenidos **sugieren mecanismos de comunicación e información** posicional intercelular en sistemas modelo. Además, abren la posibilidad de **actuar sobre los estados eléctricos multicelulares incorporando nanopartículas** con carga eléctrica que puedan bloquear canales iónicos específicos.

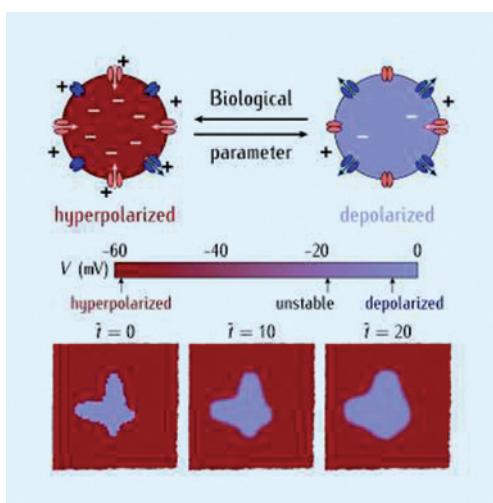
VIDA ARTIFICIAL CUÁNTICA

El **fenómeno biológico de la vida** es el resultado de miles de millones de años de evolución sometida a selección natural. Es un proceso que ha combinado **auto-replicación de los individuos, con interacción y competencia entre ellos, y efectos de mutación en el material**



genético. Todo ello fue incrementando la complejidad del ser vivo y, en último término, propició el surgimiento de vida inteligente mediante selección de los más adaptados. La **interacción de cada individuo con un entorno cambiante y su adaptación** al mismo han jugado un papel crucial en el proceso.

En las últimas décadas se viene estudiando la posibilidad de desarrollar **vida artificial en plataformas de materia inerte**, ya sean químicas, mecánicas o de software. Esta línea de investigación se enmarca en la **biomimética** —la ciencia que se inspira en la biología para diseñar dispositivos y aplicaciones artificiales más eficientes.

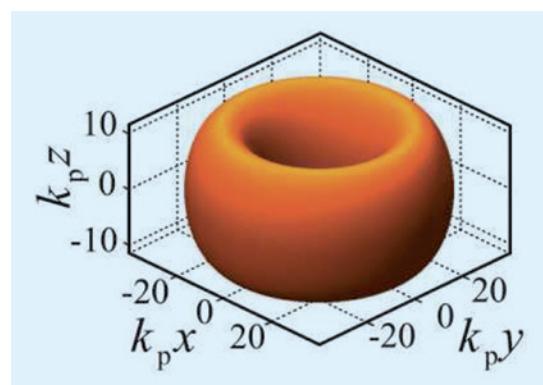


Unai Alvarez-Rodríguez, Mikel Sanz, Lucas Lamata y Enrique Solano de la UPV/EHU han propuesto (DOI: 10.1038/srep20956) **un modelo de vida artificial basado en sistemas genuinamente cuánticos**. Si bien la vida descansa en la química orgánica que a su vez se basa en el enlace químico descrito por la mecánica cuántica, la mayoría de investigación en biología utiliza modelos clásicos de “bolas y varillas” para describir los átomos y sus enlaces, pues ello suele ser suficiente para analizar las propiedades de los sistemas vivos. Estos investigadores, sin embargo, se han inspirado en el fenómeno de auto-replicación y en la selección natural darwiniana para indagar sobre estas cuestiones en un escenario de *vida artificial cuántica*.

La propuesta (esquematizada en la figura) consiste en crear un modelo puramente cuántico —basado en sistemas de bits cuánticos (*qubits*), con propiedades genuinamente cuánticas, incluyendo *superposición* y *entrelazamiento*— y analizar una **posible forma de vida artificial en un sistema cuántico con unos pocos constituyentes**. Su modelo construye “individuos cuánticos” formados por dos **qubits**, uno de los cuales constituye el material genético, o *genotipo*, y el otro corresponde a la expresión del material genético en su interacción con el ambiente, o *fenotipo*. Mientras que el primero no se degrada con el tiempo, aunque puede sufrir mutaciones (puertas lógicas cuánticas), el segundo se acopla con un reservorio y se va degradando progresivamente hasta llegar a la muerte del individuo. El trabajo analiza así **cómo diferentes individuos cuánticos se auto-replican e interaccionan mientras sufren mutaciones**. Un resultado principal es que las sucesivas generaciones de individuos cuánticos van quedando correlacionadas con entrelazamiento cuántico, lo que permite localizar toda su genealogía previa mediante medidas de correlaciones. Los investigadores han sentado así las bases para el análisis de vida artificial y **diseño evolutivo en tecnologías cuánticas**.

CONGELANDO LA LUZ

La luz se propaga en el vacío en forma de onda electromagnética a una velocidad *c* constante sin importar el sistema de referencia desde el que se observa. Esta invariancia constituye uno de los postulados fundamentales de la relatividad especial de Einstein. Sin embargo, cuando atraviesa un material transparente, la interacción con los electrones del material reduce esa velocidad, esto es, pasa a ser c/n donde *n* es el índice de refracción que supera la unidad en los medios transparentes más comunes. Una consecuencia de ello es que la



luz puede presentar comportamientos anómalos cuando este índice toma valores extremos.

