

# 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, así como sobre sus actores<sup>1</sup>

## AMONIACO EN LA ATMÓSFERA DE UNA ENANA MARRÓN

**L**as enanas marrones son objetos con una masa comprendida entre la de un planeta gigante y la de una estrella pequeña (es decir, entre 15 y 75 veces la de Júpiter). En este rango de masas, estos objetos no son capaces de mantener la fusión de hidrógeno, como en el caso de una estrella, lo que hace que sean considerados “estrellas fallidas”. Sin embargo, son **excelentes laboratorios para estudiar las atmósferas de exoplanetas gigantes en órbitas amplias, ya que ambos objetos comparten procesos físicos y químicos casi idénticos.**

Una investigación publicada en *Nature* (DOI: 10.1038/s41586-023-06813-y), liderada por el Centro de Astrobiología (CAB-CSIC-INTA), el Max-Planck Ins-

las enanas marrones. Gracias a observaciones realizadas con el instrumento de infrarrojo medio (MIRI) del telescopio espacial James Web (JWST), se ha detectado en una enana marrón ultrafría, denominada WISE J1828 y situada a 32,5 años luz, un isotópologo del amoníaco,  $^{15}\text{NH}_3$ . Este descubrimiento ha permitido profundizar en la estructura de la atmósfera de la enana marrón, así como en su proceso de formación. Los modelos utilizados en este trabajo han permitido inferir la temperatura atmosférica, unos 400 K, y la composición química. El bajo contenido de  $^{15}\text{NH}_3$  en el espectro de WISE J1828 ha permitido confirmar que la enana marrón no se formó como un planeta —es decir, por acreción de un núcleo—, sino que se produjo más bien como una estrella, en el contexto de un colapso gravitatorio, como era de esperar.

**Este estudio pone a nuestra disposición una nueva herramienta de**



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

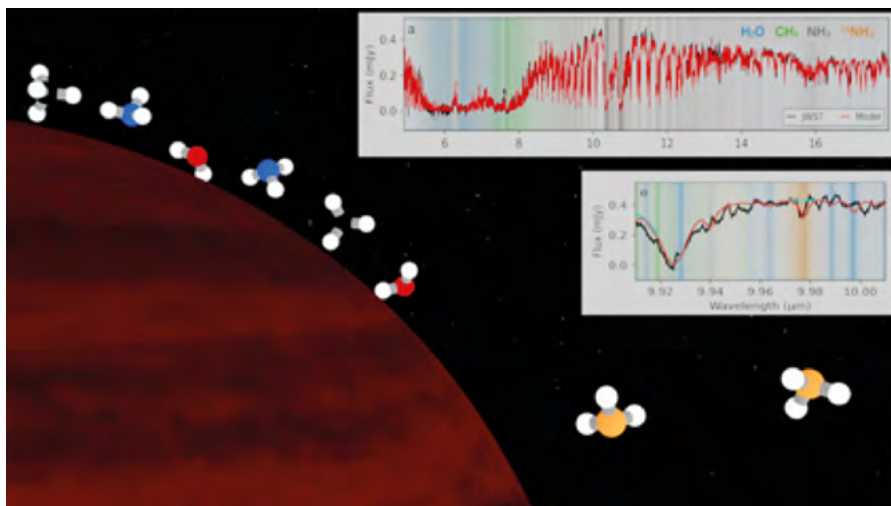
pequeños y ligeros de un sistema planetario se desarrollan y cómo lo hacen.

Además, la relación  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  depende de la distancia de un gigante gaseoso a su estrella central, aumenta fuertemente entre la llamada línea de hielo del amoníaco y la línea de hielo del nitrógeno molecular. En este sentido, **el amoníaco y la frecuencia de sus isotópologos no solo son adecuados para proporcionar información sobre cómo se desarrolló un exoplaneta, sino también en qué parte del disco protoplanetario se formó.**

Gracias al amoníaco, otros grupos de investigadores dispondrán de una herramienta adicional para estudiar exoplanetas directamente observables. Una herramienta que solo se hizo tangible gracias al JWST, lo que subraya una vez más el valor y las prestaciones del telescopio espacial.

