

# Puntos de interés

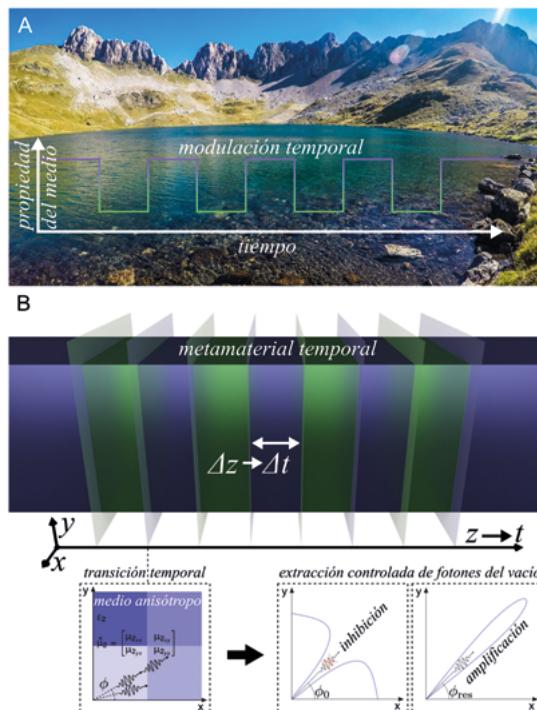
Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica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

## UN NUEVO MECANISMO BASADO EN METAMATERIALES TEMPORALES PERMITE LA EXTRACCIÓN CONTROLADA DE FOTONES DEL VACÍO

**Y**a sea por su carácter efímero o por su aparente intangibilidad, el tiempo y el vacío son dos de los conceptos más sutiles y al mismo tiempo sobrecogedores de la física. Por un lado, aunque generalmente concebido como la cuarta dimensión donde evolucionan todos los procesos físicos, el tiempo entraña características fundamentales que lo distinguen de las otras tres componentes espaciales, como su dirección de avance (siempre hacia el futuro), o su estrecha relación con la energía (dictada por el teorema de Noether). Por otra parte, el vacío conceptualiza la idea de la ausencia de todo, ya sean partículas materiales o cualquier forma de radiación. Desde el prisma de la electrodinámica cuántica, este concepto, rigurosamente referido como el vacío cuántico, permite describir el estado fundamental de la radiación electromagnética en el que no hay fotones. Sorprendentemente, dicho estado todavía contiene un remanente de energía: las fluctuaciones cuánticas del vacío. Como se muestra en la figura, las fluctuaciones de vacío podrían ser análogas a las pequeñas ondulaciones que se pueden observar en la superficie de los ibones, que, pese a estar prácticamente aislados e imperturbados, representan cantidades diminutas de campo electromagnético,

aleatoriamente distribuidas en el espacio y en el tiempo.

El control de la radiación electromagnética, así como su interacción con la materia, ha sido y sigue siendo un objetivo primordial en los campos de la óptica y la fotónica. A este respecto, el desarrollo de los metamateriales (medios artificialmente estructurados con propiedades ópticas diseñadas "a la carta") ha supuesto un enorme hito. En este contexto, una última propuesta enormemente disruptiva y que está suscitando gran interés ha sido la de los *metamateriales temporales*, donde el tiempo es considerado como un grado de libertad adicional. Así, en lugar de modelar geométricamente la materia,



son sus propiedades ópticas las que se modulan temporalmente.

La modulación temporal también es la base de nuevas formas de amplificación del campo electromagnético, incluyendo a sus fluctuaciones cuánticas. Ejemplo de ello es el celebrado efecto dinámico de Casimir, según el cual, variaciones sobre las condiciones de contorno de un medio alterarían los campos electromagnéticos producen-



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

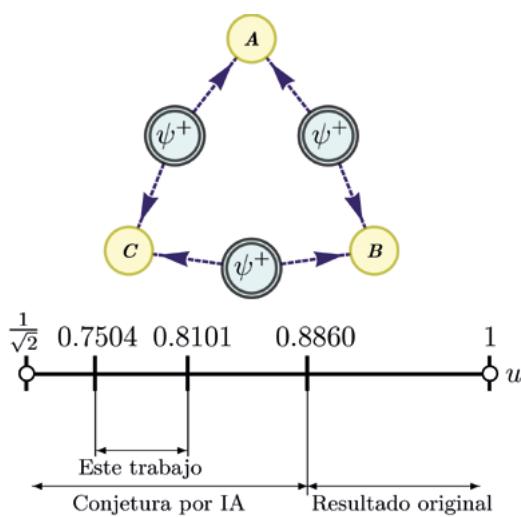
do efectos macroscópicos observables, como, por ejemplo, la emisión de pares entrelazados.