Un caso interesante es el de los medios con índice de refracción casi nulo (NZI), cuyo estudio ha recibido mucha atención en los últimos años. Plasmas, metales, compuestos metalodiélectricos y conductores transparentes son ejemplos de esta clase de materiales. La respuesta óptica está dominada en ellos por el movimiento colectivo de los electrones de conducción, cuya densidad determina la llamada *frecuencia de plasma*, ω_p . A frecuencias ópticas por encima de este valor, el medio es transparente, mientras que se hace el índice imaginario y el material impenetrable a la luz a frecuencias menores. Cerca de ω_p , la *velocidad de fase* (cociente ω/k entre frecuencia y vector de onda) diverge y la *velocidad de grupo* $d\omega/dk$ se anula, así que la luz se detiene por completo. En este régimen, la interacción de los electrones con la luz se amplifica, dando lugar a **oscilaciones electrónicas de gran amplitud**, más allá del nivel en el que dichas oscilaciones son armónicas.

Andrea Marini y Javier García de Abajo del ICFO en Barcelona han estudiado esta situación (doi:10.1038/srep20088, donde hay un vídeo ilustrativo) **resolviendo numéricamente las ecuaciones de Maxwell** en medios NZI cuando se produce esta anormalidad. Sorprendentemente, observan soluciones en las que la luz adquiere distribuciones espaciales con forma toroidal (como en la figura) en las que permanece inmóvil y atrapada por la interacción con la perturbación que ella misma produce. Son “toros de luz” que podrían ser utilizados para procesar y almacenar datos ópticos en memorias cuánticas y en láseres que funcionen sin cavidad óptica.

Es notable que el espacio interestelar y la atmósfera ionizada se comportan como medios NZI y que, al explorar tal analogía, esos investigadores han encontrado una notable similitud entre sus toros de luz inmovilizada y los **rayos de bola** (una extraña forma de relámpago cuyo origen aún no ha sido explicado). Este trabajo apoya la hipótesis de que estos rayos son **microondas, inmovilizadas en la atmósfera ionizada**, que calientan el aire y emiten radiación de cuerpo negro.

CUANDO EL GRAFENO TOCA METALES

El **grafeno** —una única lámina de átomos de carbono formando red hexagonal— está convirtiéndose en el material del siglo. Entre los diferentes **métodos para obtenerlo** que se han explorado desde que se aisló a partir de grafito en 2004, una prometedora ruta para producirlo a gran escala es su **crecimiento sobre superficies metálicas**. El substrato juega entonces un doble papel. Por un lado, cataliza la conversión de átomos de carbono en lámina 2D y, por otro, hace de plataforma para manipular el grafeno que luego puede ser eliminada químicamente con facilidad. Es por ello que **comprender bien la interacción entre grafeno y los metales de transición** que suelen usarse para esta plataforma es hoy un activo campo de trabajo.

Al crecer grafeno sobre la superficie cristalina de un metal de transición aparecen superestructuras llamadas **moirés**. Son ondulaciones nanoscópi-

cas de la lámina de grafeno debidas a la diferencia que hay entre las constantes de red del grafeno y de la superficie. Diferentes moirés pueden aparecer en la misma superficie como consecuencia de distintos ángulos de contacto del grafeno con la superficie (uno de ellos se muestra a la derecha en la imagen adjunta). José I. Martínez, Anna L. Pinnardi, Gonzalo Otero-Irurueta, María F. López, Javier Méndez y José A. Mar-

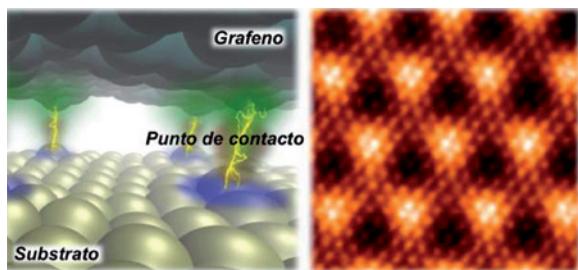
y explicar así las propiedades estructurales y electrónicas de estos sistemas potencialmente tan interesantes.

ESPINES ANCLADOS A GRAFENO

Se espera que el grafeno, al que también se refiere la reseña anterior, contribuya a revolucionar muchas aplicaciones, desde el almacenamiento de energía a la fabricación de pantallas delgadas y flexibles. Además, aunque campos como la *espintrónica* —en los que se fundamenta la grabación magnética y la tecnología de discos duros— parecen en principio ajenos a estas novedades, pues el carbono no es magnético, **es posible inducir magnetismo en esos materiales introduciendo defectos y vacantes, incluso otros átomos y moléculas**. En consecuencia,

tín-Gago del ICMM-CSIC en Madrid con Pablo Merino del INTA-CSIC, en una colaboración con la Universidad de Aveiro, han **estudiado** (doi:10.1038/srep20354) los moirés más representativos que aparecen sobre las superficies hexagonales de **platino**, proponiendo un modelo para entenderlos basado en regiones de mayor interacción (“puntos de contacto”). Lo han conseguido **combinando experimentos de microscopía de efecto túnel y simulación computacional** a partir de primeros principios.