## UNA GALAXIA ESPIRAL BARRADA CUANDO EL UNIVERSO TENÍA 2.1 MIL MILLONES DE AÑOS

**E**n el universo local, más del 70 % de las galaxias tienen una estructura espiral barrada, incluida nuestra Vía Láctea. Las barras galácticas son estructuras características de las galaxias de disco, y consisten en aglomeraciones de estrellas moviéndose en órbitas muy elípticas como consecuencia de la inestabilidad gravitatoria durante la evolución del disco estelar. Son extremada-

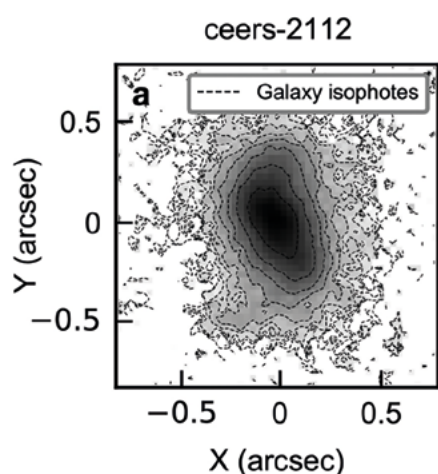


Crédito: CAB (CSIC-INTA) / Pablo Blázquez, David Barrado y María Morales-Calderón.

titut für Astronomie (MPIA) y el ETH Zürich, y que incluye a los investigadores españoles David Barrado, como primer autor, a María Morales-Calderón y Luis Colina, ha revelado nuevas claves sobre

**diagnóstico, la relación entre  $^{14}\text{NH}_3$  y  $^{15}\text{NH}_3$ , para describir los procesos de formación de los gigantes gaseosos que se encuentran fuera del Sistema Solar.** Estos desempeñan un papel importante en la génesis de los sistemas planetarios, ya que se forman en las primeras etapas de la formación de las estrellas y, por tanto, podrían ser un factor decisivo a la hora de determinar si los planetas más

<sup>1</sup> Sección preparada por Rafael García Molina, en colaboración con los actores implicados. Se anima a proponer contribuciones relevantes para ser consideradas aquí.



mente interesantes porque suponen una vía para diseminar elementos pesados formados en zonas internas de las galaxias, donde la densidad de estrellas es mayor, hacia zonas más externas, con la consiguiente influencia en formación de planetas o incluso la vida. Estas estructuras, tan frecuentes en el universo local, son menos comunes en el universo temprano, debido principalmente a la gran cantidad de gas turbulento presente en las primeras fases de vida del universo, y a las frecuentes interacciones entre galaxias, lo que debería prevenir la formación de estructuras con órbitas homogéneas. En efecto, **las más recientes simulaciones cosmológicas no predicen la formación de galaxias espirales barradas hasta que el Universo tenía al menos entre 7-8 mil millones de años.**

Sin embargo, un nuevo estudio publicado en la revista *Nature* (<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06636-x>), liderado por Luca Costantin y Pablo G. Pérez González del Centro de Astrobiología (CAB) CSIC-INTA, desafía los modelos actuales de formación de galaxias de disco en el Universo temprano. El estudio desvela el descubrimiento de ceers-2112, una galaxia espiral barrada observada cuando el universo tenía solamente 2,1 mil millones de años. La barra de la galaxia ceers-2112 ha sido identificada gracias al análisis de imágenes tomadas con el instrumento NIRCам del telescopio espacial James Webb durante las observaciones del proyecto CEERS (Cosmic Evolution Early Release Science).