Sobre esta base, en un reciente artículo publicado en la revista *Nanophotonics* (DOI: 10.1515/nanoph-2022-0491) por los investigadores J. Enrique Vázquez-Lozano e Iñigo Liberal, de la Universidad Pública de Navarra, se ha demostrado teóricamente el potencial de los metamateriales temporales sujetos a modulaciones ultra-rápidas (idealmente instantáneas) para amplificar las fluctuaciones cuánticas y extraer así fotones del vacío. Como señala el Dr. Vázquez-Lozano, estos sistemas pueden ser visualizados como los análogos temporales a estructuras multicapa, en los que, en lugar de considerar una secuencia periódica de diferentes medios apilados en el espacio (en este caso dos, asumiendo que uno de ellos es anisótropo), la secuencia es temporal, de modo que el tiempo entre cada transición sería el equivalente al espesor de cada capa. En función de la configuración específica, considerando diferentes períodos y patrones de anisotropía, se obtienen distintos comportamientos que permiten dirigir los fotones temporalmente extraídos. Aunque por ahora su principal interés radica en el ámbito de la ciencia básica, el control de las fluctuaciones del vacío por medios temporales puede ser crucial en el desarrollo de fuentes de luz no-clásica, concluye el Dr. Liberal.

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

## DEMOSTRADA UNA CONJETURA FORMULADA POR UNA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**L**a no-localidad es, quizás, el más antiintuitivo de los fenómenos que caracterizan la física cuántica. Consiste en que los resultados producidos al observar sistemas cuánticos entrelazados están correlacionados de maneras más fuertes de lo que es posible en física clásica. Es, además, un fenómeno cuya observación tiene importantes consecuencias a nivel filosófico: ninguna teoría que sea a la vez *realista* (es decir, que asuma que la medida de una propiedad de un sistema físico solamente revela un valor preexistente) y *local* (impidiendo la transmisión instantánea de información) puede describir las correlaciones observadas entre los resultados de medir diferentes partes de sistemas cuánticos entrelazados. Tal es la importancia de este fenómeno, que los pioneros en su investigación han sido galardonadas con el premio Nobel de Física del año 2022.



Sin embargo, la no-localidad tiene interés más allá de lo fundamental. Dado que su observación garantiza que los sistemas medidos no pueden ser descritos mediante la física clásica, la no-localidad se ha convertido en una herramienta principal en el ámbito de la criptografía cuántica. En este campo, el interés radica en establecer una clave secreta entre varias partes, para cifrar comunicaciones con ella. Observar no-localidad permite dar una garantía

estricta de que el proceso criptográfico ha explotado fenómenos cuánticos, y con ello, tener la certeza de que no hay espías interfiriendo con el protocolo.

Los recientes avances en el control experimental de sistemas cuánticos individuales han motivado el estudio de no-localidad en redes complejas donde un número de fuentes independientes distribuyen sistemas cuánticos a distintas partes. Estos escenarios son muy complicados de analizar, habiéndose recurrido incluso al uso de herramientas de aprendizaje automático. Estas herramientas sobresalen a la hora de encontrar patrones, pero no son tan útiles a la hora de ofrecer demostraciones rigurosas, dado su marcado carácter numérico. Recientemente, los investigadores Alejandro Pozas-Kerstjens (Instituto de Ciencias Matemáticas, ICMAT), Nicolás Gisin (Universidad de Ginebra, Suiza) y Marc-Olivier Renou (Instituto de Ciencias Fotónicas, ICFO) han demostrado formalmente la existencia de no-localidad de una familia de escenarios de redes de distribución de información cuántica, confirmando una conjeta formulada mediante técnicas de aprendizaje automático.

Los resultados de la investigación han sido publicados en *Physical Review Letters* (DOI: 10.1103/PhysRevLett.130.090201), siendo además destacados como *Editor's Suggestion*.

El trabajo supone un importante avance conceptual en disciplinas analíticas, como las matemáticas y la física teórica, donde el aprendizaje automático no puede desarrollar su potencial: en lugar de esperar tener algoritmos que desarrollen demostraciones de manera autónoma, se propone una interacción IA-científico en la que la IA se encarga de filtrar, de entre todos los posibles problemas, aquellos en los que pueda haber indicios de fenómenos interesantes, y es el científico el que seguidamente se centra en analizar estos problemas. Pero, como señala el Dr. Pozas-Kerstjens, “el interés del trabajo también radica en los métodos desarrollados para llevar a cabo la demostración, que tienen aplicación más allá del resultado concreto en el artículo (la detección de no-localidad cuántica en una red concreta para una familia de proto-

colos concretos)”. Para llevar a cabo la demostración, los autores tuvieron que desarrollar extensiones del paradigma de programación lineal, que engloba los problemas de optimización de funciones lineales sujetos a restricciones lineales. Dado que esta extensión es de aplicación general, puede encontrar aplicación en otros ámbitos en los que se utilice programación lineal, tales como economía, cálculo de rutas, o logística. El Dr. Pozas-Kerstjens concluye que estas extensiones han permitido, así mismo, generar una gran cantidad de desigualdades, en el espíritu de la desigualdad de Bell, para garantizar la existencia de correlaciones no-locales en redes.