La conclusión más importante de estos investigadores es que, en los moirés analizados, el **contacto entre el grafeno y el substrato metálico** se relaja estructuralmente produciéndose una importante **corrugación tanto en el lado del grafeno como en el lado del substrato**. La superficie metálica resulta formar una reconstrucción anti-especular de la corrugación inducida en el grafeno, provocando la aparición de zonas de alta interacción. Estos “**puntos de contacto**” aparecen **entre los átomos de carbono del grafeno y los átomos metálicos más cercanos y coincidentes, y hacen de tuberías de drenaje de la carga eléctrica** que se traspasa desde el platino hacia el grafeno (como ilustra la figura). El **modelo es útil para describir distintos contactos grafeno/metal**



— parecen en principio ajenos a estas novedades, pues el carbono no es magnético, **es posible inducir magnetismo en esos materiales introduciendo defectos y vacantes, incluso otros átomos y moléculas**. En consecuencia,

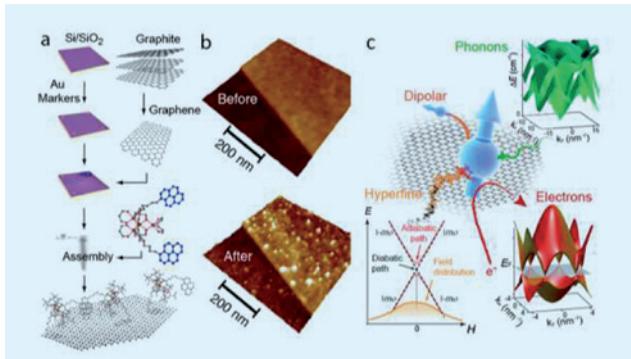
definidas y robustas que contienen cuatro átomos de hierro rodeados por una nube de ligandos orgánicos.

Un resultado sorprendente de este estudio, destacado en la portada de *Nature Materials*, es que **la presencia de grafeno modifica drásticamente la dinámica de los espines moleculares**. Experimentos de susceptibilidad magnética realizados en Zaragoza llegando a temperaturas próximas al cero absoluto, muestran que **los espines se invierten por efecto túnel cuántico a frecuencias hasta 10⁶ veces más elevadas que las características cuando las moléculas forman un cristal**. Se asocia, por un lado, a que el grafeno apantalla a las moléculas frente a las fuentes de ruido electromagnético y, por otro, a que el campo eléctrico generado por el grafeno aumenta notablemente la probabilidad del efecto túnel de espín.

El hallazgo sugiere un **método sencillo para mejorar las propiedades de los materiales involucrados** con vista a tecnologías concretas. Por ejemplo, el dopaje de grafeno con moléculas magnéticas puede ser relevante para

fabricar memorias y sensores magnéticos. La protección que el grafeno brinda a los espines también puede ser clave para usar las moléculas como unidades de información (qubits) en un futuro ordenador cuántico. Además, campos eléctricos generados localmente en una lámina de grafeno pueden inducir operaciones cuánticas a velocidades mucho mayores que las conseguidas usando campos magnéticos.

La figura recrea: (en a y b) la síntesis del material híbrido y (en c) cómo un espín molecular anclado al grafeno se acopla a diversas excitaciones que así determinan su dinámica cuántica.

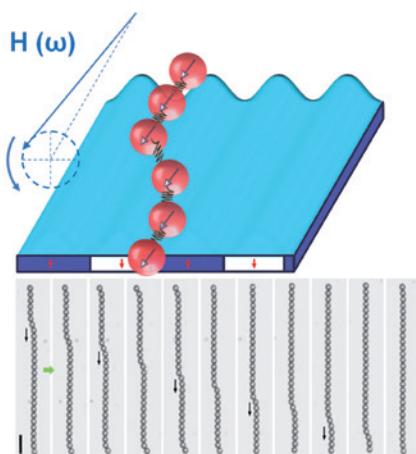


interesa estudiar este posible magnetismo —en particular, el efecto del grafeno sobre los espines— que es hoy objeto de debate.

Ana Repollés y Fernando Luis del ICMA (UNIZAR-CSIC) en colaboración con investigadores de las Universidades de Stuttgart, Florencia, Módena y Oxford, el Instituto CNR en Florencia, el Instituto Max Planck en Stuttgart y la Escuela Politécnica Federal de Lausana han conseguido desarrollar y caracterizar un **nuevo material** basado en grafeno y moléculas magnéticas (doi:10.1038/nmat4490). Es un **híbrido formado por una lámina de grafeno a la que se han unido clústeres de Fe₄**, esto es, moléculas especialmente bien

FRENTES DE ONDA EN CADENAS COLOIDALES

El **modelo de Frenkel-Kontorova** puede verse como una cadena unidimensional de partículas idénticas que, acopladas armónicamente, están sobre un potencial periódico. A pesar de su sencillez, **describe un amplio espectro de fenó-**



menos no lineales, incluyendo interesantes dinámicas como la de una red cristalina cerca de una dislocación y la de átomos adsorbidos sobre superficies cristalinas, así como la propagación de ondas de carga y de densidad y fenómenos de fricción. Fernando Martínez-Pedrero y Pietro Tierno de la UB, en colaboración con investigadores de las Universidades de Oslo, Wollongong en Australia y Humboldt en Berlín, han presentado (doi:10.1038/srep19932) una **realización de este modelo mediante agregados lineales de partículas coloidales**, de las usadas para vehiculizar fármacos como agentes de contraste en resonancia magnética y en la fabricación de micronadadores y de materiales magnetoreológicos, por ejemplo.