La galaxia ceers-2112 puede ser considerada una galaxia progenitora de la Vía Láctea, ya que presenta la misma masa que debía tener la Vía Láctea hace 11,7 mil millones de años, además de una barra como la de nuestra

galaxia. Este descubrimiento sugiere que la materia bariónica puede dominar sobre la materia oscura en estas fases primordiales de vida del universo, y que las galaxias de disco (y sus barras) se pueden formar más rápidamente de lo predicho por los modelos y las observaciones más avanzadas que tenemos hasta la fecha, siendo dinámicamente maduras hace más de 12 mil millones de años. Abre, sin embargo, ciertos interrogantes: ¿cuánto tiempo pueden subsistir las barras?, ¿cómo influyen en la evolución química de las galaxias?

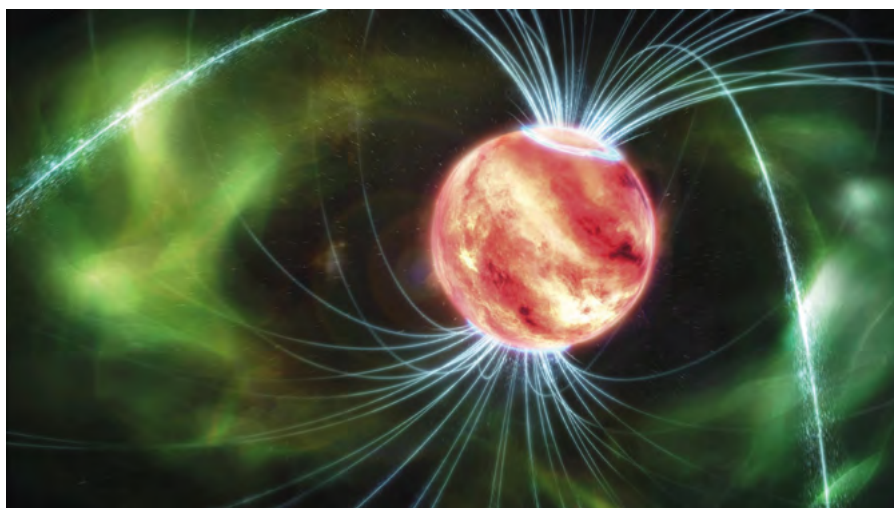
El descubrimiento ha tenido una gran repercusión entre el público en general, a raíz de la publicación de varias notas de prensa, incluido un artículo en la web del diario *El País* que tuvo millones de visualizaciones a través de la red X (antigua Twitter) y la publicación en la primera página del diario en papel.

## DESCUBIERTO EL PRIMER CINTURÓN DE RADIACIÓN EXTRASOLAR

Desde 1958 sabemos que el planeta Tierra está rodeado de iones y electrones atrapados en el campo magnético terrestre, formando una especie de donut o rosquilla alrededor de nuestro hogar. Esta estructura magnética, llamada cinturón de radiación también, se encuentra en Júpiter, a una mayor escala, y en el resto de planetas de nuestro Sistema Solar que poseen campos magnéticos apreciables. Sin embargo, nunca hemos visto el cinturón de radiación de objetos más allá de nuestro Sistema Solar... hasta ahora.

“Utilizando una red de radiotelescopios repartidos por todo el planeta, desde España hasta Shanghai y desde Suecia hasta Sudáfrica, **hemos conseguido obtener la imagen más detallada jamás captada de una enana marrón, publicada ahora en *Science*** (DOI: 10.1126/science.adg6635), y que **revela una estructura semejante a un cinturón de radiación**”, señala Joan Climent, investigador de la Universitat de València, asociado de la Universitat Internacional de Valencia y autor principal del artículo. En esta enana, LSR J1835+3259, la estructura magnética es diez veces mayor que su correspondiente en Júpiter y millones de veces más potente. “Sin duda, este descubrimiento demuestra la universalidad de los cinturones de radiación en otros cuerpos más allá del Sistema Solar pero, y quizás más relevante, **la presencia de este tipo de estructuras en objetos mucho más masivos que los planetas**”, señala José Carlos Guirado, catedrático de Astrofísica de la Universitat de València y coautor del artículo. Al fin y al cabo, LSR J1835+3259, situado a 18 años luz, es un cuerpo de transición entre una estrella y un planeta, con una masa estimada de 55 veces la masa de Júpiter.

