

# 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 actores<sup>1</sup>

## SOLEMOS ESPERAR GENEROSIDAD

**P**ablo Brañas-Garza, antes en UGR, e Ismael Rodríguez-Lara, antes en la UV, ahora ambos de la Middlesex University de Londres, en una colaboración con Ángel Sánchez de la UC3, han mostrado (DOI: 10.1038/srep42446) cómo los humanos mayoritariamente esperamos comportamiento generoso en nuestras relaciones con otros. Es un trabajo que, basado en el *juego del dictador*, explora las expectativas sobre generosidad en una serie de experimentos.

El juego es “estático”, con una sola ronda, y en él participa el “dictador”, que es invitado a repartir una cantidad fija de dinero entre él y el otro participante, al que nos referimos como “receptor”. El dictador

puede dividir su capital como quiera, mientras que el receptor no puede hacer ni decir nada. Se trata de estimar el dinero que los receptores creen que van a recibir. Los experimentos involvieron a 205 sujetos participantes, 150 de ellos en sesiones de laboratorio (en Granada y en Valencia) y los restantes 55 en un experimento “de campo”, es decir, fuera del marco del laboratorio, en México.

Hay una predicción teórica bien conocida, según la cual los dictadores no ofrecerán nada y los receptores —por el razonamiento conocido en economía como *inducción hacia atrás*— no deberían esperar nada. Sin embargo, el trabajo de estos investigadores concluye

que el 60 % de los receptores espera que el dinero a repartir se divida por igual entre el dictador y el receptor, y casi todos esperan recibir algo, como ilustra la figura adjunta. Una consecuencia de este resultado es que la mayoría de los participantes no espera que los dictadores sean racionales, es decir, egoístas. Dicho de otro modo, para la mayoría de las personas las respuestas cooperativas son la opción por defecto.

Se ha comprobado en el trabajo que estos resultados son robustos frente a variaciones en el diseño experimental, incluyendo cambios en la cercanía de los jugadores a la situación planteada, la cantidad de dinero en el juego, la presencia física de los participantes, que los sujetos sepan o no que están en un experimento, etc. También se ha visto que, cuando se pone a los receptores en el papel de dictadores, éstos se comportan de modo consistente, es decir, dan lo mismo que esperan recibir.

La amplitud de cada sector en la figura indica el porcentaje de gente que espera una donación igual al número de euros indicado en él cuando el reparto es de 10 euros. El sector “+5” corresponde a los que confían recibir más de 5 euros. Muy pocos (10 %) esperan egoísmo o racionalidad (recibir nada, color azul, sector 0). Lo más habitual (34 %, naranja) es esperar comportamiento hiper-justo, es decir, un reparto a partes iguales. Un 90 % espera recibir algo.

## LA COMPETICIÓN FAVORECE ESTABILIDAD

**L**a búsqueda de factores que favorecen la persistencia de especies en una comunidad sometida a perturbaciones ambientales es ob-

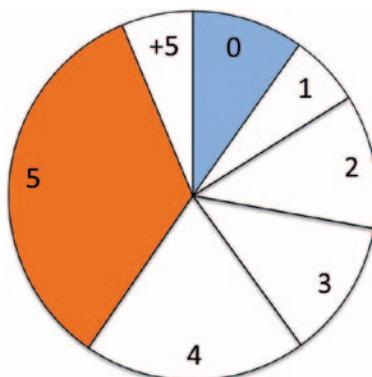


Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogg.com).

jetivo principal en ecología, y puede contribuir críticamente a desarrollar estrategias de conservación. **Robert MacArthur** argumentó hace más de 60 años que aumentar el número de especies y sus interacciones favorecería su persistencia, pues los nutrientes encuentran así vías alternativas por donde fluir después de una perturbación. **Robert May** rebatió el argumento mostrando que, para especies interaccionando de modo aleatorio, esa estrategia tiende a hacer al sistema menos estable dinámicamente.

En el Centro Severo Ochoa CSIC-UAM, Alberto Pascual-García (ahora en el Imperial College de Londres) y



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

Ugo Bastolla han abordado el problema cuantificando el **efecto de perturbaciones ambientales en la estabilidad estructural de ecosistemas modelo** (DOI: 10.1038/NCOMMS14326). El nuevo enfoque ha sido aplicado a **comunidades mutualistas de plantas con flores y polinizadores** cuya diversidad ha llamado la atención de los estudiosos. Los autores han demostrado que la estabilidad puede predecirse analíticamente a partir de dos propiedades de las redes mutualistas. Una es **cómo afectan las fluctuaciones ambientales a la productividad de cada especie**, menos cuantas más conexiones mutualistas hay, pues las fluctuaciones de signo diferente pueden compensarse, como propuso MacArthur. La segunda es la **competición efectiva entre especies del mismo grupo**, insectos o plantas, resultado de la combinación de interacciones directas e indirectas a través de especies del otro grupo. Las interacciones mutualistas compartidas tienden a reducir la competición efectiva, por ejemplo, cuando dos especies de insectos promueven la abundancia de una planta beneficiosa para ambos, mientras que presas compartidas favorecen la competición efectiva por la razón opuesta. Así, el “anidamiento” —fracción de conexiones compartidas por especies del mismo grupo— determina la competición efectiva. En comunidades mutualistas, cuanto más anidada es la red, más se reduce la competición efectiva, que influye negativamente sobre la estabilidad dinámica del ecosistema, en la que se basa el argumento de May. De este modo, **el trabajo reconcilia dos puntos de vista clásicos y muy influyentes en ecología teórica**.