La **puesta en escena** consiste en depositar las partículas magnéticas sobre una oblea de granate adulterada con bismuto, micro-estructurada en dominios paralelos. Esta superficie genera un potencial magnético sinusoidal, con periodicidad próxima al diámetro de las partículas, que lleva a éstas hacia sus mínimos. La subsiguiente aplicación de un campo magnético rotatorio contrae o dilata las bandas, según el campo se oriente o no como la magnetización de la banda, propiciando así la translación del potencial sinusoidal sobre la superficie, a una velocidad determinada por la frecuencia del campo, y con ello el transporte de las partículas ancladas a los mínimos del potencial. La aplicación simultánea de un campo adicional, constante y paralelo a las bandas del sustrato, induce pequeños dipolos magnéticos, formando así agregados lineales orientados en la dirección del campo.

En definitiva, la **acción de los dos campos forma cadenas y hace que se**

trasladen, paralelas al sustrato, a la velocidad determinada por la frecuencia del campo rotatorio. A esto se suma que la viscosidad del medio acuoso o las fluctuaciones térmicas pueden eventualmente **desplazar una de las partículas de la cadena a un mínimo de potencial anterior**, propiciando que este retraso se transmita como un **frente**, discreto o continuo, dependiendo de la amplitud del campo aplicado.

El trabajo, aparte de mostrar **cómo generar frentes en un coloide**, enseña a **controlar su dirección** de propagación usando un campo magnético externo, lo que abre la puerta a posibles aplicaciones en microfluídica para **transportar fármacos o sustancias biológicas**.

La parte superior de la figura ilustra una cadena móvil de partículas coloidales paramagnéticas sobre un potencial periódico. La flecha indica la dirección de giro del campo magnético aplicado para formar y transportar la cadena. La secuencia en la parte inferior ilustra la propagación de un frente.

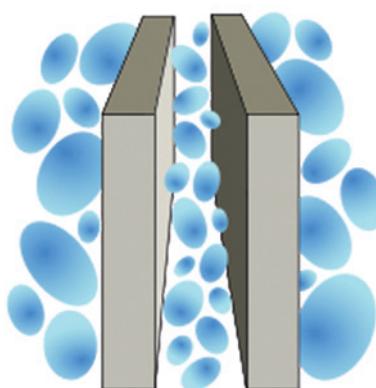
FUERZAS DE CASIMIR FUERA DEL EQUILIBRIO

El físico holandés Hendrik Casimir, en tiempos de la ocupación nazi durante la Segunda Guerra Mundial, predijo teóricamente la existencia de **fuerzas entre conductores eléctricos debidas a las fluctuaciones del campo electromagnético**. Son fuerzas que existen incluso cuando no hay nada entre los conductores, ya que son debidas a las fluctuaciones del vacío cuántico. A pesar de este origen cuántico, se pueden entender desde una perspectiva puramente clásica. En efecto puesto que, desde un punto de vista general, **si las fluctuaciones de un**

campo tienen alcance espacial largo, generarán fuerzas sobre las paredes en una geometría confinada independientemente de cuál sea su origen físico. De hecho, confirmando esta expectativa general, Pierre-Gilles de Gennes y Michael Fisher predijeron en 1978 la existencia de fuerzas de este tipo en **sistemas termodinámicos (en equilibrio) cerca de un punto crítico**, situación en la que las fluctuaciones térmicas (de temperatura, densidad, etc.) tienen largo alcance espacial. Desde entonces, las fuerzas asociadas a fluctuaciones se conocen, en general, como *fuerzas de Casimir*. Por otra parte, estas **fuerzas de Casimir, sean electromagnéticas o críticas, son débiles y, por tanto, difíciles de detectar experimentalmente**. Su magnitud en sistemas realistas es del orden de pico-Newton y, de hecho, verificar su existencia experimentalmente ha requerido el desarrollo de láseres y técnicas de óptica no-lineal.

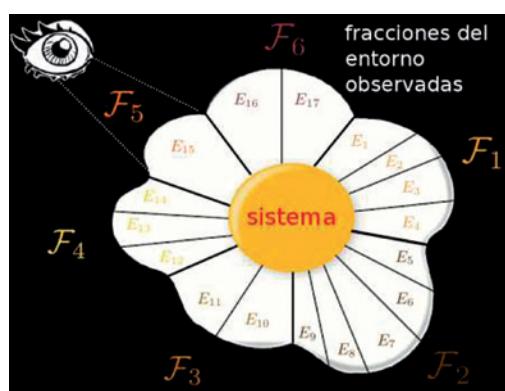
En este contexto, se sabe desde hace un par de décadas que las fluctuaciones térmicas en sistemas en los que la temperatura no es uniforme, de modo que no están en equilibrio, tienen largo alcance espacial incluso si el sistema está lejos de un punto crítico. En consecuencia, **se viene especulando** acerca de la existencia de (nuevas) **fuerzas de Casimir en sistemas fuera del equilibrio**. Pero hacer una predicción concreta es difícil por varios motivos. En primer lugar, se hace necesario incluir **confinamiento** en los cálculos. Además, cuando se analiza el problema con detalle, se identifican dos mecanismos físicos distintos (**acoplamiento de modos y ruido inhomogéneo**) que contribuyen a que las fluctuaciones de no-equilibrio tengan largo alcance espacial, y es necesario incorporar ambos.

Una colaboración de José María Ortiz de Zárate en la UCM con colegas de la Universidad de Maryland (doi: 10.1103/PhysRevE.93.012148) ha conseguido hacer **predicciones cuantitativas específicas sobre fuerzas de Casimir de no-equilibrio**. En particular, resulta que, dependiendo del tamaño del sistema, pueden llegar a ser entre uno y dos órdenes de magnitud mayores que las fuerzas de Casimir críticas o electromagnéticas, lo que abre la puerta a una posible verificación experimental. ¿Quién se anima?