El estudio descubre que, al igual que ocurre en la Tierra y en Júpiter, el cinturón de radiación contribuye a la formación de auroras. Sin embargo, **el gigantesco cinturón de radiación de LSR J1835+3259 da lugar a auroras extrasolares de una energía miles de veces más grande que las de Júpiter.** “En las imágenes publicadas se puede diferenciar fácilmente la emisión auroral situada muy cerca de la superficie de la enana y situada a medio camino



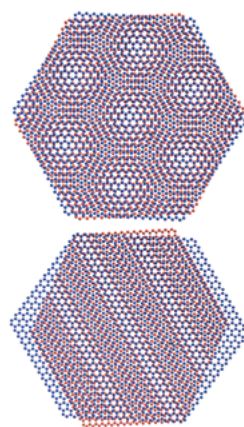


entre las dos zonas de emisión correspondientes al cinturón de radiación”, destaca Jon Marcaide, académico de número en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Un descubrimiento siempre abre nuevos interrogantes. En este caso, los autores se preguntan sobre el origen de las partículas energéticas que están atrapadas en el cinturón de radiación de LSR J1835+3259. “En el caso que mejor conocemos, Júpiter, es la luna volcánica Io la que actúa como el principal proveedor de estas partículas para el cinturón de radiación”, destacan Miguel Ángel Pérez-Torres y Luís Peña-Moñino, del Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC y coautores del artículo. “Es posible que un satélite orbite alrededor de LSR J1835+3259 y desempeñe un papel similar, ya que se han detectado numerosos exoplanetas rocosos alrededor de estrellas enanas tipo M”, añaden los científicos. De existir, este posible exoplaneta sería una fuente potencial de plasma para el cinturón de radiación y convertiría esta enana marrón en una versión aumentada del sistema Júpiter-Io. Este descubrimiento supone un avance en la comprensión del entorno magnético de los exoplanetas y exolunas, crucial para evaluar su posible habitabilidad.

## UNA ÚNICA EXPRESIÓN ANALÍTICA PARA EXPLICAR LOS MOIRÉS 1D EN GRAFENO

La metodología de trabajo en un grupo de investigación teórico a menudo implica discusiones frente a los datos para dilucidar cuál es la historia que la naturaleza está tratando de contarnos. En cierta ocasión, se encontraban los investigadores Paco Guinea, Pierre Pantaleón y Andreas Sinner discutiendo sobre el grafeno bicapa. Cuando sometían el grafeno bicapa a tensión, su zona de Brillouin (la celda unitaria en el espacio de momento) se distorsionaba y, finalmente, colapsaba en una dirección. Esta distorsión en el punto de colapso provocó en ese momento un error en el programa de visualización, sugiriendo la presencia de algún tipo de singularidad.



Patrón de moiré en grafeno bicapa, relajado (arriba) y estirado (abajo).

En Física, las singularidades exigen una cuidadosa consideración. Podrían indicar que algo está faltando, está cambiando o simplemente requiere un examen más detallado. Fue la transformación en el espacio real lo que realmente cautivó su atención: el grafeno tensado dio lugar a la aparición de patrones de moiré unidimensionales casi perfectos —canales 1D— dentro del material bidimensional.

Anteriormente, los científicos habían observado tales patrones 1D en muestras de materiales, a través de microscopios, y los habían considerado como errores de diseño, dislocaciones o materiales adheridos. Pero detrás de lo que parecen ser artefactos, hay efectos enmascarados que los investigadores describen ahora. El grupo de investigación del Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Nanociencia (IMDEA Nanociencia) confirma que se trata de un fenómeno natural en las redes hexagonales, y que tiene lugar específicamente cuando dos redes se apilan con un ligero ángulo de torsión y se aplica tensión.