Los investigadores han mostrado cómo las redes mutualistas reducen la competición efectiva, incrementando la estabilidad estructural, sólo si la competición directa entre insectos y plantas es débil. En definitiva, **se favorecen la estabilidad de los ecosistemas y la persistencia de especies cuando las del mismo grupo compiten débilmente entre sí y comparten muchas interacciones mutualistas**. El trabajo puede extenderse a comunidades microbianas, que parecen mostrar gran número de interacciones cooperativas, y también sugiere que el nivel de competición directa entre agentes económicos puede influir críticamente en el efecto

de interacciones económicas cooperativas en la estabilidad estructural.

## LA FORTALEZA DEL LADO OSCURO DE INTERNET

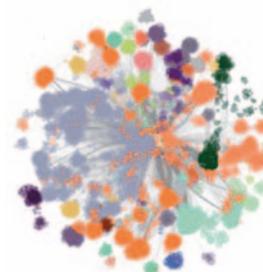
**L**a red Darknet es una porción de internet donde se mantiene el **anonimato**. Esta privacidad y la consiguiente posibilidad de trabajar de forma escondida hacen que se utilice habitualmente para **intercambios anónimos de informaciones sensibles y, muy a menudo, ilegales** como la venta de drogas o el intercambio de pornografía infantil o de contenidos con propiedad intelectual de forma gratuita. También es objetivo frecuente de ciberataques que, sorprendentemente, fallan por lo general.

Manlio De Domenico y Alex Arenas, de la URV han conseguido dar con las razones por las que la red Darknet es **muy difícil de quebrantar** (DOI: 10.1103/physreve.95.022313). La clave parece estar en su prácticamente impenetrable topología, única y significativamente diferente de la que impera en el resto de internet. El trabajo parte de datos publicados por el Internet Research Lab de la Universidad de California en Los Ángeles y, mediante un análisis de redes, caracteriza la topología de la Darknet y desarrolla un modelo que describe cómo se transmite en ella la información utilizando la llamada “ruta de capas de cebolla”, una técnica que encripta los mensajes en múltiples capas.

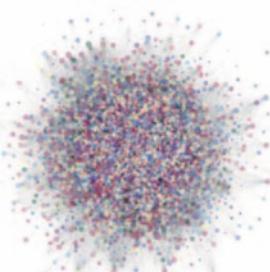
El análisis ha permitido a los investigadores simular cómo respondería Darknet ante tres tipos de alteraciones: (1) los ataques que se dirigen a un nodo específico, (2) los que provocan que fallen algunos nodos elegidos al azar y (3) los que pretenden desencadenar una cascada de errores que se propaguen a través de la red. Curiosamente, se hace evidente que la **resistencia a los ataques**, que no ha sido creada por entidad alguna ni premeditada de otro modo, es una manifestación de comportamiento emergente debido a que la interacción entre usuarios usa un determinado protocolo. Es un proto-

colo que, pretendiendo hacer anónimas las búsquedas, tiene como contrapartida el establecer una red de conexiones increíblemente robusta frente a los ataques.

Estos investigadores llegan a presentar un **modelo matemático muy sencillo capaz de obtener topologías similares** en este sentido relevante a la de la red Darknet. En esencia involucra el modelo un **proceso de crecimiento**



INTERNET



DARKNET

de conexiones que preferencialmente se basa en el tiempo que cada uno de los entes que llega permanece en el sistema. Esta especie de “crédito por edad” es condición suficiente para dotar al sistema de esa importante propiedad.

## IMITANDO A LA FLOR DE LOTO

**L**a naturaleza sirve de constante inspiración, y ha impulsado así avances en ciencia y tecnología. En el contexto de la **biomimética**, donde interesa **desarrollar superficies multifuncionales estructurando materiales a escala micro y nanométrica**, se ha logrado emular con éxito el “**efecto loto**”, que básicamente se refiere a la **capacidad de “auto-limiarse” que muestra la flor de loto**. Es consecuencia de la extrema repelencia al agua que tienen las hojas de esa planta, de modo que **las gotas de agua ruedan con facilidad por su superficie arrastrando contaminantes**. Semejante hidrofobicidad es debida a la existencia de una **llamativa topografía jerarquizada** a escalas micro y nanométricas en la superficie de la hoja (fotografía a la izquierda de la figura).

La nanoingeniería ya permite **fabricar materiales** inspirados en sistemas biológicos. Entre sus técnicas más versátiles se cuenta la **litografía por na-**

**noimpresión.** En resumen, la técnica consiste en transferir un patrón estructural fabricado en un molde a un material polimérico mediante un proceso de deformación mecánica favorecido mediante presión y temperatura. Esto permite alta precisión y resolución nanométrica, y un escalado relativamente sencillo a bajo coste.

Jaime J. Hernández, Iván Navarro Baena, Felipe Viela e Isabel Rodríguez, del IMDEA Nanociencia, junto con Miguel Monclús y Jon Molina-Aldareguía, del IMDEA Materiales, ambos institutos en Madrid, han mostrado (DOI: 10.1038/srep43450) cómo el uso de materiales nanocompuestos puede mejorar la resistencia estructural de nanotopografías poliméricas y permitir implementar otras funcionalidades. El trabajo se centra específicamente en mejorar la estabilidad mecánica de topografías superhidrofóbicas y autolimpiables inspiradas en el efecto loto, y llega a demostrar que **polímeros reforzados con nanopartículas** —tales como nanotubos de carbono o grafito— pueden procesarse por nanoimpresión, dando lugar a estructuras con una ostensible mejora de las propiedades mecánicas (módulo elástico, rigidez, resistencia al rayado, etc.). Además, el proceso supone una incorporación de carga que permite inducir un comportamiento conductor en matrices poliméricas. Materiales multifuncionales que incorporen funciones de autolimpieza y sean antiestáticos tienen un enorme interés en sectores como el aeronáutico y el de la construcción.