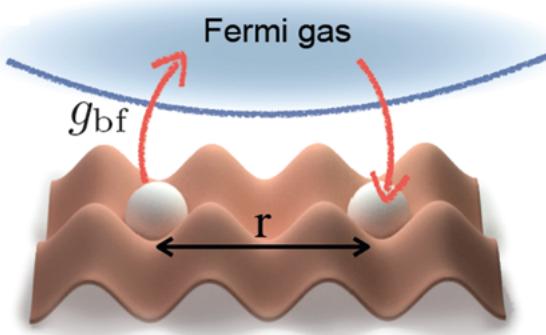
## ÁTOMOS FERMIÓNICOS EN UN GAS DE FERMI COMO MEDIADOR DE INTERACCIONES A LARGA DISTANCIA

**E**l control óptico de átomos individuales a bajas temperaturas permite simular modelos simplificados que aumentan nuestra comprensión de cuestiones relevantes en materia condensada o altas energías, como son las relacionadas con el transporte, la termalización, o la topología. Sin embargo, en redes ópticas, las interacciones entre átomos suelen reducirse a colisiones locales cuando estos ocupan el mismo sitio de la red, lo que limita la simulación de interacciones extendidas que experimentan, por ejemplo, los electrones de un material.

En una reciente colaboración internacional entre Javier Argüello-Luengo (ICFO), Alejandro González-Tudela (IFF-CSIC) y Daniel González-Cuadra (Universidad de Innsbruck), los autores proponen la utilización de átomos fermiónicos en un gas de Fermi como mediador de interacciones a larga distancia entre otra especie atómica atrapada en una red óptica. “Esta estrategia es similar a cómo los electrones de un conductor dan lugar a las fuerzas de Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida de largo alcance responsables de la magnetoresistencia gigante, y está motivada por recientes resultados experimentales en la Universidad de Chicago y el

Weizmann Institute of Science, donde se plantea el uso de estas interacciones de manera alternativa al empleo de fuerzas dipolares o fotones mediados”, explica el Dr. Argüello-Luengo.

Para mejorar la capacidad de control sobre estas interacciones, en un reciente artículo publicado en la revista *Physical Review Letters* (DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.083401), los autores proponen incorporar nuevos elementos en los



sistemas experimentales actuales. Para ello, incluyen una red óptica adicional para el mediador fermiónico y trampas anisotrópicas que permiten cambiar su dimensionalidad de manera continua. Esto permite interpolar entre una atenuación polinomial o exponencial de las interacciones, logrando una mayor flexibilidad para ajustar las fuerzas relativas y extensión de la interacción a diferentes distancias. Asimismo, se muestra cómo esta estrategia permite acceder experimentalmente a regímenes frustrados que no eran accesibles anteriormente, como es el caso de fases topológicas protegidas por simetría y líquidos de spin quirales que los autores caracterizan numéricamente.

“Los elementos que se proponen en esta propuesta ya se han realizado de manera independiente en los laboratorios, así que esperamos que esta propuesta pueda ser realizada en el futuro cercano en algún laboratorio”, dice el Dr. González-Tudela.

## EL JWST MIRA BAJO UNA LUZ DIFERENTE LOS CÚMULOS DE GALAXIAS

**L**os cúmulos de galaxias están formados por tres componentes principales: cientos (o miles) de

galaxias, gas caliente y materia oscura. Hay, sin embargo, otra componente que permanece poco explorada. Estamos hablando de la luz intracumular (ICL por sus siglas en inglés). La ICL está compuesta de estrellas errantes que vagan entre las galaxias del cúmulo. **Estas estrellas son arrancadas de las galaxias que interactúan dentro del cúmulo y con el tiempo forman un brillo difuso.** Debido a su origen, el estudio de esta luz nos da pistas decisivas sobre la evolución pasada de estas estructuras tan masivas.

En un artículo publicado en la revista *The Astrophysical Journal Letters* (DOI: 10.3847/2041-8213/ac98c5), astrónomos del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) analizaron las primeras imágenes del telescopio espacial JWST para obtener una visión sin precedentes de la luz intracumular. El estudio proporciona **nuevas pistas sobre los procesos de formación**

detalle superior al proporcionado por estudios previos.

Para poder analizar esta luz extremadamente débil, centenares de veces más tenue que el brillo de la atmósfera más oscura del planeta, además de necesitar del poder observacional del nuevo telescopio espacial, los investigadores han desarrollado nuevas técnicas de análisis, capaces de recuperar estructuras tan débiles y extendidas como la luz intracumular. Esto es extremadamente importante para evitar sesgos en las medidas realizadas.

“Analizando esta luz difusa, encontramos que las partes internas del cúmulo están siendo formadas por una fusión de galaxias masivas, mientras que las partes externas son debidas a la destrucción de galaxias similares a nuestra Vía Láctea”, apunta Montes.

