

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 actores¹



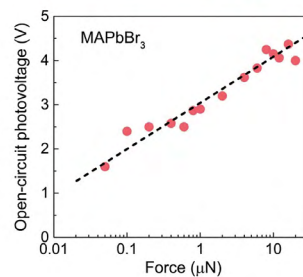
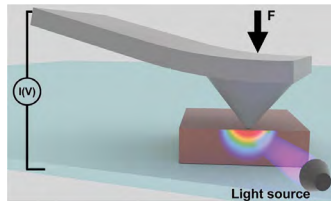
Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogg.com).

EFFECTO FLEXO-FOTOVOLTAICO EN PEROVSKITAS DE HALURO

El efecto fotovoltaico se da cuando la luz incide sobre la interficie entre dos semiconductores o entre un semiconductor y un metal. La luz excita electrones de la banda de valencia a la de conducción, y estos se desplazan hacia el lado más electroafín de la interficie, generando así una fotocorriente y un fotovoltaje. Intrínsecamente, el fotovoltaje máximo que pueden generar estas heterouniones no puede superar el ancho de la “banda prohibida” (*bandgap*), que es la energía que separa la banda de valencia de la banda de conducción en el semiconductor. Esto supone un problema, ya que el *bandgap* del semiconductor debe ser suficientemente pequeño (entre 1 y 3 electronvoltios) para garantizar la absorción de la luz visible, cosa que limita el fotovoltaje máximo extraíble.

Los límites intrínsecos del efecto fotovoltaico tradicional estimulan la exploración de efectos alternativos, como el efecto fotovoltaico volumétrico (*bulk photovoltaic effect*, en inglés). Este efecto permite a los materiales con estructura cristalina asimétrica (es decir, piezoelectricos) generar fotocorrientes en su interior en lugar de en sus interficies. Notablemente, **el efecto fotovoltaico volumétrico permite alcanzar fotovoltajes mucho más elevados que el *bandgap***. Desgraciadamente, al ser posible solo en materiales piezoelectricos, este efecto no existe en muchos semiconductores. Sin embargo, aunque un material tenga una estructura cristalina centrosimétrica, esta puede “asimetrizarse” doblando el material, de manera que la cara cóncava esté comprimida y la convexa expandida. Así, **cualquier material doblado sujeto a iluminación también puede generar un efecto fotovoltaico volumétrico, conocido como**

efecto flexo-fotovoltaico. Dicho efecto fue descubierto en 2018, pero hasta la fecha solo había alcanzado fotovoltajes inferiores al *bandgap*, y por tanto no mejoraba el efecto fotovoltaico tradicional.



Recientemente, una colaboración entre Gustau Catalán, Profesor ICREA en el Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2), y un equipo chino liderado por el Profesor Longlong Shu de la [Universidad de Nanchang](#), ha desvelado que **las perovskitas de haluro presentan un efecto flexo-fotovoltaico mil veces superior al de los materiales óxidos estudiados anteriormente. Tanto es así, que alcanzan fotovoltajes superiores a la banda prohibida**. El trabajo se ha publicado en *Physical Review Letters* (DOI: 10.1103/PhysRevLett.132.086902), donde ha sido destacado como *Editor's Choice* y en un Viewpoint de la revista de divulgación *Physics Magazine* (DOI: 10.1103/Physics.17.27).

Las perovskitas de haluro ya eran conocidas por su elevada eficiencia fotovoltaica. Cabe esperar que la incorporación del efecto flexo-fotovoltaico resulte en aún mayores eficiencias, el límite de las cuales aún se desconoce. Por otro lado, aún no se sabe por qué los haluros de perovskita tienen un efecto flexo-fotovoltaico tan pronunciado. Este trabajo plantea por tanto nuevos interrogantes tanto prácticos (¿es posible mejorar la eficiencia de las placas solares mediante ingeniería de gradientes?) como funda-

mentales: ¿Cuál es el límite de eficiencia en el efecto flexo-fotovoltaico?; ¿por qué es tan grande en los haluros de perovskita?; ¿puede ser igual de grande en otros semiconductores?