La contribución más significativa de los investigadores radica en su hallazgo de soluciones analíticas para cuantificar la deformación crítica requerida para generar estos patrones 1D. Sorprendentemente, esta solución es bellamente simple, ya que se basa en solo dos variables: el ángulo de torsión y el módulo de Poisson, una constante específica del material. Sus hallazgos les llevaron a obtener una única fórmula matemática para describir el fenómeno, y esta fórmula nos da información sobre su origen físico.

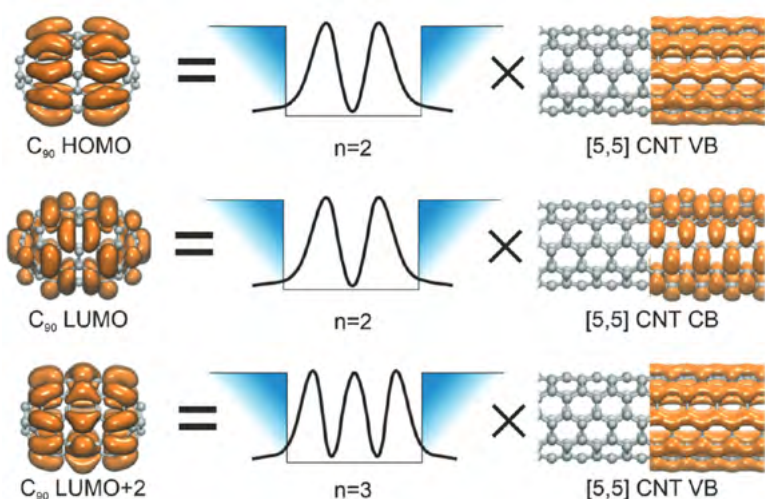
La física descrita en su trabajo, publicado en *Physical Review Letters* (DOI: 10.1103/PhysRevLett.131.166402), no es nueva pero la explicación del fenó-

meno en términos tan simples —una sola expresión analítica— es elegante y única. Los hallazgos abren la puerta a la ingeniería de nuevos materiales en superficies capaces de presentar estos patrones 1D. Dentro de estos patrones —canales 1D—, los electrones se encuentran confinados, en contraste con el movimiento libre que exhiben en el paisaje estándar 2D del grafeno. Las implicaciones de este descubrimiento son diversas, con aplicaciones potenciales que se extienden a otros materiales, como los dicalcogenuros, y también pueden extenderse a otras configuraciones geométricas.

## LA MOLÉCULA C<sub>90</sub>: EL NANOTUBO DE CARBONO MÁS PEQUEÑO

Los *fulertubos* —término acuñado en 2020 por S. Stevenson y sus colaboradores en la Universidad de Purdue Fort Wayne— engloban una familia de unidades moleculares formadas como mezcla de nanotubo de carbono con extremos semiesféricos de hemifulereno. Estas nanoestructuras han surgido recientemente como una nueva y prometedora estructura alotrópica de carbono con, a diferencia de los nanotubos, estructura perfectamente reproducible, masa molecular definida, y solubilidad en disolventes orgánicos. Cabría esperar que sus propiedades mostraran rasgos tanto de fulerenos como de nanotubos de carbono, y que sus estados electrónicos se asemejaran a los de los nanotubos de carbono extendidos; sin embargo, tal correlación aún no ha sido descrita hasta la fecha.