DARWINISMO CUÁNTICO

La posible **emergencia del mundo clásico a partir de la subyacente realidad cuántica por “selección natural”** de sólo ciertas propiedades ha dado en llamarse **darwinismo cuántico** (DC). Trata de responder a la aparente paradoja de que, a pesar del éxito de la cuántica explicando fenómenos microscópicos y de que ha de regir en todas las escalas, los objetos macroscópicos que observamos a nuestro alrededor tienen propiedades compatibles con las leyes de la física clásica.



Un paradigma en el debate de cómo emerge el mundo clásico del cuántico es la **teoría de la decoherencia**: la interacción con el entorno que condiciona al sistema es capaz de destruir la (frágil) información cuántica de éste, haciendo que solo sobrevivan ciertos estados clásicos, llamados “estados puntero”. El **DC da un paso más**: un observador solo accede a información del sistema a través del **entorno** —un osciloscopio, una cámara de burbujas, luz que rebota desde un objeto, etc.—, de modo que éste ya **no es un sumidero de información sino un portador activo capaz de amplificar esa información** en proporciones macroscópicas hasta el observador.

En analogía con la selección natural en biología, el DC intenta explicar **por qué sobrevive cierta información y no otra, y cómo se desarrolla este proceso de amplificación**. Si al final del proceso diferentes observadores puedan llegar a la misma conclusión sobre el estado real del sistema pese a mirar diferentes fracciones de su entorno (figura),

entonces podemos hablar de “**objetividad del estado**”.

Se ha visto recientemente que el proceso de amplificación masiva de la información es inherente a las leyes de la cuántica, pero no está claro qué tipo de interacción sistema-entorno posibilita que dicha información cumpla los requisitos de “clasicidad” y “objetividad”. De hecho, parece **como si las interacciones de la naturaleza hubieran conspirado para que, de la enormidad de estados que permite la cuántica, solo unos pocos sobreviviesen para crear la realidad clásica** a la que estamos acostumbrados. Ante este hecho sorprendente, es legítimo preguntarse ¿qué tipo de interacciones son capaces de tal hazaña?

Fernando Galve y Roberta Zambroni del IFISC (UIB-CSIC), colaborando con la Universidad de Turku en Finlandia, han descubierto (doi:10.1038/srep19607) que **dinámicas con efectos de memoria**, presentes cuando se tienen en cuenta entornos realistas relevantes para la creación de tecnologías cuánticas, **son capaces de inhibir la producción de una realidad clásica a partir de la subyacente realidad cuántica**, lo que clarifica aspectos sobre la validez de la fascinante teoría DC.

UN CAMBIO DE FASE DIFÍCIL

Los llamados **materiales complejos**, expresando una propiedad general de la naturaleza, se nos muestran más sencillos cuanto mayor es la escala de observación. Es decir, encontramos una amalgama de complicados movimientos a escala microscópica que, distanciándonos, suele resolverse en leyes relativamente sencillas, aunque sorprendentes. En este contexto, dos recientes trabajos (doi: PhysRevX.5.041048 y doi: PhysRevLett.115.267203) de Pablo Serna,

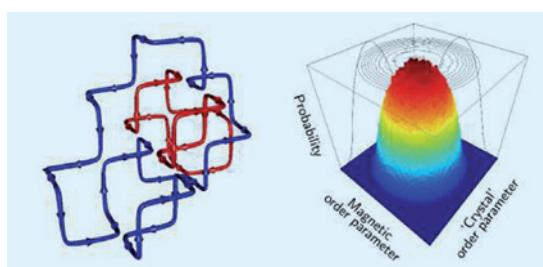
Miguel Ortuño y Andrés M. Somoza de la UM, en colaboración con investigadores en la Universidad de Oxford y el MIT, describen estudios numéricos y analíticos de la **transición, entre una fase magnética y un cristal de dímeros**, conocida como de **criticidad desconfinada**, en la que surgen una inesperada simetría y extraordinarias propiedades de desconfinamiento y fraccionamiento. Los **aislantes de Mott bidimensionales** son paradigma de materiales que muestran esta transición.

La naturaleza de este cambio de fase sigue siendo polémica: no está claro si tiene punto crítico o es una transición de primer orden muy débil. Para su estudio resulta necesario recurrir a métodos Monte Carlo, utilizando una equivalencia entre el modelo cuántico y uno clásico, una equivalencia que no es trivial en este problema. En el primer trabajo se consigue esta equivalencia mediante un modelo clásico de “lazos”, el cual se ilustra en la figura adjunta. Gracias a la **mayor simulación numérica realizada en este campo y a nuevas herramientas analíticas**, este trabajo descarta —mediante detallados análisis de tamaño finito y de exponentes críticos— que las violaciones de escala encontradas antes por diversos equipos sean de tipo convencional. También se explica por qué es improbable que sea una transición de primer orden como han reivindicado otros.

El segundo trabajo muestra la **perfecta equivalencia de las fases a ambos lados de la transición** suficientemente cerca del punto crítico cuando son **observadas a grandes escalas**, mientras que no es así cuando se ven bajo el microscopio. Los investigadores asocian esta equivalencia con “una anti-intuitiva simetría que se desarrolla en el espacio de cinco dimensiones del parámetro de orden conjunto”.

