

[NC]

NOTICIO

#42



2025

Ciencia y
Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación



CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN ÓPTICA, A.C.

EDICIÓN / ENERO - MARZO

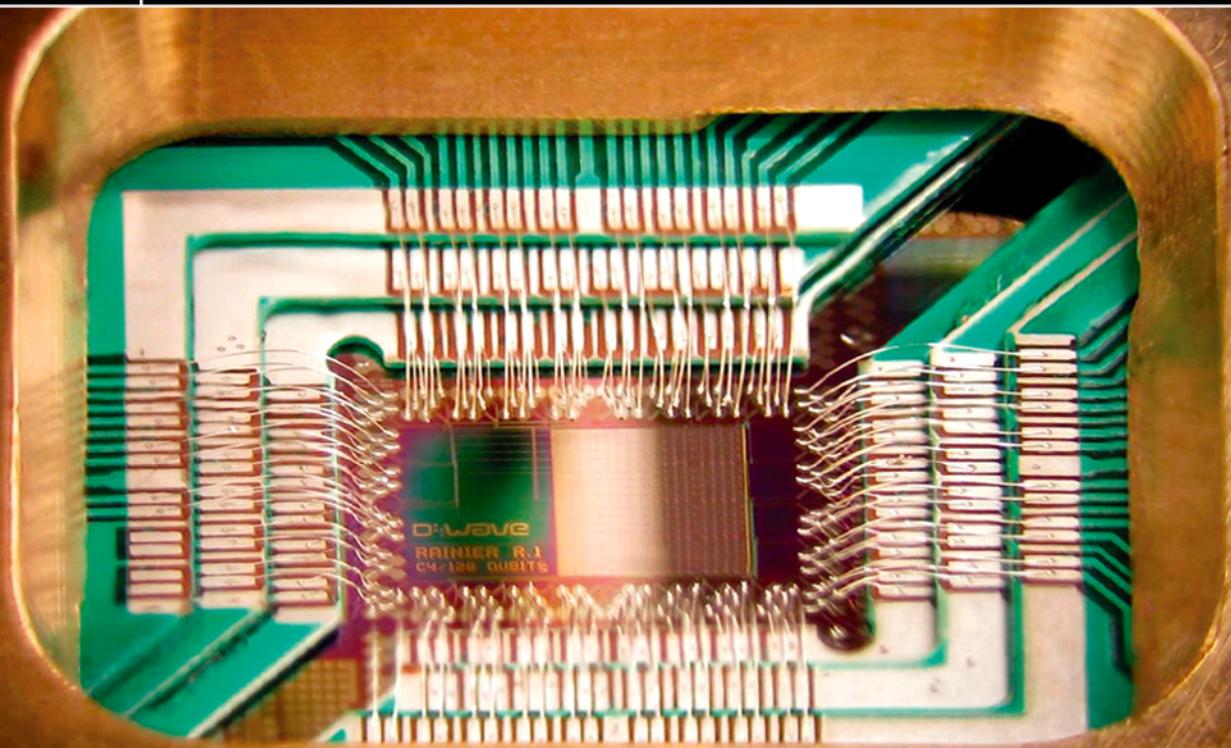
EL AÑO INTERNACIONAL DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA CUÁNTICAS Y LA CIENCIA JOVEN DEL CIO

LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA REALIDAD FÍSICA:
UNA DEMOSTRACIÓN HISTÓRICA

ñ: DE PLANCK A EINSTEIN ... Y AL CIO

HACIA BATERÍAS MÁS EFICIENTES:
LA INNOVADORA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN QUE REVELARÁ SUS SECRETO

COMPUTADORA CUÁNTICA, CIO



LOMA DEL BOSQUE #115 COL. LOMAS DEL CAMPESTRE
C.P. 37150 LEÓN, GUANAJUATO, MÉXICO
TEL. +(52) 477. 441. 42. 00
WWW.CIO.MX

DIRECTORA GENERAL
DRA. AMALIA MARTÍNEZ GARCÍA
DIRECCION.GENERAL@CIO.MX

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
DR. EFRAÍN MEJÍA BELTRÁN
DIRECCION.INVESTIGACION@CIO.MX

DIRECTOR DE FORMACIÓN ACADÉMICA
DR. DAVID MONZÓN HERNÁNDEZ
DIRECCION.ACADEMICA@CIO.MX

DIRECTOR DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
DR. JOSÉ LUIS MALDONADO RIVERA
DIRECCION.TECNOLOGICA@CIO.MX