La parte derecha de la figura muestra el perfil de gotas de agua depositadas en la superficie superhidrofóbica de un material nanocompuesto creado por nanoimpresión de estructuras cilíndricas de alta relación de aspecto, cuyo detalle se muestra en la imagen de microscopía electrónica inferior.

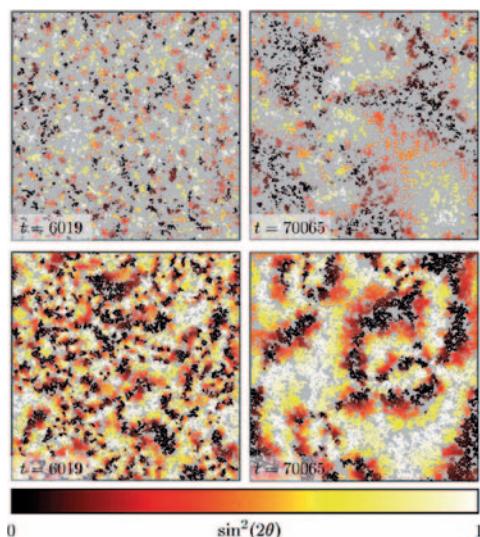
La parte derecha de la figura muestra el perfil de gotas de agua depositadas en la superficie superhidrofóbica de un material nanocompuesto creado por nanoimpresión de estructuras cilíndricas de alta relación de aspecto, cuyo detalle se muestra en la imagen de microscopía electrónica inferior.

## SÍNCRONIZACIÓN EN MATERIA ACTIVA

Aunque cada unidad de un sistema complejo evoluciona de modo sencillo, las interacciones suelen inducir una amplia gama de complicados **comportamientos colectivos**. Un ejemplo de este comportamiento emergente es la *sincronización*, donde un conjunto de osciladores ajusta sus fases en respuesta a la presencia de otras unidades, logrando un estado en el que **todos oscilan con la misma frecuencia**. Un caso particularmente interesante es cuando los elementos que se acoplan —sean pájaros, luciérnagas o robots— pueden tener su propia dinámica, constituyendo entonces lo que ha dado en llamarse “**materia activa**”, en cuyo caso el sistema está fuera del equilibrio debido a la posible transformación de energía interna en movimiento —por ejemplo mediante el metabolismo propio de los seres biológicos—. Los organismos naturales, desde las bacterias y organismos unicelulares hasta las especies biológicas superiores, son ejemplos de esa materia activa, y actualmente ya sabemos producir partículas autopropulsadas sintéticas a partir de coloides, como micro y nanorobots.

Demian Levis, Ignacio Pagonabarraga y Albert Díaz-Guilera, de la UB han notado que la **interacción entre movimiento activo y sincronización es crucial** en la descripción de este tipo de sistemas, y han propuesto un modelo matemático que describe su comportamiento cooperativo emergente mientras considera adecuadamente los efectos del movimiento individual, sus interacciones y el diseño de la red (DOI: 10.1103/PhysRevX.7.011028). El modelo considera la sincronización en **redes que van cambiando con el tiempo generadas por el movimiento de las unidades físicas autopropulsadas**.

A densidades muy bajas las colisiones entre las partículas se pueden despreciar. En este régimen la autopropulsión simplemente acelera la sincronización. Una situación cualitativamente diferente surge a mayores concentraciones, cuando las colisiones entre las partículas son relevantes. En este caso aparece un escenario mucho

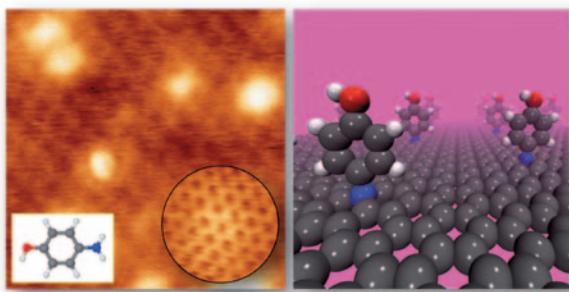


más rico para el cual existe una velocidad óptima de autopropulsión. El modelo asocia este fenómeno al hecho de que la sincronización entre las partículas móviles se produce de forma correlacionada con la estructura espacial del conjunto de partículas. Éstas, al chocar, tienden a formar agregados dinámicos con un tamaño característico. La sincronización se produce a través del crecimiento mediado por estos agregados, de tal manera que pequeñas “gotas” sincronizadas se fusionan gradualmente en otras más grandes. La sincronización exhibe las mismas leyes de escala dinámica que el modelo XY para el ferromagnetismo en materiales bidimensionales, a pesar de tratarse de un sistema intrínsecamente fuera de equilibrio.

Mientras que sistemas específicos, como bandadas de aves o colonias de bacterias, tienen interacciones únicas, este modelo proporciona un marco general y eficiente para entender la sincronización en poblaciones de individuos autopropulsados. En un futuro podría utilizarse para entender situaciones específicas y diseñar estrategias de sincronización, por ejemplo, en poblaciones autónomas de robots.

