

# Puntos de interés

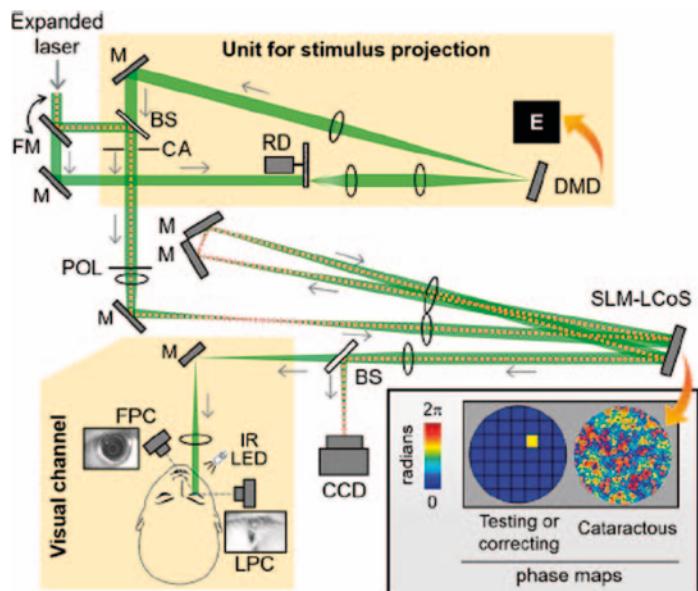
Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica y sus actores<sup>1</sup>

## CORRECCIÓN DE LAS CATARATAS MEDIANTE MANIPULACIÓN DE LA FASE

Las cataratas son la primera causa reversible de ceguera en el mundo. Se caracterizan por la opacificación del cristalino, originada en los cambios físicos y químicos de sus proteínas. El efecto en las imágenes en la retina son el emborronamiento y reducción del contraste, particularmente

es posible elegir entre la cirugía y la corrección óptica, es también de interés diseñar un **procedimiento no invasivo, fundamentado en el uso de técnicas ópticas para la corrección de las cataratas.**

En un artículo publicado en *Optica* (DOI: doi.org/10.1364/OPTICA.7.000022), los investigadores del Laboratorio de Óptica de la Universidad de Murcia, Augusto Arias y Pablo Artal, evaluaron las capacidades y limitaciones de una técnica óptica de manipu-



Esquema del sistema experimental empleado e imágenes de una letra E antes y después de la corrección.

en presencia de fuentes de luz deslumbrantes, dificultando la severamente la visión. El tratamiento estándar, y muy exitoso, de las cataratas es la cirugía, donde el cristalino afectado es extraído y reemplazado por una lente intraocular. Aunque este es un procedimiento rutinario en los países desarrollados, **sigue habiendo un gran número de personas en el mundo que no tienen acceso a esta cirugía.** De la misma manera que en la corrección de la miopía

lación del frente de onda, conocida como “wavefront shaping”, en la mitigación de los efectos de las cataratas en la visión. Este tipo de técnica había sido previamente implementada en microscopía para aumentar la capacidad de penetración de la luz en medios turbulentos.

En el desarrollo de esta investigación, los autores diseñaron un **sistema experimental para generar y corregir simultáneamente el efecto de las cataratas de manera realista.** La corrección consistió en la adaptación iterativa de los retrasos del frente de onda representativo de los ojos cataratosos para mejorar la calidad de la



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

imagen en la retina. El sistema permite la observación de test visuales bajo los efectos simulados de cataratas y su corrección, permitiendo la evaluación de la calidad visual en voluntarios.

