

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 Agraït (ambos en el IMDEA-Nanociencia), Charalambos Evangelis 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 bitermoeléctricos**. 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 $\text{Sc}_3\text{N}@C_{80}$ (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.

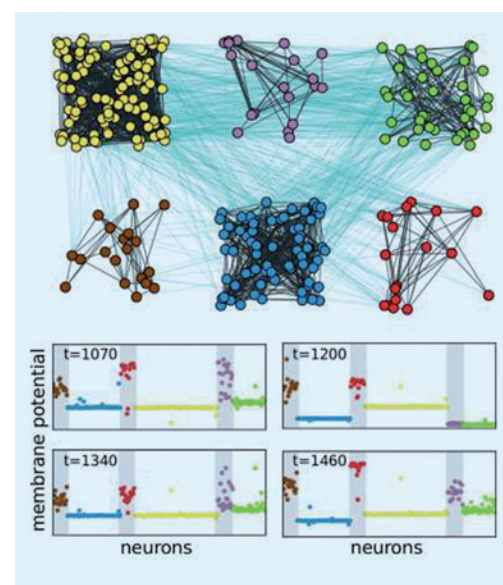
Este hallazgo abre la puerta al estudio de nuevos materiales que han de permitir avances tecnológicos en **aplicaciones de recuperación de calor, sensores y sistemas de refrigeración**. Se trata de conseguir materiales con una eficiencia óptima para tratar de minimizar las pérdidas energéticas.

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 quiméricos** para designar un fenómeno contra-intuitivo: la coexistencia en un sistema de un estado sincronizado en una de sus partes con otro intrínsecamente asíncrono. 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 quiméricos** 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 laser 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 laser 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.

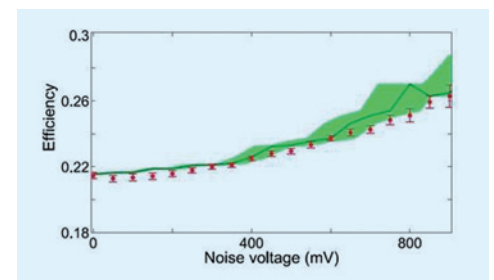
En definitiva, los autores han revelado la posibilidad de una **novedosa estructura para un láser estocástico**,

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