Roberto Otero y Rodolfo Miranda (IMDEA Nanociencia) para la caracterización de Física de Superficies, junto con Nazario Martín (UCM) para el análisis físico-químico, y José I. Martínez y José M. Gallego (ICMM-CSIC) para las simulaciones computacionales, en una colaboración multidisciplinar con la Universidad Purdue Fort Wayne en Indiana (EE. UU.), donde se sintetizó por primera vez el *fulertubo* C<sub>90</sub>, mediante la utilización de las más avanzadas técnicas de síntesis y caracterización en Física de Superficies y de potentes herramientas de simulación atómica computacional, han mostrado por primera vez



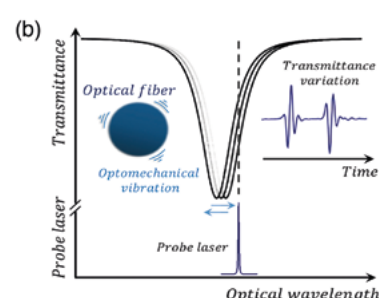
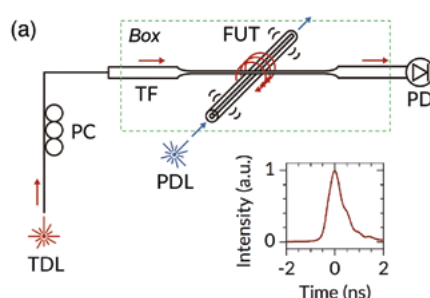
que orbitales frontera del fulertubo [5,5]- $C_{90}$ , el más pequeño de la familia, pueden describirse como resultado del confinamiento cuántico impuesto por los extremos semiesféricos fullerénicos a los estados de banda de valencia y de conducción del nanotubo de carbono extendido. Los detalles de este estudio han sido recientemente publicados en la prestigiosa revista *Small* (DOI: 10.1002/sml.202307611), donde se han investigado los estados electrónicos de fulertubos [5,5]- $C_{90}$  depositados sobre las superficies de plata Ag(111) y oro Au(111) mediante *microscopía/espectroscopía de escaneo por efecto túnel (STM/STS)* y simulaciones atómicas computacionales basadas en la *teoría del funcional de la densidad (DFT)*. Los resultados demuestran que la forma de los orbitales moleculares de las moléculas adsorbidas se corresponden estrechamente con lo esperado para especies aisladas según las simulaciones DFT, mostrando que la interacción con estos sustratos metálicos es lo suficientemente intensa como para permitir su confinamiento en superficie, pero no tanto como para perturbar sus propiedades electrónicas.

Los orbitales moleculares estimados mediante las imágenes STM a distintos voltajes de escaneo (a las resonancias STS) muestran una gran semejanza con los calculados en fase gaseosa, lo que permite proponer una clasificación de los estados electrónicos de los fulertubos de acuerdo a su similitud con los estados electrónicos del nanotubo de carbono [5,5] infinito: mientras que algunos orbitales pueden considerarse como “tipo nanotubo”, ya que surgen del confinamiento cuántico de los estados de Bloch deslocalizados en el

nanotubo extendido, otros no pueden entenderse de esta manera debido a su simetría axial y, por lo tanto, pueden considerarse de carácter puramente “tipo fullereno”. En la figura se muestra la descomposición de distintos orbitales del fulertubo  $C_{90}$  como producto de cada función de onda asociada al nanotubo [5,5] infinito por una onda sinusoidal que surge del confinamiento de las bandas deslocalizadas al tamaño finito del esqueleto molecular.

Esta nueva perspectiva proporciona un marco conceptual esencial para comprender la naturaleza híbrida de los fulertubos emergentes, así como para optimizar sus propiedades para futuras aplicaciones, y podría convertirse potencialmente en un pilar en nuestra comprensión de estas nuevas formas de carbono en la nanoescala.

## CARACTERIZACIÓN DE RESONANCIAS ACÚSTICAS TRANSVERSALES EN FIBRAS ÓPTICAS MEDIANTE SUS PROPIAS RESONANCIAS ÓPTICAS



La dispersión de Brillouin es un efecto no lineal que implica la interacción entre ondas electromagnéticas (luz) y ondas mecánicas (sonido). Entre otras aplicaciones, este mecanismo físico ha permitido desarrollar toda una familia de sensores distribuidos de fibra óptica con resolución espacial y alcance extraordinarios. Recientemente, se ha mostrado que una variante de la dispersión Brillouin, denominada **dispersión de Brillouin copropagante** (FBS, en su acrónimo en inglés), **permite implementar sensores de fibra óptica capaces de monitorizar el estado de la fibra óptica, y también de algunas propiedades del medio que la rodea**, lo que ha abierto un amplio abanico de nuevas aplicaciones potenciales.