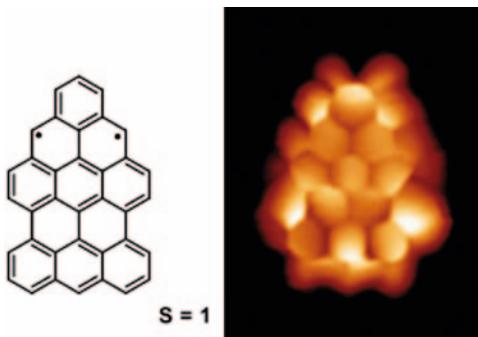
Los resultados, según Augusto Arias, “demuestran que la técnica *wavefront shaping* recuperaría la agudeza visual con letras de alto contraste en los pacientes cataratosos, independientemente de su severidad, pero la mejora del contraste en las imágenes sería menor”. A consecuencia de lo anterior, si un corrector basado en esta técnica se usara en exteriores, un velo de luz de los objetos brillantes no permitiría apreciar las mejoras en la resolución. Por ello, los autores sugirieron que las imágenes pudieran ser “simplificadas” antes de ser proyectadas a través del corrector. “Imaginamos un sistema de realidad virtual adjunto al corrector, que registre las escenas en frente del paciente, y, tras un procesado, elimine las fuentes de deslumbramiento”, explica Arias.

Los hallazgos de esta investigación permitirán, además, **entender el impacto de resultados en estudios similares sobre la calidad visual.** “Teniendo en mente los umbrales encontrados sobre la capacidad de la técnica, estamos estudiando su implementación *in vivo*”, añade el Prof. Artal. Esta investigación se enmarca en el proyecto del Consejo Europeo de Investigación SeeCat.

<sup>1</sup> Sección preparada por Augusto Beléndez, en colaboración con actores implicados, que anima a proponer contribuciones relevantes para ser consideradas aquí.

## ORIGAMI MAGNÉTICO CON GRAFENO

**E**l grafeno es un material diamagnético, esto significa que **no le gusta el magnetismo, y se muestra reacio a magnetizarse**. Y a pesar de esto, la teoría predice que una estructura triangular de este material podría llegar a ser magnética. Esta aparente contradicción es consecuencia de que para ciertas for-



mas "mágicas" del grafeno los electrones parecen "girar" más fácilmente en una dirección determinada, forma coloquial para decir que tienen un mismo espín, y con ello lo vuelven magnético.

**Un trianguleno es una estructura triangular de grafeno donde las predicciones afirmaban que se puede conseguir un estado magnético puro.** En otras palabras, es como un imán de dimensiones nanométricas. Dotar al grafeno de magnetismo abre perspectivas fascinantes en su aplicación en tecnologías cuánticas, por ejemplo.

Sin embargo, a pesar de la rotundidad de las predicciones sobre el estado magnético del trianguleno, hasta la fecha no existían pruebas experimentales claras del mismo. Por un lado, la producción de trianguleno por métodos de síntesis orgánica en solución es muy difícil, porque el carácter bi-radical de esta molécula hace que sea muy reactiva. Además, parece que su magnetismo es extremadamente esquivo en los pocos casos en los que se han estudiado con éxito.

Un nuevo estudio publicado en la revista científica *Physical Review Letters* (Doi: PhysRevLett.124.177201) ha retomado este reto utilizando un microscopio de efecto túnel (STM, por sus siglas en inglés) y ha demostrado que un trozo triangular de grafeno, de apenas 36 átomos, tiene un momento magnético.

En este estudio se fabricó la pieza de grafeno triangular (ver en la figura), con precisión atómica, sobre una superficie

de oro limpia mediante una reacción química *in situ* (en el microscopio). Medidas de espectroscopía de efecto túnel revelaron que este compuesto posee un estado magnético neto caracterizado por un espín  $S = 1$  y que, por lo tanto, **esta molécula es un pequeño "paraimán" de carbono puro**. Es más, mediante la manipulación atómica, los investigadores pudieron extraer átomos de hidrógeno de algunas moléculas "contaminadas" y observaron cómo sus propiedades magnéticas emergían.

**Al contrario que un imán macroscópico, un "paraimán" no tiene polos bien definidos debido a su pequeño tamaño.** Por ello, la detección de su estado magnético no podía realizarse con técnicas más convencionales de espectroscopía, donde la orientación del magnetismo del imán pudiera facilitar su detección. En este trabajo, la prueba experimental de su estado magnético fue obtenida mediante la detección del efecto Kondo multicanal —una versión "exótica" del efecto Kondo tradicional descrito en los años 60— y que puede surgir en sistemas magnéticos complejos.