HACIA LA TELEPORTACIÓN DE UNA HUELLA DACTILAR

La comunicación cuántica a largas distancias es una parte esencial en la seguridad de la información que enviamos en nuestro día a día, y se lleva años estudiando su implementación con estados bidimensionales (qubits) en distancias muy largas como, por ejemplo, entre satélites. Esto puede parecer suficiente si lo comparamos con su contraparte clásica, es decir, enviar bits que se pueden codificar en 1 (señal) y 0 (sin señal), uno a la vez, limitando la cantidad de información a la que podemos acceder de forma segura. Sin embargo, **la óptica cuántica nos permite aumentar el alfabeto que usamos para encriptar la información y poder describir sistemas únicos más complejos de forma segura y rápida, como podría ser una huella dactilar, un iris o incluso un rostro**.

La revista *Nature Communications* ha publicado recientemente (<https://www.nature.com/articles/s41467-023-43949-x>) una investigación realizada por un equipo internacional de científicos de la Universidad de Witwatersrand (WITS, Johannesburgo, Sudáfrica) y el ICFO-Institut de Ciències Fotòniques, en Barcelona, que demuestra el transporte cuántico de una imagen impresa en un haz de luz

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

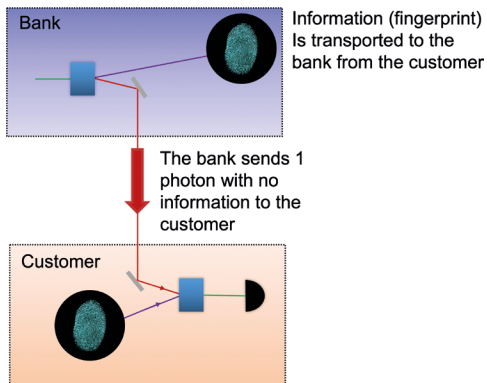


Ilustración de una implementación práctica.

a través de una red sin enviar físicamente la propia imagen. “Tradicionalmente, dos entidades se comunican entre sí enviando físicamente información de una a otra, incluso en el ámbito cuántico”, comenta el renombrado profesor Andrew Forbes de la Universidad de Wits. **“Ahora es posible teleportar información para que nunca viaje físicamente a través de la red: una tecnología de ‘Star Trek’ hecha realidad”.**

La relevancia práctica de esta investigación se extiende más allá del ámbito académico, sugiriendo aplicaciones futuras en sectores como la banca, donde la necesidad de canales de comunicación seguros es primordial. En el escenario propuesto por los investigadores, un cliente podría enviar información confidencial, como una huella dactilar, a un banco sin necesidad de enviar físicamente la información.

El experimento se centró en la comunicación entre dos entidades, apodadas Alice y Bob en la literatura científica, utilizando un esquema inspirado en la teleportación. A diferencia de intentos previos que requerían múltiples fotones entrelazados para transmitir información compleja, este nuevo método emplea solo dos fotones entrelazados. “Este protocolo tiene todas las características de la teleportación, excepto por un ingrediente esencial: requiere el uso de un rayo láser intenso para que el detector no lineal sea eficiente”, explica Forbes.

“Esperamos que nuestros resultados motiven nuevos avances en el campo de la óptica no lineal, dando un paso más hacia una implementación completamente cuántica del proceso”, afirma el Dr. Adam Vallés, del ICFO. “Debemos ser cautelosos por ahora, ya que en esta configuración actual no podríamos evitar que un cliente tramposo conserve mejores copias de la información para

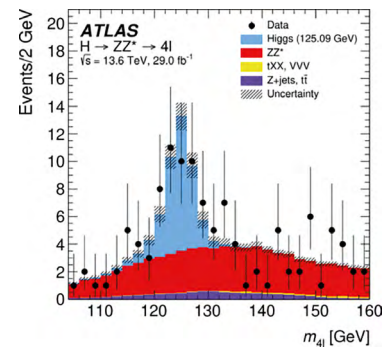
ser teleportada, lo que significaría que podríamos terminar con muchos clones del Sr. Spock en el mundo ficticio de Star Trek, si eso es lo que Scotty quisiera”.

REDESCUBRIENDO EL BOSÓN DE HIGGS

Desde el año 2022, el experimento ATLAS del acelerador LHC (*Large Hadron Collider*) del CERN está tomando datos con colisiones protón-protón a una energía récord de 13.6 TeV. Al aumentar la energía cambia la sección eficaz de todos los procesos del Modelo Estándar que se producen en el LHC. De ahí surge la necesidad de volver a medirlos. Por supuesto, estudiar la producción de bosones de Higgs a esta nueva energía es un paso fundamental para profundizar en nuestro conocimiento de como interacciona con el resto de partículas.