La figura, que esquematiza a la izquierda el **modelo de “lazos”**, muestra a la derecha la distribución de probabilidad conjunta de los parámetros de orden magnético y cristalino; su perfecta redondez es **indicio de una simetría oculta**.

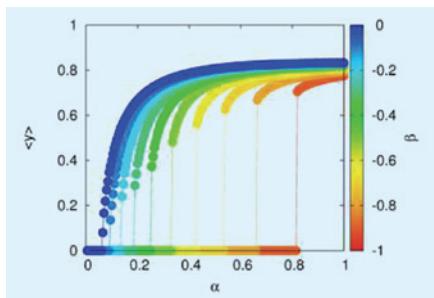
Estos estudios sugieren la **búsqueda de otras simetrías en estos fenómenos**, inspiran **nuevas pautas para modelar este tipo de materiales cuánticos** y también indican qué teorías



cuánticas de campos pueden ser las más adecuadas para describirlos.

CÓMO HACER QUE UNA IDEA SEA VIRAL

Movimientos sociales masivos como la *Primavera Árabe*, los *Indignados* del 15M y el *Occupy Wall Street* son fenómenos macroscópicos, que afectan a una parte significativa de población, pero que no pueden ser controlados a ese nivel, pues surgen de procesos en una escala inferior, la de los individuos.



Se habla de “**contagio social**”, dada cierta semejanza con la transmisión de patógenos, y se usa el término “**viral** si afecta a muchos individuos” —caso extraordinario pues, como en otras infecciones, el contagio social puede no dar lugar a una gran epidemia en la que ideas o productos se acepten masivamente—. Por otra parte, los fenómenos virales a veces muestran “**explosividad**”, esto es, una **transición abrupta desde la fase inicial de aceptación mínima**. Es el caso de “vídeos virales” en Internet que pueden llegar a ser compartidos por todo el mundo en un tiempo muy corto. Esta explosividad no se observa en las epidemias de patógenos, y uno se pregunta ¿qué mecanismos hacen que un fenómeno se convierta en viral de forma explosiva?

Jesús Gómez-Gardeñes en UNIZAR con Francisco J. Pérez-Reche (ahora en la Universidad de Aberdeen) colaborando con colegas en las Universidades de Cambridge y Nacional de Colombia han propuesto modelos matemáticos para comprender esto (doi: 10.1038/srep19767). Son **modelos epidemiológicos** clásicos salvo que incorporan un aspecto importante del contagio social: la **influencia de nuestra red de conocidos cuando decidimos adoptar una idea o un producto**. Éste es un



aspecto hoy esencial debido al uso de plataformas como Twitter y Facebook que favorecen la sinergia entre nuestras preferencias y las del entorno casi en tiempo real. Sorprendentemente, al incluir este ingrediente en los modelos **se revela el importante papel que juegan los conocidos que no han adoptado todavía la idea**.

En efecto, los nuevos modelos sugieren que la transición al comportamiento viral suele ser explosiva cuando hay mucha reticencia a aceptar una idea. La figura ilustra transiciones desde adopción minoritaria de la idea (valores muy pequeños en el eje vertical) a su difusión masiva (valores grandes en el eje vertical) en función del “atractivo” intrínseco de la idea (a). Así como la sinergia con el entorno aumenta (b se hace más negativo) la atracción mínima necesaria para tener difusión viral se hace mayor y, a su vez, la transición pasa de suave a abrupta. Esto es, **un pequeño aumento en el atractivo de una idea que no había sido exitosa puede producir una adopción masiva de la misma**.

Este hallazgo, mostrando un mecanismo que puede originar fenómenos virales, ha de ayudar tanto a minimizar la diseminación de ideas socialmente dañinas como a diseñar métodos que impulsen la difusión de ideas innovadoras.

APRENDIENDO A RESISTIR INVASIONES

Internet es un sistema **robusto**, es decir, su funcionamiento es **apenas afectado por eliminación aleatoria de parte de sus nodos**, pero vulnerable frente a la supresión deliberada de nodos muy conectados. Otras redes, como las metabólicas y las de interacción entre proteínas, muestran ese mismo carácter “**robusto, pero frágil**”. Consecuentemente, la importan-

cia científica y tecnológica del concepto de red lleva a explorar distintos escenarios de **robustez** en situaciones realistas donde han de cumplir su función sometidas a limitaciones físicas y/o económicas.

Fernando Alcalde Cuesta y Pablo González Sequeiros en USC con Álvaro Lozano Rojo en UNIZAR (también

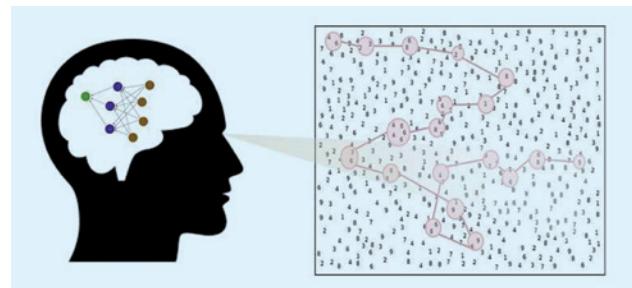
en el Centro Universitario de la Defensa en Zaragoza) han estudiado (doi: 10.1038/srep20666) **cómo influye la topología de la red** en otro tipo de robustez, esto es, **cuando no se suprimen nodos sino que la red sufre el ataque de un patógeno**. Suponen transformación de nodos sanos en enfermos según el *modelo de Moran*, introducido por Lieberman, Hauert y Nowak en 2005, donde la morbilidad depende de la capacidad del patógeno para hacer frente a la respuesta inmune de los nodos sanos. Los investigadores parten de un conjunto de nodos sanos y, en cada paso, eligen un nodo con probabilidad proporcional a su peso relativo, que es $r=1$ o $r>1$, según esté sano o enfermo. Seleccionan entonces un nodo cualquiera conectado con éste, y se sana o enferma dependiendo del estado del primero.