Su observación en una estructura triangular de grafeno, de apenas 36 átomos de carbono, puede abrir todo un horizonte en nuestra comprensión del origen de este novel magnetismo, que utiliza electrones deslocalizados de las bandas  $\pi$  del grafeno.

## ABSORCIÓN NO-LINEAL Y RESOLUCIÓN EN LA FABRICACIÓN CON LÁSERES ULTRACORTOS

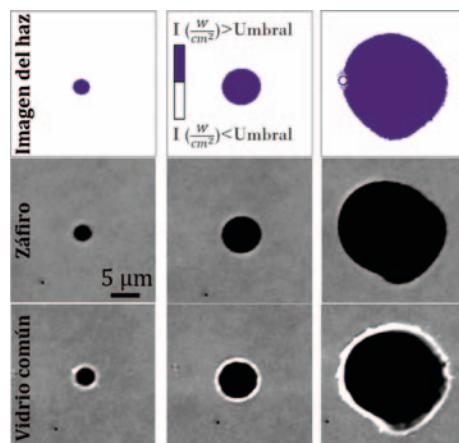
**E**n mayo hemos celebrado el 60 aniversario del primer láser. En estas seis décadas ha quedado ampliamente demostrada la importancia y aplicabilidad de esta tecnología en los más diversos campos.

**Uno de los campos en los que el láser se utiliza habitualmente es en la modificación precisa de materiales,** con intereses tan diversos como la cirugía refractiva ocular o la fabricación de microestructuras tridimensionales. En particular, el uso de pulsos ultracortos, cuya duración es menor al picosegundo, ha permitido unos niveles de calidad en la fabricación sin precedentes. Además, a esto se le añade la peculiaridad

única de que **con pulsos ultracortos se pueden modificar materiales que son transparentes a la radiación incidente**, gracias a los **procesos de absorción no lineal de la luz** que cobran importancia debido a las altísimas potencias de pico características de estos pulsos.

En este contexto, el confinamiento espacial de la **absorción no-lineal ha demostrado ser crucial en la resolución alcanzada en técnicas avanzadas de microscopía**, superando incluso el límite de difracción. Nuestra intuición, por tanto, ha llevado a asimilar que los mismos beneficios de resolución se producen al modificar materiales transparentes con pulsos ultracortos.

Sin embargo, en un artículo publicado en *Optics Letters* (<https://doi.org/10.1364/OL.382610>) se ha **demonstrado que el concepto de resolución no-lineal no es aplicable en el proceso de microfabricación con láser**. En este trabajo, realizado en el Laboratoire LP3



de Marsella (Francia), se demuestra que **el tamaño de los cráteres se predice a partir de la forma espacial del haz incidente, sin necesidad de tener en cuenta la naturaleza no lineal de la absorción**. Como señala el Dr. Mario García Lechuga, "A diferencia de la fluorescencia, observable en la microscopía no-lineal, el fenómeno de la ablación del material no es proporcional a la absorción. Para inducir dicha ablación no sólo es necesario absorber luz, sino superar un determinado umbral de irradiancia absorbida".

Así pues, el único criterio que define la resolución es el perfil del rayo láser incidente. Esta observación es importante porque el mecanizado con láser ultracorto ha seguido una dirección opuesta a la de la litografía, mientras que ambos se rigen por los mismos principios ópti-

cos. Así, la litografía utiliza la radiación ultravioleta extrema, mientras el infrarrojo es el dominante en los láseres ultracortos. Este trabajo indica que los niveles de resolución alcanzados por la fotolitografía se podrían conseguir mediante el uso de pulsos ultracortos en el ultravioleta, con potenciales aplicaciones como la nanocirugía del ADN y el procesamiento de nanomateriales.