## AMPLIANDO LAS APLICACIONES DEL GRAFENO

El anclaje de moléculas orgánicas en grafeno aporta interés adicional a este material en campos emergentes, como la fabricación de biosensores y



dispositivos espintrónicos, y el desarrollo de nuevos materiales dieléctricos. El problema es que su gran inercia química hace muy difícil la manipulación de esas superficies. Rebeca A. Bueno, José I. Martínez, Roberto F. Luccas, Nerea Ruiz del Árbol, Carmen Munuera, Irene Palacio, Francisco J. Palomares, Koen Lauwaet, María F. López, Federico Mompean, Mar García-Hernández y José A. Martín-Gago, todos del ICMM-CSIC en Madrid, en una colaboración con el Instituto de Física de Rosario, Argentina, el Sincrotrón de Trieste y el Instituto de Tecnología de Materiales Electrónicos en Varsovia han desarrollado un novedoso procedimiento (DOI: 10.1038/ncomms15306) para implantar moléculas orgánicas en la superficie de grafeno con terminación en grupos amino.

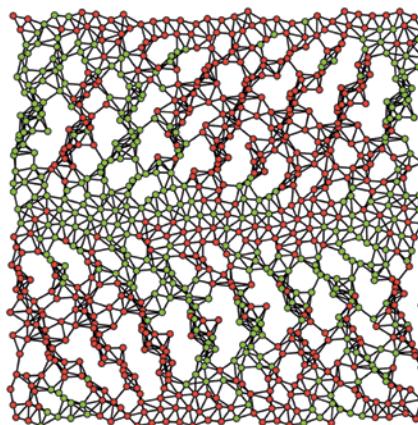
En una primera etapa del procedimiento, **bombardean la superficie** de un sistema formado por grafeno recubriendo un sustrato no metálico con un haz de iones de Argón **en condiciones de ultra alto vacío**. Se eligen sustratos no metálicos para evitar el apantallamiento de las excelentes propiedades de transporte del grafeno. El bombardeo **induce la formación de defectos/vacantes en la red cristalina que así queda activada para, en una siguiente etapa, anclar de forma covalente moléculas orgánicas** a la superficie. El anclaje se produce a temperatura ambiente a través del nitrógeno deshidrogenado del grupo amino de la molécula en esos defectos/vacantes (como ilustra la figura, que muestra, a la izquierda, una imagen de microscopía efecto túnel y, a la derecha, un modelo geométrico optimizado del grafeno con la molécula orgánica ya implantada).

El resultado tiene **importantes y previsibles aplicaciones tanto en la industria electrónica como en biotecnológica y plasmónica**, particularmente en la fabricación de sensores. Por otro lado, las propiedades conductoras del grafeno así

manipulado se mantienen inalteradas, lo que resulta de gran interés debido a la **alta movilidad de portadores a temperatura ambiente**, que favorece su uso en el sector tecnológico. Y los efectos de campo y los efectos Hall cuánticos del grafeno resultante son de especial relevancia porque **los portadores recorren largas distancias sin colisionar** con los átomos, de manera que el material puede utilizarse en dispositivos espintrónicos. Finalmente, su **buena conductividad y estabilidad** es crítica para aplicaciones como electrodos, supercondensadores y dispositivos para almacenamiento de energía.

## COEXISTENCIA DE ESPECIES BIOLÓGICAS

**E**l llamado *principio de exclusión de Gause* sugiere que dos especies que compiten por los mismos recursos, suponiendo *de facto* que se encuentran en un medio homogéneo, no pueden



coexistir después de un cierto tiempo: una desaparece. Sin embargo, la Naturaleza no parece tan simple. Por ejemplo, en la Ría de Vigo se generan barreras al transporte que impiden la aparición de una especie invasora en una zona, mientras que sí aparece en otra zona cercana. El tiempo necesario para que dos especies coexistan parece depender de las escalas temporales del fluido y de la biología, así como de la heterogeneidad del medio en el que se encuentren.

Vicente Pérez Muñozuri, de la USC, en colaboración con un colega en la Universidad de Manchester, ha estudiado

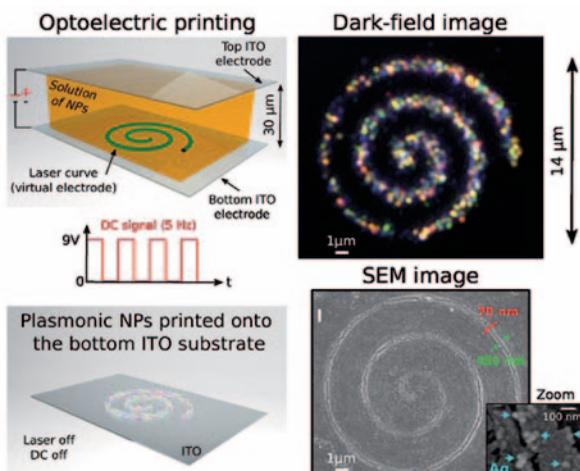
(DOI: 10.1209/0295-5075/117/68001) el **tiempo de coexistencia de dos especies que se mueven en un flujo caótico**. Inicialmente, las dos especies con el mismo número de individuos se desplazan lagrangianamente con el flujo. Se elige el modelo sencillo del votante para describir la muerte o nacimiento de una de las especies cuando se encuentran a una determinada distancia. Así se determina que, para un valor intermedio del cociente entre las escalas temporales del fluido y la biología (o “número de Damköler”), el tiempo necesario para que una de las especies gane es máximo. En otras palabras, **cuando las escalas temporales del fluido y la dinámica de poblaciones son equivalentes, ambas especies pueden coexistir mucho más tiempo que sin la presencia de un flujo caótico o turbulento**.

El proceso ocurre a través de la formación de grupos de partículas de la misma especie. Estos dominios gradualmente crecen hasta que uno de ellos se extiende por todo el sistema. Para explicar esto, los autores estudian las interacciones entre especies mediante una red cuyos nodos y enlaces cambian de posición con el tiempo. Para valores intermedios del número de Damköler, se forman clusters de partículas de la misma especie en nodos vecinos de la red, lo que conduce a una disminución de enlaces activos entre especies distintas, disminuyendo la velocidad de crecimiento de los dominios y, por tanto, obteniendo un tiempo de coexistencia máximo.