**Sin embargo, las observaciones no solo proporcionan nuevas pistas sobre la formación de los cúmulos de galaxias, sino también sobre las propiedades de una misteriosa componente de nuestro universo: la ma-**

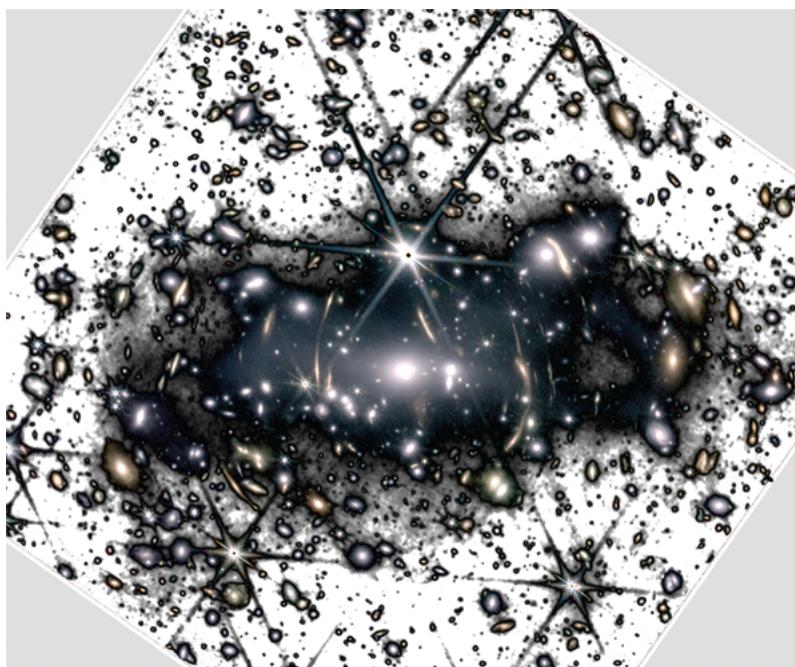


Imagen del cúmulo SMACS-J0723.3-7327 obtenida por el JWST. Los datos han sido procesados por los investigadores del IAC para mejorar la detección de la luz difusa entre las galaxias (en blanco y negro). Imagen: NASA, ESA, CSA, STScI, M. Montes.

**de los cúmulos de galaxias y sobre las propiedades de la materia oscura.** Gracias a la eficiencia en el infrarrojo del JWST y de la nitidez de sus imágenes, los investigadores Mireia Montes e Ignacio Trujillo han sido capaces de explorar la luz intracumular del cúmulo SMACS-J0723.3-7327 con un nivel de

**teria oscura.** Las estrellas que forman la luz intracumular habitan donde la materia oscura domina, lo que la convierte en un excelente trazador de la distribución de materia oscura. “El JWST nos permitirá caracterizar la distribución de materia oscura en estas estructuras gigantescas y arrojar

luz sobre su naturaleza última”, concluye Ignacio Trujillo, segundo autor del trabajo.

**Este estudio demuestra el gran potencial del telescopio JWST para observar objetos extremadamente débiles.** Esto permitirá el estudio de cúmulos de galaxias más lejanos y con más detalle de lo que ha sido posible hasta la fecha.

“El James Webb va a ser revolucionario en muchos aspectos de la astronomía, y en este caso en el estudio de la luz intracumular y de nuestro conocimiento sobre la evolución de cúmulos de galaxias”, explicó Montes.

## QUIRALIDAD CONMUTABLE EN EL SUPERCONDUCTOR KAGOME $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$

**E**l hecho de que un objeto sea distingible o no de su imagen especular tiene importantes consecuencias para su comportamiento físico. Supongamos que observamos a un jugador de baloncesto en un espejo. A simple vista, el balón, el jugador y su entorno son iguales en el espejo y en la vida real. Pero si se observa con atención, algunos detalles son diferentes. El balón que antes estaba en la mano derecha del jugador ahora aparece en su mano izquierda, sin

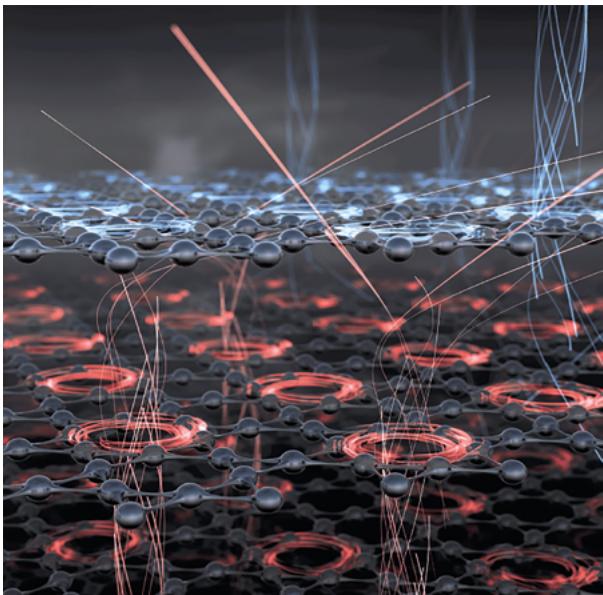
que difieren en un aspecto clave, por lo que los científicos los llaman “quirales” (del griego “χεπτ” = mano). La quiralidad es una propiedad geométrica fundamental y desempeña un importante papel en biología, química y física. Por ejemplo, una versión de la molécula de carvona huele a hierbabuena, pero su equivalente quiral —su imagen especular— huele a comino.