## TRANSPORTE DE EXCITONES EN PEROVSKITAS 2D: VISUALIZACIÓN DEL FLUJO DE ENERGÍA EN UN SEMICONDUCTOR BLANDO

**U**na década después de su descubrimiento, las células solares basadas en perovskitas de haluro metálico se han posicionado a la cabeza de las células solares de unión única más eficientes, rivalizando incluso con el silicio cristalino. Sin embargo, un ingrediente clave que falta en las perovskitas es la estabilidad química. Una ruta prometedora para abordar el problema de la estabilidad es el uso de perovskitas de dimensiones inferiores, como las perovskitas bidimensionales (2D), que muestran una mejor resistencia a la

degradación que las fases 3D convencionales. La dimensionalidad reducida, sin embargo, altera significativamente las propiedades fotofísicas de las perovskitas. En lugar de actuar como portadores libres, los electrones y los huecos están unidos entre sí y viajan a través del material como pares neutros llamados excitones. Para garantizar que cada fotón absorbido contribuya a la generación de energía en una célula solar, los excitones deben difundirse lo suficiente como para llegar a los sitios de separación de carga.

En un trabajo publicado en la revista *Nature Communications* (DOI: 10.1038/s41467-020-15882-w), los investigadores Michael Seitz, Alvaro J. Magdaleno, Ne-

rea Alcázar-Cano, Marc Meléndez, Tim J. Lubbers, Sanne W. Walraven, Sahar Pakdel, Elsa Prada, Rafael Delgado-Buscalioni y Ferry Prins, del Centro de Física de la Materia Condensada (IFIMAC) de la Universidad Autónoma de Madrid, han visualizado directamente el transporte de excitones en perovskitas 2D utilizando microscopía de fotoluminiscencia transitoria (TPLM). Los resultados muestran que los excitones experimentan una difusión rápida inicial a través del plano cristalino, seguida de un régimen subdifusivo más lento a medida que los excitones quedan atrapados. Curiosamente, el régimen de transporte lento limitado por la presencia de trampas desaparece a intensidades de iluminación más altas. Utilizando modelos teóricos, los autores encuentran que esto puede explicarse por un comportamiento de llenado de dichas trampas. Sin embargo, el hallazgo más importante de este estudio es que la difusividad intrínseca temprana depende notablemente del tipo de espaciador orgánico usado para separar las láminas inorgánicas en las perovskitas 2D. Entre los espaciadores orgánicos comúnmente utilizados (fenetilamonio y butilamonio), las difusividades y las longitudes de difusión difieren tanto como en un orden de magnitud. Estos cambios están estrechamente relacionados con variaciones en la rigidez de la red, lo que sugiere un

papel dominante del acoplamiento excitón-fonón y de la formación excitón-polarón en la dinámica espacial de los excitones en estos materiales.

Los descubrimientos aportados por este estudio proporcionan una estrategia de diseño clara para mejorar el rendimiento de las células solares y los dispositivos emisores de luz basados en perovskitas 2D.

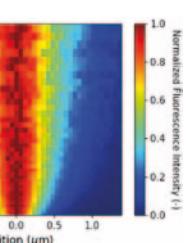
## BUSCANDO NEUTRINOS CÓSMICOS EN LA ANTÁRTIDA Y EN EL MEDITERRÁNEO

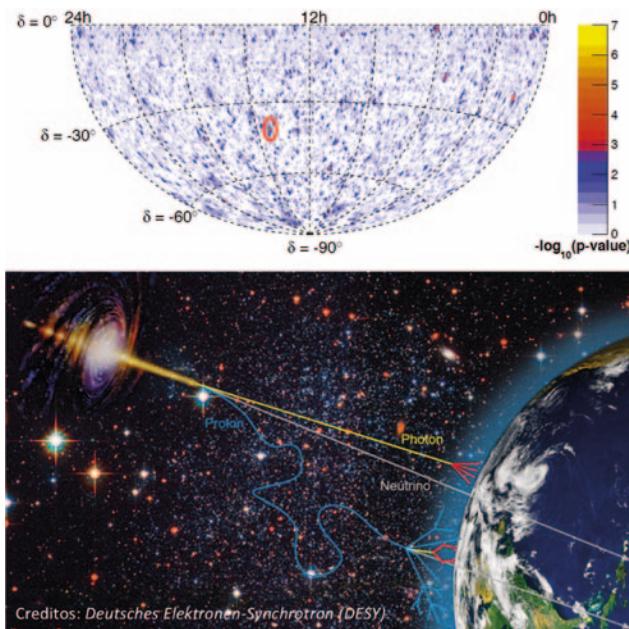
**L**os neutrinos, al ser partículas neutras que solo interactúan débilmente, son mensajeros cósmicos ideales: escapan de entornos