La generalidad del resultado sugiere la posibilidad de obtener tiempos de coexistencia máximos entre especies en modelos ecológicos más complejos, así como estudiar el papel de los flujos turbulentos cuando una especie invasora, en principio minoritaria, se propaga de una localización u otra. El resultado es también relevante en el contexto de la teoría de juegos.

## IMPRIMIENDO NANOPARTÍCULAS

**E**l estudio en las últimas décadas de la **interacción entre luz y materia a escalas micro y nanométrica** ha dado lugar a aplicaciones y tecnologías ópticas de gran interés en diferentes áreas de la física y de la química, así



como en biomedicina y biotecnología. Un paradigma es la **plasmónica** que se ocupa del estudio de la interacción de la luz con nanopartículas y otras nanoestructuras cuyo tamaño es mucho menor que la longitud de onda de la luz visible, típicamente, en la escala entre 1 y 100 nanómetros. En este contexto, se llaman **plasmones** a las oscilaciones coherentes de carga eléctrica en materiales tales como metales (oro, plata, etc.) que se producen en respuesta a la luz incidente. **Cuando estas oscilaciones están restringidas a la interfase metal-dieléctrico, y se producen en resonancia con la luz incidente, la nanopartícula exhibe peculiares propiedades ópticas y fototérmicas así como una rica respuesta espectral.** Esta resonancia es sensible a la forma y tamaño de la nanopartícula y se produce en función del propio entorno dieléctrico (sustancias químicas, etc.) que la rodea. Estas circunstancias se pueden explotar para construir **biosensores plasmónicos** cuya respuesta óptica delate cambios químicos e incluso eventos moleculares en tiempo real. La fabricación de tales biosensores, así como la de otros importantes dispositivos plasmónicos, demanda nuevas técnicas que permitan depositar de forma controlada y sencilla nanopartículas sobre la superficie activa del dispositivo.

José A. Rodrigo, de la UCM, ha propuesto y demostrado experimentalmente (DOI: 10.1038/srep46506) una sencilla técnica optoelectrónica que permite depositar nanopartículas plasmónicas de forma selectiva y permanente sobre electrodos transparentes. Se basa en la combinación simultánea de un haz láser y de un potencial constante de bajo voltaje. En presencia del campo eléctrico constante,

las nanopartículas cargadas eléctricamente resultan fuertemente atraídas hacia la superficie del electrodo iluminada por un haz láser enfocado en forma de curva arbitraria. Esta curva láser (extensión de decenas de micrómetros y grosor aproximado de 300 nm) actúa a modo de electrodo virtual atrayendo y fijando las nanopartículas exclusivamente en la zona iluminada cuando el campo eléctrico se activa. De esta manera millones de partículas se “imprimen” instantáneamente en la superficie iluminada siguiendo la forma de la curva.

El autor ha puesto a prueba esta técnica empleando nanopartículas de plata de 40 nm y electrodos ITO transparentes, como los empleados en las pantallas táctiles, para crear circuitos de nanoestructuras plasmónicas con una respuesta espectral sintonizable. Esta técnica ofrece **una vía eficaz y práctica, alternativa a las complejas técnicas litográficas empleadas actualmente**, para la fabricación de biosensores plasmónicos así como otros dispositivos basados en nanopartículas.

## SOBRE CÓMO REDUCIR RETARDOS EN UNA RED COMPLEJA DE SISTEMAS DINÁMICOS

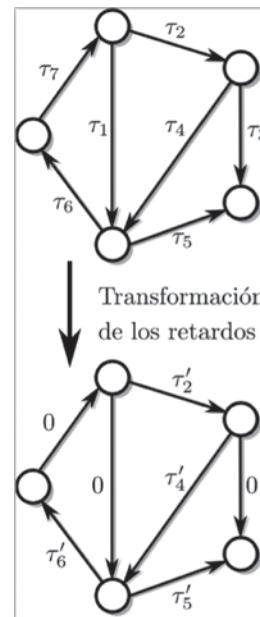
**E**n general, se requiere un cierto tiempo para la **transmisión de la información** en el proceso de comunicación **entre dos objetos**. Cuando estos objetos pueden representarse mediante sistemas dinámicos, entonces es posible establecer un modelo matemático que tome en cuenta este tiempo de transmisión de la información en forma de retardo.

Al estudiar varios objetos que se comunican entre ellos, el **flujo de información** se modeliza mediante un **grafo o red con un retardo asociado a cada arista**, siendo los vértices los propios sistemas dinámicos, de tal modo, que **el estado y el comportamiento de esta red depende de los retardos temporales entre cada objeto**.

Curiosamente, se puede llegar a tener un mismo comportamiento dinámico

con dos distribuciones de retardos diferentes. Es decir, que podemos alterar los tiempos de comunicación entre cada objeto sin alterar la dinámica global de la red. Ello es debido a la **existencia de una ley de conservación** similar a la ley de Kirchhoff en teoría de circuitos que permite realizar esta hazaña.