En la ciencia de materiales, es importante distinguir si la disposición periódica de los átomos es quiral o no. Si lo es, los electrones y las corrientes eléctricas que fluyen en su interior también deben diferir de alguna manera de su imagen especular, una propiedad que puede llevar a respuestas exóticas y nuevas aplicaciones. Un ejemplo es un efecto tipo diodo en el que las corrientes eléctricas que fluyen en una dirección son diferentes de las que fluyen en la opuesta, una propiedad llamada anisotropía magnetoquiral electrónica (eMChA) y que hasta ahora solo se había encontrado en cristales con estructura quiral.

Sin embargo, recientemente un equipo de investigación internacional ha publicado la **primera observación de este transporte quiral en un cristal estructuralmente aquiral**, el superconductor Kagome  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$ . Su trabajo ha sido publicado en *Nature* (DOI: 10.1038/s41586-022-05127-9) y el equipo involucró a científicos del

MPSD y del Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids (Alemania), EPFL y la Universidad de Zúrich, Suiza, la Universidad del País Vasco (España) y Universidad de Qingdao, China. Entre los miembros de este equipo internacional se encuentran Martín Gutiérrez Amigo, Iñaki Errea y Maia G. Vergniory.

El rompecabezas cuántico es tan simple como profundo: si las posiciones atómicas en el cristal son iguales que en su imagen especular, ¿cómo es posible que sus electrones no lo sean? Claramente, debe haber algún mecanismo nuevo más complejo que el que transforma una mano derecha en una izquierda. Otra diferencia clave radica en que **esta nueva quiralidad electrónica se puede**



embargo, la mano parece ser la misma salvando esta diferencia. Al igual que las manos, muchos otros objetos físicos también tienen imágenes especulares

**cambiar mediante campos magnéticos**, algo que no es posible en el caso de la quiralidad estructural, que está tan firmemente impresa en un cristal como en una mano.

El equipo propone un modelo en el que los electrones se organizan en patrones que violan la simetría espectral, a pesar de que los átomos estén dispuestos de forma simétrica. Esto es debido a las fuertes interacciones electrónicas y nos indica que el  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$  es un fantástico terreno de pruebas para investigar fenómenos cuánticos con correlación, incluyendo el primer ejemplo de quiralidad electrónica comutable.

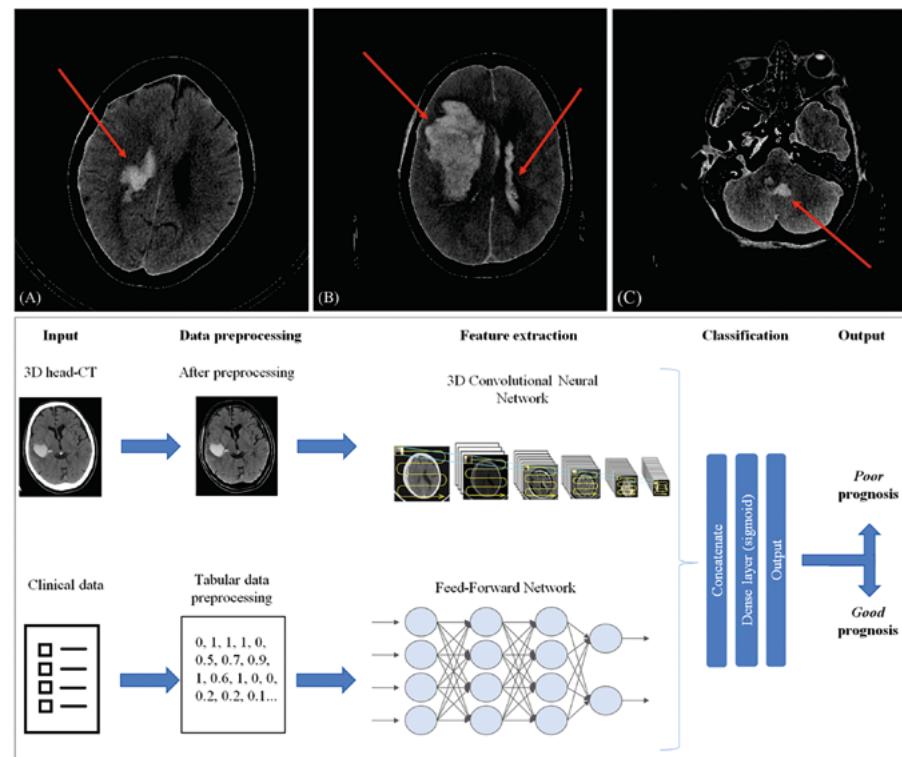
## UNA RED NEURONAL CAPAZ DE PREDICIR EL PRONÓSTICO DE LA HEMORRAGIA INTRACRANEAL