El modelo permite estudiar tanto la **tolerancia de redes tecnológicas frente a fallos en cadena** como la **extensión de posibles innovaciones en organizaciones empresariales**. Se han comparado la red *US Power Grid* de alta tensión en el oeste de los EE. UU., la red *Internet2* y la red neuronal del gusano *Caenorhabditis elegans* con un modelo determinista con arquitectura modular de tipo jerárquico y dos modelos aleatorios basados en sendos principios de agregación preferencial y espacial. También se han considerado 1 000 redes aleatorias con las mismas distribuciones de grado que cada una de las reales, revelando que **la robustez depende fuertemente de la distribución** en cuestión. A diferencia de las *US Power Grid* e *Internet2*, que son modulares organizadas en torno a un núcleo de nodos muy conectados, la red del *C. elegans* muestra una alta robustez. La comparación sugiere que hay un sutil equilibrio entre coste y complejidad en el entramado de esta red.

La figura muestra nodos conectores principales y nodos secundarios en la red *Internet2* en EE. UU. según datos recogidos en abril de 2013.

UNA VENTANA ABIERTA AL CEREBRO

En inglés se conoce como *eye-tracking* a un conjunto de técnicas para monitorizar los **movimientos de nuestro ojo (la pupila, en particular) en acción**. Los movimientos de mayor amplitud, llamados *sacadas*, permiten pasar rápidamente el foco de atención de una zona a otra de la imagen. Estas sacadas



están separadas por intervalos (del orden de décimas de segundo), llamados **fijaciones**, durante los cuales el ojo puede obtener una imagen definida de una zona determinada. Pero el ojo no se mantiene quieto durante las fijaciones, sino que realiza otros movimientos (llamados *microsacadas*, *derivas* y *temblores*) de menor tamaño y duración, casi imperceptibles, que presumiblemente ayudan a optimizar la adquisición de información por los fotosensores de la retina.

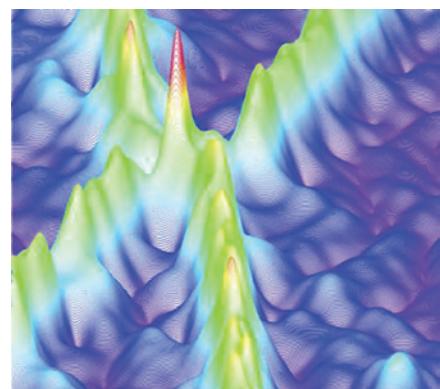
La psicología se viene preguntando ¿hasta qué punto la dinámica de estos movimientos puede usarse como herramienta para identificar y clasificar los diferentes estados cognitivos de un individuo? La respuesta no es sencilla; si bien los movimientos del ojo están acoplados a los circuitos neuronales de la visión, e intercambian estímulos eléctricos con éstos, también es cierto que el cerebro luego procesa y filtra esos estímulos en formas complejas (todavía no bien conocidas) para producir lo que llamamos *representación visual*. En consecuencia, el debate sigue abierto pero, así como las técnicas *eye-tracking* mejoran y su uso va combinándose con electroencefalogramas, **se van descu-**

briendo correlaciones entre la dinámica ocular y los estados mentales o cognitivos.

Los experimentos de búsqueda en una pantalla (como los sugeridos en la figura) constituyen, por tanto, un **método para medir la capacidad (velocidad, memoria, etc.) del sistema cognitivo humano**. Daniel Campos de la UAB ha colaborado con otros físicos de la Universidad Federal de Ceará en Brasil y el ETH de Zúrich en la realización de experimentos de este tipo (doi: 10.1038/srep20815) en los que había que buscar en una pantalla una cifra concreta dentro de una nube de 1500 distractores (cifras del 0 al 9), una tarea que toma unos pocos minutos a un individuo normal. Monitorizando los movimientos oculares en experimentos con una resolución de 1 000 Hz, han podido determinar la dinámica combinada de los movimientos *saccádicos* (que identifican la estrategia de búsqueda usada por el individuo) con los movimientos microscópicos durante las fijaciones. Se concluye: (i) una tendencia de muchos sujetos a usar **estrategias de búsqueda** que imitan la dinámica que seguimos al leer un texto, probablemente por ser éste un mecanismo ya automatizado; y (ii) la **presencia de patrones estadísticos multifractales en las series de datos**, lo que sugiere la existencia de interacciones no lineales en los circuitos cognitivos subyacentes.