Alexandre Wagemakers y Miguel A. F. Sanjuán, de la URJC, han propuesto una formulación y un **método de op-**



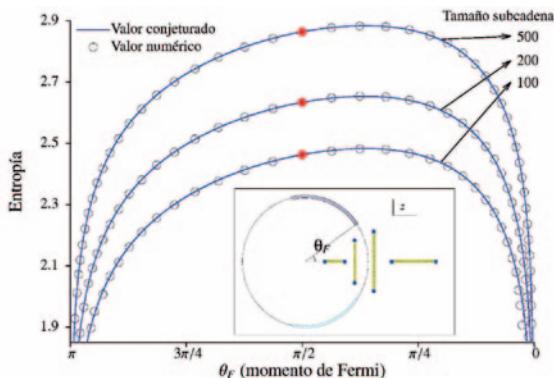
**timización para reducir los retardos de la red** (DOI: 10.1038/s41598-017-02978-5). En particular, para redes con retardos enteros, es posible incluso eliminar algunos de los retardos en la red, manteniendo la misma dinámica global en el sistema.

Con el nuevo método es posible reducir en ciertos casos hasta un 60 % la suma total de los retardos. Más allá de un interés conceptual, el método tiene aplicaciones de corte computacional. Por ejemplo, en la simulación de redes de osciladores con retardos, permite reducir la memoria empleada por el ordenador de forma substancial.

## EL ENTRELAZAMIENTO Y SUS SIMETRÍAS

**E**l concepto de entrelazamiento en Mecánica Cuántica fue introducido por Schrödinger en 1935 para caracterizar el hecho de que puede haber sistemas cuyo estado conozcamos completamente (su función de onda nos sea dada), pero que tengamos sólo

un conocimiento parcial de sus partes (no podemos asignarles una única función de ondas, sino una mezcla estadística). Cuando esto ocurre decimos que **las partes del sistema están entrelazadas**. Para estudiar el grado de entrelazamiento de dos subsistemas se utiliza la **entropía de entrelazamiento**, que ha sido objeto de estudio muy activo durante los últimos 30 años. Una de sus



primeras aplicaciones fue para intentar comprender el comportamiento de la entropía de los agujeros negros y su dependencia con el área del horizonte. Más recientemente, se ha descubierto que la entropía de entrelazamiento es una herramienta de la máxima utilidad para estudiar **transiciones de fase de los sistemas cuánticos**. Por ejemplo, en sistemas críticos unidimensionales en su estado fundamental la entropía de una subcadena crece proporcionalmente al logaritmo de su longitud y la constante de proporcionalidad es la carga central de la teoría cuántica de campos con simetría conforme (de escala) que describe el punto crítico. Esta carga central es universal, en el sentido de que no cambia al cambiar de forma continua los *acoplos* de la teoría. Pronto se comprendió que este fenómeno se podía entender debido a la invariancia de las teorías críticas frente a cambios de escala en el espacio; ya que la entropía transforma de modo aditivo frente a estas simetrías, con un coeficiente que depende del número de partículas sin masa que contenga la teoría crítica (carga central).

Filiberto Ares, Fernando Falceto y José V. G. Esteve, de DFTUZ-UNIZAR, en colaboración con la Universidad de Brasilia, han propuesto (DOI: 10.1088/1742-5468/aa71dc) una **extensión de esta simetría en el caso de cadenas de fermiones con acoplos**

**cuadráticos de largo alcance**. El nuevo grupo de simetría contiene no sólo las transformaciones en el espacio dadas por la simetría conforme, sino que incluye además la acción del grupo de Möbius (los automorfismos de la esfera de Riemann) que modifica las constantes de acople de la teoría. Bajo estas últimas transformaciones la entropía cambia también de forma aditiva, pero

esta vez el coeficiente depende del número de intervalos de la cadena que compongan el subsistema.

Este resultado es, en su forma más general, todavía una conjetura. Ha podido ser probado en algunos casos particulares de teorías críticas y, de modo general, para teorías no críticas (DOI: 10.1088/1742-5468/2016/04/043106).

Aunque no existe aún una demostración completa, el estudio numérico que se presenta en la figura resulta del todo convincente.

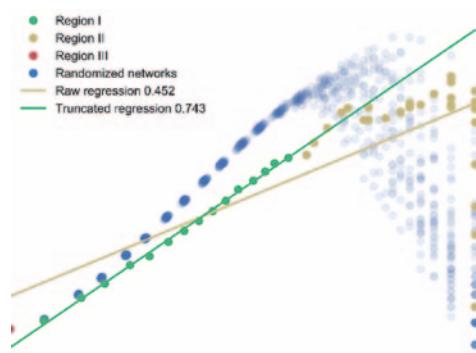
Finalmente los autores especulan con la sorprendente dualidad en el comportamiento de la entropía frente a la simetría conforme (que depende del número de partículas sin masa) y frente a Möbius (que depende del número de intervalos que forman el subsistema). ¿Sería quizás posible unificar estas dos simetrías en una mayor?

## COMPLEJIDAD EN REDES BIOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS

**L**a idea de una relación entre el tamaño de las componentes que forman un circuito integrado y el número de interconexiones entre diferentes componentes fue formulada por E. F. Rent en dos memorandos internos de IBM en 1960. Estudiada de modo exhaustivo y aplicada al análisis de circuitos VLSI a partir de 1971, sobre todo en la década de 1990, recientemente ha sido aplicada al estudio de la complejidad de interconexión de redes biológicas. Esta relación se expresa mediante una **ley de potencias**, que relaciona el número de nodos de cada componente con el número de interconexiones entre componentes a partir del número medio de conexiones

por nodo, llamado *coeficiente de Rent*, y del coeficiente de proporcionalidad en una escala log-log, llamado *exponente de Rent*. Pero esta ley sólo es válida cuando el tamaño de las componentes se mantiene dentro de un cierto rango. Para estimar este exponente, se usan diferentes algoritmos de partición del (hiper)grafo subyacente al circuito con resultados muy diferentes.