**L**a hemorragia intracraneal aguda es la segunda causa de ictus y una de las principales causas de muerte y discapacidad hoy en día, que afecta a más de 2 millones de personas al año en todo el mundo. **Aumentar el conocimiento relativo al pronóstico de esta enfermedad podría ser de gran ayuda para avanzar en el tratamiento.** En este sentido, varias sociedades científicas (EURONICH, HEADS) consideran esta una enfermedad de gran importancia social, con altos índices de discapacidad entre los supervivientes, y socioeconómica, con costes que probablemente aumenten con los próximos años debido al aumento de la esperanza de vida. Así, subrayan la necesidad de fomentar la investigación, destacando el campo de la neuroimagen enfocada a identificar signos de mal pronóstico.

**Investigadores del Instituto de Física de Cantabria (IFCA) han formado un grupo de investigación junto con médicos y radiofísicos hospitalarios, y han desarrollado una red neuronal capaz de predecir el pronóstico de las hemorragias intracraneales.** El artículo se ha publicado este diciembre en la revista *Journal of Neuroimaging* (DOI: 10.1111/jon.13078). **La red neuronal desarrollada analiza datos de entrada híbridos:** por un lado, las imágenes de tomografía computarizada dónde

los médicos radiólogos diagnostican la hemorragia y que son procesados por el bloque convolucional de la red; y, por otro lado, varios **datos clínicos de los pacientes** (la edad y el sexo, las

tos pacientes; así como, **avanzar en el campo de la inteligencia artificial y las imágenes médicas, proponiendo nuevas soluciones a la escasez de datos médicos debidamente etiquetados.**



cifras de tensión arterial, la glucemia, la temperatura corporal, etc.) que son procesados por el bloque *feed-forward*. Las capas finales de la red son comunes para ambos tipos de datos, consiguiendo así una predicción final para cada paciente: buen o mal pronóstico.

El modelo presentado en el artículo alcanza un área bajo la curva ROC de 0,924, una cifra mayor que cuando sólo se le aportan las imágenes o cuando sólo se le aportan los datos clínicos, lo que sugiere que utilizar varios tipos de datos como entrada puede ser una técnica más para aumentar el rendimiento de este tipo de redes, en las que la cantidad de los datos es tan importante y está tan limitada. Más aún, **esta técnica se plantea como posible solución al gran problema al que se enfrentan los investigadores en inteligencia artificial e imagen médica: la escasez de datos médicos etiquetados.**

Con este trabajo, se pretende **aumentar el conocimiento existente sobre las hemorragias intracraneales**, con el objetivo final de aportar toda la información disponible a los médicos para así mejorar el tratamiento de es-

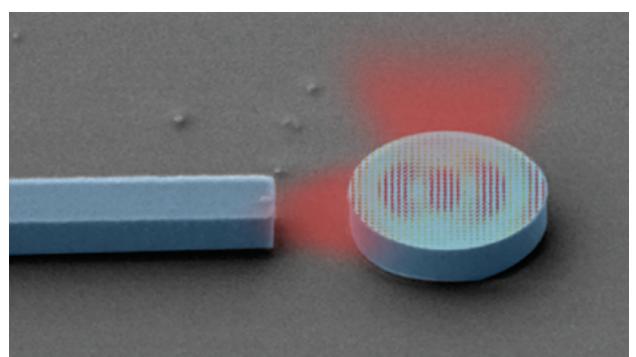
## OBSERVACIÓN DE UN ANAPOLO MAGNÉTICO EN NANODISCOS DE SILICIO

**L**a respuesta a la radiación electromagnética de una nanopartícula dieléctrica de alto índice de refracción viene dada por una serie de momentos multipolares que modelan tanto las corrientes de desplazamiento en la nanopartícula con el scattering o difusión en campo lejano. Curiosamente, es posible excitar simultáneamente y en contrafase varios multipolos con diferentes distribuciones en campo cercano pero idénticos patrones de radiación en campo lejano. Esto da lugar a los llamados estados anapolares, caracterizados por una fuerte supresión del scattering de campo lejano, y, por tanto, de la visibilidad, en nanopartículas de alto índice como resultado de la interferencia entre ciertos momentos multipolares.