Una fibra óptica, además de ser una excelente guía de ondas para ondas electromagnéticas, también es un **resonador cilíndrico muy eficiente, tanto para resonancias ópticas como para resonancias acústicas**. Las resonancias ópticas, del tipo *whispering-gallery mode* (WGM), son oscilaciones que resultan de la propagación de ondas electromagnéticas en la dirección azimutal. En fibras ópticas convencionales de  $SiO_2$ , el factor de calidad de las resonancias ópticas WGM puede ser tan alto como  $10^8$ .

Por otro lado, una fibra óptica es un medio elástico con simetría cilíndrica que permite la oscilación de un espectro amplio de ondas mecánicas (o acústicas). Entre ellas, encontramos las resonancias acústicas transversales, que son las oscilaciones que se excitan ópticamente en el fenómeno de FBS. Los métodos empleados para la detección y caracterización de las resonancias acústicas de la fibra óptica son métodos ópticos, que se basan en medir la perturbación que la resonancia acústica induce sobre una señal óptica de prueba que se hace propagar por la propia fibra óptica. Entre los más habituales

encontramos los métodos interferométricos que, generalmente, requieren del uso de una longitud de fibra “larga”, del orden de las decenas de metros, debido a que la perturbación producida por la resonancia acústica en la señal óptica de prueba es muy débil. Ello repercute en la pérdida de la calidad de las resonancias acústicas medidas, lo que supone una limitación en las capacidades de los sensores que se pueden fundamentar en FBS.

En un reciente trabajo publicado en la revista *Advanced Photonic Materials* (DOI: 10.1002/adom.202301629), investigadores del Laboratorio de Fibras Ópticas de la Universidad de Valencia, Luis A. Sánchez y Martina Delgado-Pinar, liderados por los profesores Miguel V. Andrés y Antonio Díez, demuestran un enfoque alternativo para investigar las resonancias acústicas transversales implicadas en el proceso de FBS. **El método propuesto se fundamenta en la interacción de las resonancias acústicas con las resonancias ópticas (WGM) de la propia fibra óptica.** La clave radica en que las perturbaciones producidas por la resonancia acústica en la fibra, afectan de manera muy significativa a la resonancia óptica, dado su carácter resonante.

A modo de ilustración, el montaje representado en la figura incluye una fibra que hace el papel de resonador óptico y acústico (FUT): mientras que las resonancias ópticas son modos localizados en la superficie exterior de la fibra, las resonancias acústicas hacen vibrar en dirección radial y periódicamente la fibra, a las frecuencias de resonancia propias, lo que conlleva un cambio efectivo del diámetro. Estas resonancias acústicas son generadas con un láser pulsado de alta potencia de pico (*pump*), a través de la electrostricción, un fenómeno no lineal. En la figura de la derecha se muestra cualitativamente el efecto de las vibraciones en la resonancia óptica (WGM): al modificarse el diámetro efectivo, la frecuencia central de la resonancia óptica oscila a las frecuencias de vibración propias del cilindro. Cuando el dispositivo se interroga con una fuente estrecha tipo láser continuo de baja potencia (*probe*), este efecto se traduce en una variación temporal de transmitancia; del análisis de Fourier de esta traza se obtiene la información sobre

el valor concreto de las frecuencias de resonancia y su anchura de línea, con muy alta precisión. Estos parámetros, a su vez, proporcionan información sobre la propia fibra o el medio externo, lo que abre una nueva línea de sensores codificados en frecuencia basados en la optomecánica y el FBS, en los que tanto la generación como la caracterización de las resonancias acústicas es controlada ópticamente.