denses y viajan largas distancias sin ser desviados por los campos magnéticos interestelares, lo que permite apuntar a sus sitios de producción. Gracias a estas propiedades, los neutrinos pueden proporcionar las pistas que faltan para revelar el origen de los rayos cósmicos, enigma que permanece en gran parte sin resolver más de cien años después de su descubrimiento. Sin embargo, sus propiedades también los hacen muy difíciles de detectar. Los experimentos que los buscan transforman grandes volúmenes de hielo o agua en un detector de partículas, desplegando en el medio detectores ópticos para observar la luz emitida por las partículas secundarias producidas en las interacciones de los neutrinos. Uno de ellos es **IceCube**, que cuenta con más de 5.000 detectores ópticos en un kilómetro cúbico de hielo de la Antártida. Otro es **ANTARES**, que tiene cerca de 1.000 detectores en el fondo del mar Mediterráneo, junto a la costa francesa.

Un estudio conjunto de los experimentos IceCube y ANTARES para buscar neutrinos de origen astrofísico, publicado en la revista *The Astrophysical Journal* (DOI:10.3847/1538-4357/ab7af), ha sido llevado a cabo por Giulia Illuminati, investigadora predoctoral del Instituto de Física Corpuscular (IFIC, CSIC-Universitat de València), centro de investigación que lidera la participación española en ANTARES y su sucesor, KM3NeT. “La razón para hacer esto es que los dos telescopios se complementan gracias a sus diferentes características, en particular el mayor volumen de IceCube y la vista privilegiada del cielo del Hemisferio Sur de ANTARES”, explica Illuminati.

El estudio consta de cinco análisis diferentes: una exploración completa del cielo del Hemisferio Sur y de una región restringida alrededor del centro de nuestra galaxia, donde se cree que hay un agujero negro supermasivo, una búsqueda en la dirección de 57 objetos astrofísicos conocidos por su emisión de rayos gamma (a la que se asocia también la producción de neutrinos) y el análisis de dos candidatos prometedores a ser fuentes de neutrinos: Sagitario A\* (fuente asociada al agujero negro supermasivo del centro de la Vía Láctea) y el remanente de supernova RXJ 1713.7-3946.





Aunque los análisis no encontraron ninguna emisión significativa de neutrinos cósmicos, han demostrado el potencial que supone realizar búsquedas conjuntas con ambos experimentos. “Para descubrir una fuente de neutrinos en el área del centro galáctico solo necesitaríamos observar la mitad del flujo de neutrinos en comparación con lo que cada experimento debe observar por separado”, asegura la investigadora del IFIC. Con la puesta en marcha de KM3NeT, que desplegará más de 10.000 sensores en el Mediterráneo y cuyas primeras líneas ya se han instalado, y la próxima ampliación de IceCube, los análisis conjuntos serán clave para el descubrimiento de las fuentes de neutrinos cósmicos.

## HACIA LA INGENIERÍA DE POLÍMEROS METÁLICOS

**L**os polímeros metálicos, o metales orgánicos, son polímeros orgánicos que presentan una gran conductividad eléctrica al ser dopados química o electro-químicamente. Las ventajas de los polímeros conductores respecto a otros materiales conductores son varias, entre otras pueden ser fácilmente procesados a un coste moderado y son ligeros. La investigación en polímeros metálicos fue iniciada con la síntesis del poliacetileno, un polímero que al doparse (añadir átomos de impurezas) exhibe una alta conductividad. Tal descubrimiento abrió una nueva

ruta hacia la electrónica orgánica y recibió el Premio Nobel de Física en el año 2000.