TURBULENCIA INTEGRABLE O CONOCIENDO MEJOR A LAS ONDAS ASESINAS

La **propagación de luz en fibra óptica** se puede describir con bastante precisión mediante la **ecuación no-lineal de Schrödinger** que da cuenta de los dos principales fenómenos que ocurren al propagarse una onda por la fibra, esto es, la **dispersión cromática** y el **efecto Kerr** debido a las altas intensidades que produce el confinamiento. Una ecuación similar **describe en oceanografía la formación de olas en aguas profundas**, donde se ha dedicado un



gran esfuerzo al estudio de la formación de olas de gran amplitud conocidas como *rogue waves* y, popularmente, **“ondas asesinas” debido al peligro que suponen para la navegación marítima**. Estas olas, sin embargo, no son peligrosas en óptica, donde pueden incluso ser útiles, por ejemplo, cuando se trata de **conseguir fuentes con un amplio espectro de emisión**. Por otra parte, el estudio experimental de estas ondas en óptica es relativamente sencillo, y los resultados obtenidos en este campo pueden luego extrapolarse a la oceanografía y a otros campos.

La ecuación no-lineal de Schrödinger es exactamente integrable. Esto quiere decir que, de la misma forma que una ecuación lineal puede resolverse por descomposición de Fourier en modos normales, la técnica de **scattering inverso** permite obtener analíticamente los “modos” de aquella ecuación no lineal con unas condiciones iniciales dadas. Estos “modos” son, básicamente (como quiere ilustrar la figura), soluciones localizadas llamadas **solitones**, soluciones periódicas conocidas como **breathers** y **ondas radiantes**. Este posible tratamiento analítico de la ecuación no lineal puede completarse con un tratamiento numérico sencillo.

Estudios recientes numéricos y experimentales sugieren que la probabilidad de que se generen ondas de gran amplitud al propagar ondas continuas en presencia de ruido es mayor cuanto mayor sea el ruido inicial. Un estudio de José M. Soto-Crespo del Instituto de Óptica del CSIC en Madrid en colaboración con investigadores de la Universidad Nacional de Australia (doi: 10.1103/PhysRevLett.116.103901) ha demostrado que ondas continuas en presencia de poco ruido contienen principalmente **breathers** y **solitones** de poca amplitud mientras que, **al incre-**

mentar el ruido, crece el contenido *soltónico* en detrimento de los *breathers*. Consistentemente, las distribuciones de intensidad luminosa al final de la fibra presentan colas más elevadas cuando la técnica de *scattering inverso* anticipa un **mayor contenido de solitones en las condiciones iniciales**.

En definitiva, la probabilidad de tener ondas de gran amplitud está directamente relacionada con el contenido relativo de *solitones* y *breathers* en las condiciones iniciales. Estas conclusiones pueden extenderse a otros modelos integrables que tengan *solitones* y *breathers* como parte esencial de su dinámica.

FÍSICA EN LA ÓPERA

Es bien sabido que física y música están íntimamente relacionadas pero no es tan conocido que óperas como *Così fan tutte* de W. A. Mozart y *Les contes d'Hoffmann* de J. Offenbach contienen referencias explícitas a la física. En la primera, la divertida escena de *Eccovi il medico* hace alusión a la "teoría del magnetismo animal" de Franz Mesmer, que usaba imanes para sanar a sus pacientes. En la segunda ópera mencionada, hay una escena en el gabinete de un físico que ha creado un autómata, que presenta como su hija Olympia, de la que se enamora Hoffmann; como muñeco que es, agota su energía y Olympia



cesa de cantar (el aria *Les oiseaux dans la charmille*).

Estas circunstancias y otras semejantes han sido destacadas en las **VI Jornadas Con Ciencia en la Escuela** que tuvieron lugar en el Círculo de Bellas Artes de Madrid el pasado mes de marzo. El **Grupo Especializado de Enseñanza de la Física** de la RSEF, colaboró en el programa de actos de esas Jornadas presentando ***Un físico en la ópera***, una velada científico-musical concebida por Rafael García Molina de la UM y realizada en colaboración con profesores y alumnos de la Escuela Superior de Canto de Madrid.

La velada transcurrió intercalando en **perfecto maridaje experimentos de física relacionados con las piezas musicales interpretadas**. Los experimentos se referían al **magnetismo** (concretamente, a la interacción de imanes con materiales ferromagnéticos en reposo y con materiales diamagnéticos en movimiento relativo), a la

transformación de energía (potencial elástica o gravitatoria en cinética) y a cómo varía la **emisión de sonido** por copas y botellas cuando se les añade agua. Esto último hacía referencia a la mención que se hace del mundo de la ópera en la película *E la nave va*

de F. Fellini, en una de cuyas escenas se interpreta con copas y botellas el *Momento Musical n.º 3 en Fa menor* de F. Schubert. Finalizó la actuación con una referencia a Benjamin Franklin, inventor de la armónica de copas, un instrumento musical que emite sonido al frotar copas ensartadas alrededor de un eje giratorio. Franklin también formó parte de la comisión que dictaminó la nula efectividad de los métodos curativos de Mesmer.

Está previsto disponer de la grabación de *Un físico en la ópera*. Mientras tanto, puede escucharse una selección de las piezas musicales y comentarios relacionados en www.um.es/prinum y en www.rtve.es/alacarta. Es una interesante actividad de enseñanza no formal que ilustra cómo la física puede impregnar cualquier faceta de la actividad humana, incluso sublimes creaciones operísticas.



Abrimos nuestra dirección de correo (revista.de.fisica@rsef.es) a todas aquellas fotos, dibujos e ilustraciones que nos queráis hacer llegar a la redacción.

¿ERES UN AMANTE DE LA FOTOGRAFÍA?

La Revista de Física busca contribuciones que puedan ser utilizadas en futuros artículos. ¡Vuestras contribuciones hacen la revista!