Por tanto, los estados anapolares son no radiativos y van acompañados de una fuerte concentración de campo dentro de la nanopartícula, una característica que se ha utilizado para impulsar la interacción luz-materia y mejorar los efectos no lineales como la generación de armónicos o la dispersión Raman. Además, **los anapolos tienen características eléctricas cuando surgen de la interferencia destructiva entre los dipolos toroidales y eléctricos cartesianos, y magnéticas cuando involucran a los dipolos toroidales y magnéticos.**

Dado que se trata de estados muy particulares, son difíciles de observar, en particular los de carácter magnético. En un artículo publicado en la revista *Applied Physics Letters* (DOI: 10.1063/5.0108438) los investigadores Evelyn Díaz Escobar, Ángela I. Barreda, Amadeu Griol y Alejandro Martínez, todos ellos del Centro de Tecnología Nanofotónica de la Universidad Politécnica de Valencia, han hecho uso de una nueva configuración para observar experimentalmente anapolos de orden superior (primer anapolo magnético y segundo anapolo eléctrico) en discos de silicio: iluminación lateral mediante una guía de onda integrada. Tal y como señala la investigadora Evelyn Díaz Escobar, “esta configuración es particularmente interesante porque nos ha permitido verificar la existencia del anapolo magnético, que hasta ahora no había sido observado a frecuencias ópticas, mediante el uso de un modo transversal magnético en la guía de entrada”. Tras diseñar las dimensiones del disco usando simulaciones numéricas, se realizaron medidas experimentales donde **se observó la ausencia de scattering en la dirección vertical a las longitudes de onda donde ocurre el estado anapolar.**

La estructura ha sido fabricada usando nanotecnología de silicio disponible en la sala limpia del centro menciona-



do. "Estos resultados allanan el camino hacia el uso de diferentes estados anapolares en circuitos integrados fotónicos, ya sea en silicio u otros materiales dieléctricos de alto índice", añade Evelyn Díaz Escobar. De hecho, **al mezclar los modos TE y TM en la guía de ondas, podría ser posible excitar otros estados complejos basados en la interferencia modal para aplicación en fotónica integrada.**

## USO DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA DEMODULACIÓN DE PATRONES DE FRANJAS

**L**os patrones de franjas son distribuciones espaciales de luz formados por zonas claras y oscuras que se repiten de manera alterna. Matemáticamente, la distribución de irradiancia (o intensidad), asociada a un patrón de franjas se suele representar como una función sinusoidal, siendo el argumento de dicha función la **fase** del patrón de franjas.

En numerosas técnicas ópticas de medida, la magnitud que hay que medir es una distribución espacial de una magnitud física (índice de refracción, elevación, etc.) codificada como la fase de un patrón de franjas. Esto da lugar al problema de la **demodulación**, esto es

la extracción de la fase a partir de una o varias imágenes del patrón de franjas para, posteriormente, determinar la magnitud física que se quiere medir a partir de la fase demodulada.

Entre las numerosas técnicas desarrolladas para la demodulación de patrones de franjas, una de las más empleadas es la técnica del **desplazamiento de fase (phase shifting)**. Mediante la modificación de alguno de los parámetros del experimento se consigue introducir un cambio (o salto) de fase global en todo el patrón. El objetivo de la técnica de desplazamiento de fase es introducir un conjunto de saltos de fase y capturar la imagen del patrón de franjas tras realizar el correspondiente salto de fase. Combinando algebraicamente esas imágenes se obtiene la tangente de la fase y, mediante la aplicación sucesiva de la operación arco tangente y de un algoritmo de desenvolvimiento, la fase.

El grupo de investigación de los doctores J. A. Quiroga, J. Vargas y J. A. Gómez Pedrero, de la Universidad Complutense, lleva trabajando desde hace 30 años en el desarrollo y mejora de técnicas de demodulación de fase. En un artículo publicado en la revista *Optics Letters* (DOI: 10.1364/OL.36.001326), presentaron la aplicación del **análisis de componentes principales** a la demodulación de patrones de franjas por desplazamiento

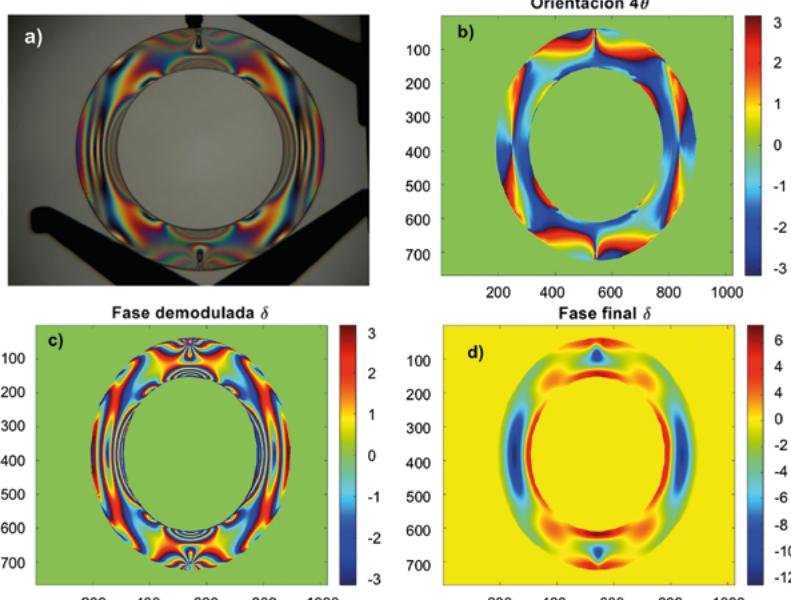
de fase (PCA-PS). Comparado con técnicas tradicionales la PCA-PS es más resistente al ruido y, especialmente a los errores en los saltos de fase (*detuning*). En esencia, el algoritmo PCA-PS reduce el conjunto de patrones de franjas a dos componentes principales significativos, de los cuales se extrae de manera inmediata la tangente de la fase. A diferencia de las técnicas tradicionales de *phase shifting*, no es necesario conocer con exactitud el salto de fase y el algoritmo es muy resistente al ruido debido a su naturaleza estadística. La técnica PCA se ha adaptado para su aplicación en interferometría, fotoelasticidad y se han desarrollado con éxito algoritmos para aumentar su robustez y eficiencia.