Sin embargo, pronto se observó que los dopantes comprometen la estabilidad de los polímeros, reduciendo su aplicabilidad en dispositivos reales. La pregunta que surge entonces es: ¿podemos diseñar metales orgánicos intrínsecos? Para responder a esta pregunta, necesitamos acudir a la teoría topológica de bandas. Esta teoría clasifica los materiales con *bandgap* electrónico

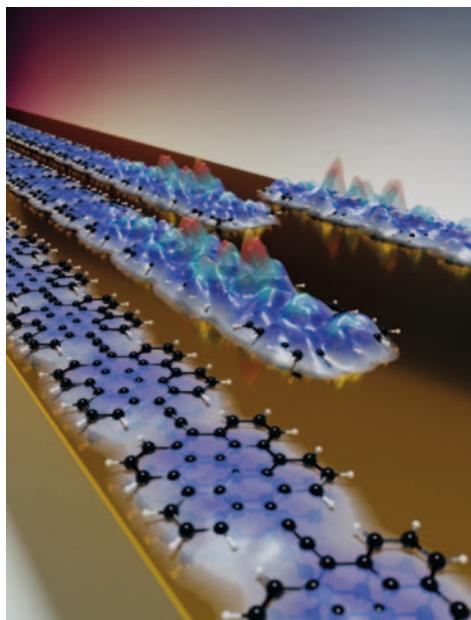
en materiales triviales (aislantes) y no triviales (aislante topológico no trivial). Tal teoría establece que la transición entre dos materiales de distinta clase topológica debe proceder a través del cierre de la banda, es decir, a través de un estado metálico. Por lo tanto, si pudiésemos confeccionar la topología de las bandas manipulando la estructura química, podríamos lograr el tan ansiado material.

Investigadores del instituto IMDEA Nanociencia, la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad Autónoma de Madrid han reportado en la revista *Nature Nanotechnology* una investigación teórico-experimental (DOI:10.1038/s41565-020-0668-7) que une los campos de la Teoría Topológica de Bandas (Física del Estado Sólido) y la conjugación de electrones  $\pi$  (Química Orgánica) para construir polímeros orgánicos cuasimetálicos con precisión atómica.

En primer lugar, se identificó una nueva familia de polímeros de aceno, clasificados por el número de unidades de benceno en su columna vertebral ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). Teóricamente, para  $n < 5$ , los polímeros se encuentran en la fase trivial, mientras que para  $n > 5$  son no triviales, hallándose el polímero de pentaceno ( $n = 5$ ) en el punto de transición topológica. Con el fin de comprobar estas predicciones, polímeros de antraceno ( $n = 3$ ) y de pentaceno se han fabricado con precisión atómica sobre sustratos de oro aplicando los últimos métodos de síntesis en superficie. Las mediciones experimentales

con microscopía de sonda de barrido revelaron que el polímero de antraceno es un semiconductor trivial, mientras que el polímero de pentaceno se encuentra muy cerca de la transición topológica en la zona de los clase topológica no trivial, presentando un *bandgap* experimental en superficie de sólo 0,35 eV, así como estados topológicos protegidos por la simetría del sistema en el nivel de Fermi. Avanzados cálculos teóricos que incluyen correlación electrónica revelaron que es de esperar que el polímero de pentaceno sin superficie presente un *bandgap* de tan sólo 0,05 eV, siendo, por tanto, cuasimetálico. Los autores extendieron el estudio a la familia de polímeros de los periáneos, logrando *bandgaps* tan bajos como 0,3 eV para los polímeros de bisanteno, corroborando asimismo el carácter topológico no trivial de dicho material y racionalizando el bajo *bandgap* debido a la proximidad del punto de transición de clase topológica.

Por otra parte, gracias al avanzado poder de resolución de microscopía de fuerzas atómicas, se pudo identificar la forma resonante dominante para cada



polímero, estableciéndose una correlación inequívoca entre cruce de forma resonante y cambio de clase topológica.

En resumen, esta investigación desarrolla la **posibilidad de diseñar polímeros orgánicos estables con *bandgaps* electrónicos cuasimetálicos**, cuyas aplicaciones irían desde la optoelectrónica molecular hasta las tecnologías cuánticas de la información.