**Los investigadores destacan la alta precisión que proporciona este método de medida, en gran parte debido a que la longitud de fibra óptica requerida viene determinada por la extensión del campo electromagnético de las resonancias ópticas a lo largo de la fibra, que es muy pequeña, del orden de 200 micras.** De este modo, los valores de anchura de línea de las resonancias acústicas que se han obtenido mediante este método de medida son valores muy próximos al límite teórico esperado y las más estrechas reportadas en la literatura hasta la fecha.

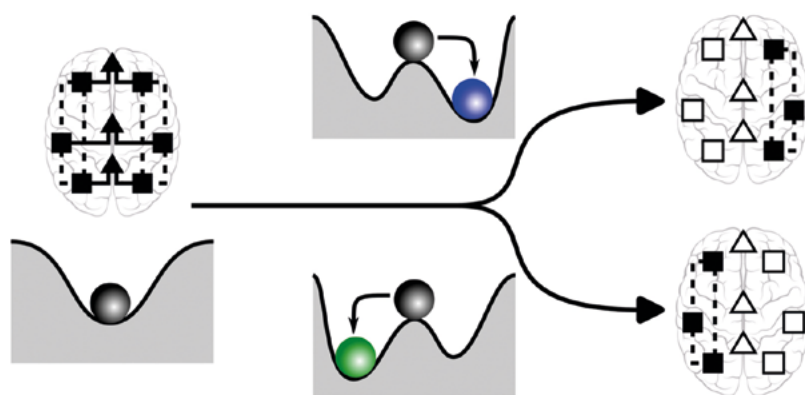
## LA COGNICIÓN COMPLEJA ROMPE LA BILATERALIDAD CEREBRAL

**E**l cuerpo humano presenta simetría especular: la mitad derecha es como la izquierda, pero invertida. Los cerebros de la mayoría de animales heredan esta simetría, también llamada

canismos pueden llevar a la ruptura de la simetría espejo?

Desde muy pronto en la historia de la neurociencia **persiste la hipótesis de que una mayor complejidad cognitiva puede conllevar una pérdida de la bilateralidad.** Existen pocas pruebas empíricas para apoyar esta conjetura, en parte por la dificultad empírica que conlleva. **Hasta ahora, tampoco existía una teoría matemática firme que validara esta conjetura.**

En un artículo publicado en la revista *Physical Review X* (DOI: 10.1103/PhysRevX.13.031028), el investigador Luis F. Seoane, del Centro Nacional de Biotecnología del CSIC, desarrolla la teoría matemática que nos faltaba. Con un modelo sencillo, Seoane demuestra de forma analítica cómo la aparición de mayor complejidad cognitiva conlleva una presión evolutiva hacia la pérdida de la simetría espejo, favoreciendo la lateralización. Por tanto, la hipótesis histórica es cierta: cabe esperar que animales con una cognición más avanzada presenten cerebros más asimétricos. En otras palabras, **la cognición compleja es un mecanismo que rompe la bilateralidad.** El marco teórico predice, además, que en ciertas situaciones este mecanismo opera en sentido contrario, restableciendo simetrías perdidas o generando nuevas redundancias en el cerebro. Las situaciones en que una mayor complejidad cognitiva rompe o crea simetrías son complementarias, y dependen del punto de partida (por ejemplo, romperían



bilateralidad. Pero algunas funciones cognitivas sólo se ejecutan en un hemisferio: por ejemplo, el lenguaje suele activar sólo circuitos del lado izquierdo. En estos casos decimos que la actividad cerebral se halla lateralizada. ¿Qué me-

la simetría en casos en que ya exista) y de características de los circuitos neuronales involucrados (por ejemplo, de cuántos errores producen las neuronas al computar, o de cómo de costoso es coordinar ambos hemisferios).