## SISTEMA PARA MONITORIZACIÓN DEL TRATAMIENTO EN TERAPIA HADRÓNICA

**S**egún la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, el aumento de su incidencia (19 millones de nuevos casos y 9.9 millones muertes en 2020) hace cada vez más necesarios los esfuerzos científicos y económicos para desarrollar métodos efectivos de tratamiento.

**En la últimas dos décadas ha cobrado fuerza una nueva modalidad de radioterapia conocida como terapia hadrónica** o terapia con haces de iones. Este tipo de terapia utiliza partículas cargadas aceleradas (ej. protones, denominada protonterapia, o iones de carbono), en lugar de fotones, y es capaz de administrar la dosis de radiación con alta precisión en la zona que se debe tratar, reduciéndola en el tejido sano circundante. El uso de esta técnica puede aumentar la ratio terapéutica, definida como la relación entre el control del tumor y las complicaciones del tejido normal.

A pesar de su gran precisión, existen incertidumbres cuando se irradia la zona que se debe tratar, por lo que se aplican márgenes de seguridad en la planificación del tratamiento. Con el fin de reducir estos márgenes y aprovechar al máximo la precisión de la técnica, se han propuesto diversos métodos de verificación del tratamiento.



(a) Patrón de franjas (isócromas) en un experimento de fotoelasticidad; (b) distribución del ángulo de orientación de las tensiones principales; (c) fase demodulada tras aplicar el algoritmo PSA; (d) es la fase final tras aplicar el algoritmo de desenvolvimiento de fase, esa fase es proporcional a la diferencia de tensiones principales.

En este sentido, el grupo IRIS, del Instituto de Física Corpuscular, ha desarrollado y testeado una cámara Compton para aplicaciones médicas, que puede obtener imágenes de la distribución de fotones producidos por las interacciones nucleares entre las partículas del haz incidente y el tejido irradiado. El sistema se compone de cristales centelladores de  $\text{LaBr}_3$  acoplados a fotomultiplicadores de silicio (SiPMs). En un reciente trabajo publicado en la revista *Radiation in Physics and Chemistry* (DOI: 10.1016/j.radphyschem.2022.110507) se ha desarrollado una variante del prototipo destinada a mejorar la resolución temporal utilizando el ASIC TOF-PET2 de PETsys electronics como electrónica de lectura. Tras verificar la mejora de las prestaciones en el laboratorio y con el fin de probar el sistema en escenarios más realistas y a las energías relevantes para la terapia hadrónica, se realizaron experimentos en el Centro Nacional de Aceleradores (CNA, Sevilla). Se hizo incidir un haz de protones de 18 MeV, con diferentes intensidades, en un blanco de grafito para producir fotones



Sistema en pruebas en el CNA

de 4.4 MeV energía. El grafito fue colocado en diferentes posiciones para estudiar la capacidad del sistema de detectar desplazamientos en base a la distribución de fotones reconstruida. **Los resultados obtenidos demuestran la capacidad del sistema de detectar variaciones de 1 mm en la distribución de emisión de fotones**, reforzando su potencial como dispositivo de monitorización para la terapia hadrónica.

Recientemente se han llevado a cabo nuevos experimentos en diversos centros de terapia hadrónica internacionales, como el CCB, en Polonia, MedAustron, en Austria, y QuirónSalud, en Madrid. Los resultados obtenidos son prometedores y serán publicados en breve. Más detalles en <http://ific.uv.es/iris>.



**¿te gusta investigar?**

info@atisistemas.com



La solución adecuada a cada instalación

Suministro de equipamiento para investigación

\* alimentación HV-LV \* crates de alimentación \* racks \* electrónica de control y adquisición \* espectroscopia \* detectores (silicio, HPGe, centelleadores, Cd/Zn/Te...) \* cables y accesorios \* gestión de adquisiciones