Este ha sido el objeto del trabajo “Measurement of the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ cross-sections in pp collisions at $\sqrt{s}=13.6$ TeV with the ATLAS detector”, publicado recientemente en *European Physical Journal C* (DOI: 10.1140/epjc/s10052-023-12130-5). **Este estudio se ha centrado en los mismos canales de desintegración del bosón de Higgs que permitieron su descubrimiento en el año 2012.** Estos son: la desintegración del bosón de Higgs a dos fotones y a dos bosones Z (que sucesivamente se desintegran en 4 leptones: electrones o muones). Pese a que estos no son los canales preferidos por el bosón de Higgs para desintegrarse, sí son aquellos en los que su signatura en el detector deja una señal clara que permiten discernir la producción de bosones de Higgs, por encima del fondo producido por otros procesos del Modelo Estándar, razón por la cual, se puede alcanzar la significancia estadística necesaria para confirmar la observación del bosón de Higgs. **En la actualidad, el LHC ha duplicado la energía respecto a la del 2012. Sin embargo, la sección eficaz de producción de bosones de Higgs se ha triplicado, gracias a un mayor espacio fásico.**

Salvador Martí García, investigador científico del CSIC en el Instituto de Física Corpuscular (CSIC-Universitat de València), es miembro del grupo que ha elaborado este estudio como experto en el alineamiento del detector y la calibración de muones del experimento ATLAS. “Para observar una señal distintiva del bo-



són de Higgs sobre el fondo, necesitamos medir las propiedades de sus productos de desintegración con exactitud. **Ello requiere que los componentes más sensibles del detector estén alineados con la precisión de una micra.** Para este análisis, hemos debido acelerar todos los procesos normales de calibración y alineamiento de ATLAS”, declara el investigador. De hecho, este es el primer artículo publicado por la colaboración ATLAS usando datos de colisiones a 13.6 TeV

Por su parte, Carmen García García, profesora de investigación del CSIC en el IFIC y líder del grupo ATLAS de Valencia, destaca: “Nuestro grupo está muy comprometido con el experimento ATLAS y participa en el análisis de la física, los estudios de rendimiento del detector y su funcionamiento. Es una gran satisfacción observar que todo nuestro esfuerzo da sus frutos”.

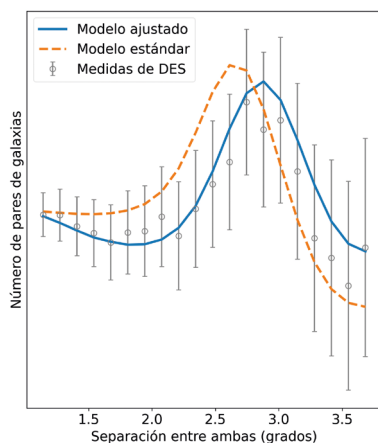
UNA REGLA DE MEDICIÓN CUANDO EL UNIVERSO TENÍA LA MITAD DE SU EDAD ACTUAL

Medir distancias en el universo es una tarea extremadamente complicada. Para ello, necesitamos calibrar algún tipo de *regla estándar*, con medidas conocidas, para poder establecer estas distancias. Se trata de una técnica análoga a la de la *candela estándar*, utilizada con supernovas hace 25 años para descubrir la energía oscura. En ambos casos, de la relación entre el desplazamiento al rojo y **las distancias cósmicas se pueden inferir** propiedades del Universo actual, como la cantidad y **tipo de energía oscura.**

La regla estándar más exitosa es el patrón de las oscilaciones acústicas de bariones (BAO, por sus siglas en inglés). Este patrón se origina cuando el universo estaba compuesto de un plasma caliente. En este estado, luz y materia estaban en continua interacción, permitiendo la transmisión de ondas de presión, es de-

cir, *oscilaciones acústicas*. Cuando el universo, tras enfriarse, se vuelve neutro y transparente, las ondas dejan de propagarse. La física de BAO está muy estudiada, y podemos calcular que esas **ondas debieron viajar 500 millones de años luz** antes de quedar congeladas. Esta regla estándar está calibrada con medidas en la radiación del fondo de cósmico de microondas, que se liberó precisamente en ese mismo momento cuando el universo se volvió transparente, a la edad de tan solo 400.000 años.