Fernando Alcalde Cuesta y Pablo González Sequeiros, en USC, con Álvaro Lozano Rojo, en CUDZ (doi: 10.1038/s41598-017-05670-w), validan la **regla de Rent ajustando la ley de potencias a los datos empíricos** gracias a un **fenómeno de bifurcación** que aparece al recablear aleatoriamente las conexiones y aplicar un algoritmo de coloreado. Esta técnica se aplica al estudio de la complejidad del cableado de la red neuronal de *C. elegans*, la red de interacción entre proteínas de *S. cerevisiae*, circuitos integrados VLSI de diferentes tamaños y otras redes tecnológicas como *Internet2* y la red eléctrica de los estados del oeste de EE. UU. Estos datos se comparan con los obtenidos usando la utilidad hMetis y se contrastan con



los que se obtienen al aplicar otros procedimientos de construcción de redes aleatorias con la misma, similar o arbitraria distribución del grado.

Aunque la estructura topológica de la red neuronal de *C. elegans*, propia de un *mundo pequeño*, aconseja ser prudente al calcular e interpretar los datos sobre la complejidad de interconexión, comparándolos con los obtenidos por otros autores, es razonable sostener que la **regla de Rent es universal y proporciona una medida de la complejidad del cableado** de una red que permite distinguir redes con similar complejidad topológica. Un aspecto importante del estudio radica en el hecho de que

las diferencias entre la complejidad de cableado de las redes biológicas y tecnológicas parecen responder a diferencias reales en el diseño de ambos tipos de redes.

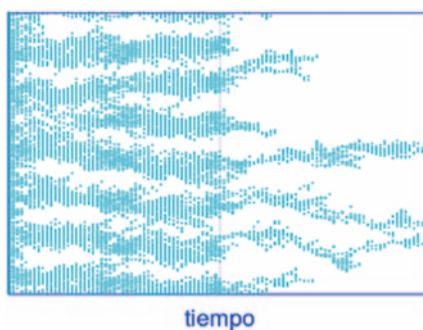
## COMPETICIÓN BIOLÓGICA POR EL ESPACIO

**L**os seres vivos nacen, crecen, se reproducen, mueren... y se mueven. Lo hacen mediante procesos muy complicados que involucran fenómenos físicos y químicos influidos por un entorno siempre cambiante. Además, el rico comportamiento de los sistemas biológicos está también condicionado por interacciones. Depredación, competición, mutualismo, etc., son ejemplos de interacciones ecológicas. Cuando éstas ocurren en situaciones en las que el espacio es relevante, se dan fenómenos muy interesantes, como la propagación de ondas o la formación de patrones. **Entender las consecuencias de todas esas interacciones es hoy un importante objetivo.**

Nagi Khalil, Cristóbal López y Emilio Hernández-García del IFISC (CSIC-UIB) han desarrollado un **modelo estocástico que implementa varios tipos de competición biológica entre individuos que se reproducen asexualmente, caminan aleatoriamente y mueren** (DOI: 10.1088/1742-5468/aa7283). El trabajo proporciona ecuaciones macroscópicas para la densidad de organismos teniendo en cuenta los procesos microscópicos de difusión, nacimiento y muerte, y sus **modificaciones debidas a las interacciones competitivas**. Se sabía que, en situaciones de competición por nutrientes en las que los individuos con más vecinos se reprodujeran menos, podían darse fenómenos de agregación y formación de patrones periódicos. Aquí se añade el ingrediente de competición por el espacio ya que los organismos reales no son partículas puntuales sino que originan un “volumen excluido”, como en el caso de polímeros. De hecho, los procesos estocásticos de muerte, nacimiento y movimiento son imposibles si implican solapamiento entre individuos. Los investigadores demuestran que la **formación de agregados periódicamente espaciados sigue siendo uno de los estados posibles del sistema, aunque**

**sus características se ven modificadas por** diferentes detalles de la dinámica estocástica y, muy especialmente, del **volumen excluido**.

**La formación de agregados de elementos que compiten es paradójica;** uno esperaría que una total separación entre individuos fuera beneficiosa por reducirse la competición. Pero las simulaciones numéricas y los cálculos analíticos muestran que hay rangos de parámetros donde es beneficioso para un organismo competir con otros



dentro de un agregado denso si así evita encontrarse y competir con un número mayor de individuos fuera del agregado. Las ecuaciones deducidas cuantifican este efecto y muestran cómo influye el volumen finito de los organismos. La inclusión de este volumen abre la puerta a **futuros trabajos para modelar mutualismo** (opuesto a competición) pues supone un elemento moderador de la densidad de población que no existe en modelos sencillos de mutualismo sin exclusión espacial.

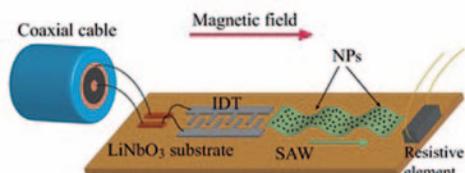
La figura muestra la **evolución temporal del sistema unidimensional de partículas** (en vertical). Primero, las partículas tienden a agregarse en siete grupos; luego, tras incrementar la mortalidad, ese orden se destruye y el sistema finalmente se extingue.

## MANIPULANDO EL MOMENTO MAGNÉTICO DE UNA PARCÍCULA

**H**an pasado más de cien años desde que Albert Einstein y Wander Johannes de Hass demostraran que la ley de conservación del momento angular aplicada a un sólido ferromagnético que gira libremente exige que, si la frecuencia de rotación del sólido varía, también varíe su momen-

to magnético. Unos años más tarde, Samuel Barnett demostró que la **rotación y la magnetización de los sólidos ferromagnéticos están íntimamente relacionadas**. Estos efectos son débiles en los sólidos de tamaño macrocópico por la dificultad de hacerlos girar muy rápidamente. Sin embargo, este no es el caso al tratar con sólidos magnéticos de tamaño nanométrico. De hecho, Eugene Chudnovsky y Reem Jaafar han demostrado en 2016 (DOI: 10.1103/PhysRevApplied.5.031002) que estos efectos tendrían que ser fácilmente **medibles sometiendo un “nanomagneto” a las rápidas deformaciones inducidas por las llamadas ondas acústicas superficiales (OAS)**. Éstas, en el rango MHz de frecuencias, pueden invertir el momento magnético de partículas magnéticas nanométricas tal como lo hace un campo magnético alterno de alta frecuencia.

Javier Tejada, Nahuel Statuto y Jaume Calvo de la Rosa, de la UB, en colaboración con la City University de Nueva York, la Universidad de California en Los Ángeles y el Instituto Paul Drude de Berlín, se propusieron verificar ex-



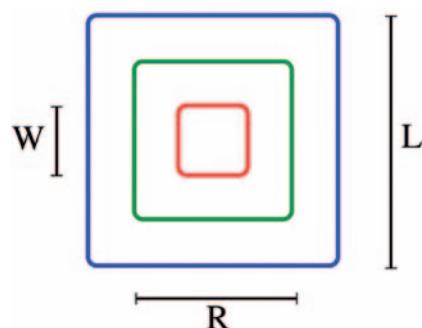
perimentalmente las predicciones de Chudnovsky y Jaafar generando OAS en el material piezoelectrónico LiNbO<sub>3</sub> donde se habían depositado partículas nanométricas de magnetita y midiendo la variación de su momento magnético en condiciones isotérmicas. Han demostrado así (DOI: 10.1209/0295-5075/118/37005) que, a diferentes temperaturas, la **dependencia de la variación del momento magnético medido con la potencia y la frecuencia de las OAS sigue las predicciones teóricas**.

La belleza de este efecto está en quedar totalmente determinado por la velocidad angular de las rotaciones locales de las nanopartículas generadas por las OAS. Desde un punto de vista cuántico, es un efecto asociado a la múltiple absorción del momento angular de los fonones de las OAS por parte del espín de las nanopartículas magnéticas.

Este trabajo abre la puerta a la **manipulación de los momentos magnéticos de las nanopartículas mediante OAS**. El método es ventajoso respecto al uso de un campo magnético alterno debido a la enorme diferencia entre las longitudes de onda de las OAS y de la radiación electromagnética de la misma frecuencia. En definitiva, estos experimentos suponen **un primer paso hacia la manipulación del momento magnético de una única partícula**, incluso en el caso de tener una muestra con una alta densidad de nanopartículas.

## LÍMITE TERMODINÁMICO EN VIDRIOS DE ESPINES

**L**os vidrios de espines son sistemas desordenados, como cuando **sustituimos al azar** en el cobre sus átomos metálicos por átomos magnéticos de manganeso. La interacción entre éstos puede ser ferromagnética o anti-ferromagnética, lo que conduce en la práctica a tener una gran “frustración” en los enlaces además del desorden de partida. La **suma de estos dos efectos induce una relajación muy lenta**, como en los vidrios ordinarios que han inspirado su nombre, y su estudio ha originado controversias que afectan a la teoría y a los experimentos.



Un problema abierto en física teórica es la **definición del límite termodinámico** en los modelos que describen estos materiales, lo que es esencial para comprender tanto la estructura de las fases relevantes (estados puros y, a bajas temperaturas, fase vidrio de espines) como la transición entre ellas. En un modelo ferromagnético usual, como el de Ising, pueden definirse estados con volumen finito (relevante para describir simulaciones numéricas, por ejemplo) y luego considerar de manera controlada el límite de este volumen hacia el infinito, resultando estados (mezcla) en la fase ferromagnética que son combinaciones convexas de dos estados puros (todos los espines apuntando al norte o todos al sur). Pero en los vidrios de espines y en otros sistemas desordenados, al ir aumentando el volumen (para una realización dada del desorden) las propiedades del sistema cambian rádi-

calmente, haciéndose imposible una correcta definición.

Tratando de resolver este problema, Newmann y Stein han propuesto considerar los “metaestados” que van apareciendo al aumentar el tamaño del sistema. Aunque no hay demostración rigurosa de su equivalencia, Aizenman y Wehr construyen el metaestado (figura) partiendo de un cubo de lado W, dentro de otro de lado R ( $W \ll R$ ) en cuyo interior el desorden es fijo. Éste se introduce entonces en otro de lado L ( $R \ll L$ ), y promediamos sobre el desorden en este último y no en el cubo de lado R. Finalmente, los tamaños de los tres cubos se hacen infinitos (respetando  $W \ll R \ll L$ ) pudiendo demostrar que, bajo ciertas condiciones, este límite es independiente del desorden en el cubo de lado R.

Luis A. Fernández y Víctor Martín-Mayor, en UCM, Javier Moreno-Gordo, en UNIZAR, y Juan J. Ruiz-Lorenzo, en UEX, colaborando con investigadores de la Universidad de Roma I y del CEA-Saclay han construido numéricamente el **metaestado** de Aizenman y Wehr (DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.037203) mostrando que es compatible con la presencia de un gran número de estados termodinámicos, lo que deja como posibles descripciones la de Parisi o la de los pares caóticos.

La próxima conferencia de la Condensed Matter Division de la European Physical Society, **CMD 27**, tendrá lugar en Berlín del 11 al 16 de marzo de 2018



<http://www.eps.org/group/CMD>