Más tarde, se puede observar este patrón calculando la distancia angular entre las galaxias. Esto es precisamente lo que ha publicado recientemente el Dark Energy Survey (<https://www.darkenergysurvey.org/des-bao-papers/>) en un estudio con una muestra de 16 millones de galaxias y que nos muestra cómo era el universo cuando este tenía unos 7 mil millones de años, la mitad de su edad actual. «Lo que observamos en la figura es que **las galaxias tienen una mayor tendencia a estar separadas entre sí por un ángulo de 2,90 grados** en el cielo frente a otras distancias», comenta Juan Mena, que realizó su doctorado en el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) sobre este estudio. «Con solo un 2 % de incertidumbre, **se trata de la medida más precisa del patrón angular de BAO a una época tan temprana del universo**» comenta Santiago Ávila, investigador postdoctoral del Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) y coordinador del estudio, y señala «además, esta distancia es un 4 % mayor de lo esperado por nuestro modelo estándar, lo cual podría ser una pista de que **la energía oscura sea más exótica de lo que actualmente creemos**». No obstante,



Crédito: Santiago Avila (IFAE) y Kwan C. Chan (Universidad de Sun Yat-sen, China)

con la precisión actual, esta discrepancia podría ser una mera fluctuación estadística, con un 5 % de posibilidades.

Para entender mejor la naturaleza de la energía oscura, el Dark Energy Survey (DES) combinará pronto esta media con datos de supernovas, lentes gravitacionales, agrupamiento de galaxias y cúmulos de galaxias. Por primera vez, todos estos datos vendrán de un único telescopio e instrumento, limitando los errores de calibración entre las diferentes técnicas. DES es un proyecto internacional liderado por Fermilab en Estados Unidos, pero con una alta implicación y liderazgo científico de las instituciones españolas. Además de las citadas anteriormente, participan el Institut de Ciències de l'Espai (ICE), y el Instituto de Física Teórica (IFT).

COMPUTACIÓN DE NUEVA GENERACIÓN PARA DETECTAR AURORAS MARCIANAS

La exploración de Marte ha fascinado a la humanidad durante décadas. Recientemente, un equipo de científicos españoles ha dado un paso gigante en este viaje, utilizando una tecnología revolucionaria conocida como computación *serverless*. **Esta innovación ha permitido analizar de manera eficiente y económica las auroras de Marte, ofreciéndonos nuevos conocimientos sobre el Planeta Rojo.**

Las auroras marcianas, similares a las auroras boreales de la Tierra, son fenómenos luminosos que se producen cuando partículas cargadas del sol interactúan con la atmósfera de Marte. A diferencia de la Tierra, Marte tiene un campo magnético irregular, lo que hace que sus auroras sean únicas y proporcionen valiosa información sobre su atmósfera y clima espacial.

El desafío de estudiar estas auroras radica en la enorme cantidad de datos generados por las misiones espaciales. Aquí es donde entra en juego la computación *serverless*, una tecnología que

permite procesar datos a gran escala sin la necesidad de gestionar servidores físicos. Esto no solo reduce los costes significativamente, sino que también acelera el análisis de datos, permitiendo a los investigadores concentrarse en descubrimientos científicos en lugar de en la infraestructura tecnológica.

Para detectar estas fascinantes auroras, utilizamos cámaras y sensores montados en sondas espaciales que orbitan alrededor de Marte. Estos instrumentos capturan imágenes y datos que luego se envían de vuelta a la Tierra. Una vez aquí, utilizamos programas informáticos especializados que analizan automáticamente estas imágenes en busca de patrones que indican la presencia de auroras, analizamos el color, patrones dentro del planeta y bordes. **Lo increíble de la computación *serverless* es que este análisis puede realizarse rápidamente en la nube, permitiendo a los científicos acceder a los resultados en tiempo real y desde cualquier lugar, sin necesidad de contar con ordenadores potentes o servidores propios.**

El experimento liderado por la Universidad Complutense de Madrid, involucró el uso de imágenes de la Misión de Emiratos Árabes Unidos a Marte, conocida como la sonda Hope. Utilizando algoritmos avanzados y la infraestructura de Amazon Web Services (AWS), se logró procesar imágenes de las auroras marcianas de manera eficiente, identificando patrones y características nunca antes vistas.

Los resultados de este estudio, publicado por la revista *Scientific Reports* (DOI: 10.1038/S41598-024-53492-4), no solo proporcionan una comprensión más profunda de las auroras marcianas, sino que también **demuestran el potencial de la computación *serverless* para futuras investigaciones espaciales.** La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos rápidamente y a un coste reducido abre nuevas posibilidades para el estudio de otros fenómenos espaciales y la exploración de otros planetas.