DIRECTOR ADMINISTRATIVO
MTRO. OSCAR LEONEL RODRÍGUEZ QUIÑONES
DIRECCION.ADMINISTRATIVA@CIO.MX

DIRECTORIO

EDITORA EJECUTIVA
ELEONOR LEÓN TORRES

EDITORES CIENTÍFICOS
GLORIA VERÓNICA VÁZQUEZ GARCÍA, ALFREDO CAMPOS MEJÍA, JORGE MAURICIO FLORES MORENO

DISEÑO EDITORIAL
LUCERO ALVARADO RAMÍREZ

COLABORACIONES
DRA. ALMA ELENA PICENO MARTÍNEZ, DR. ANDRÉS CAMARILLO AVILÉS, DR. NATANAEL BENITO CUANDO ESPITIA,
DR. DANIEL ALBERTO MAY ARRIOJA, DRA. DULCE GUADALUPE MURIAS FIGUEROA, DR. ENRIQUE CASTRO CAMUS,
DRA. ERIKA RODRÍGUEZ SEVILLA, DR. JORGE HUMBERTO LÓPEZ RIVERA, DRA. LAURA ROSALES ZÁRATE,
DR. LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ MORALES, DR. OLIVER POTTIEZ, DRA. MONSERRAT DEL CARMEN ALONSO MURIAS,
DR. NORBERTO ARZATE PLATA, DRA. RAQUEL GARZA HERNÁNDEZ

IMÁGENES
ARCHIVO FOTOGRÁFICO DEL CIO, IMAGE BANK, DEPOSITPHOTOS.COM, SHUTTERSTOCK, FREEPIK, VECTEEZY

EDITORIAL

Estimada comunidad lectora:

Durante 2025, el CIO celebrará su 45.º aniversario con una serie de actividades científicas, académicas, culturales, deportivas y sociales. Fundado el 18 de abril de 1980 en la ciudad de León, Guanajuato, el CIO ha sido un actor clave en el desarrollo de la óptica y fotónica en México y el mundo.

Este 2025, además, ha sido declarado por la UNESCO como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, en conmemoración de los 100 años de la culminación de una de las revoluciones científicas más trascendentales de la humanidad. En este contexto, dedicamos una parte especial de este número a publicaciones que abordan este fascinante campo.

La presente edición de la publicación del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) destaca avances científicos y tecnológicos en áreas clave como la mecánica cuántica, sensores de fibra óptica, tecnologías emergentes, y sus aplicaciones en salud, astronomía e ingeniería.

A continuación, presentamos un resumen editorial de los contenidos incluidos en este número:

- *Mecánica cuántica y realidad física: Exploración de los fundamentos de la mecánica cuántica, desde los históricos debates entre Einstein y Bell, hasta su impacto en tecnologías actuales como las correlaciones cuánticas y la comunicación segura.*
- *Entrelazamiento cuántico: Análisis de este fascinante fenómeno que conecta partículas a distancia, con aplicaciones en seguridad de la información mediante la distribución de claves cuánticas.*
- *Astronomía avanzada: Tecnología de vanguardia detrás de MUSCAT (Mexico-UK Submillimeter Camera for Astronomy) y los detectores KID, que permite observar el universo frío y distante con una sensibilidad extrema, abriendo nuevas fronteras en la exploración espacial.*
- *h: De Planck a Einstein: Max Planck propuso en 1900 que la energía se emite en paquetes llamados cuantos, al estudiar la radiación del cuerpo negro. En 1905, Albert Einstein amplió esta idea al demostrar que la luz también está formada por cuantos —hoy llamados fotones—, al explicar el efecto fotoeléctrico. Así se consolidaron las bases de la mecánica cuántica moderna.*
- *Tecnologías emergentes en salud: Desarrollo de biosensores ópticos y electroquímicos en el CIO para la detección de biomoléculas asociadas a enfermedades crónicas, con aplicaciones en diagnóstico temprano y atención médica personalizada.*

- *Sensores de fibra óptica: Dispositivos de última generación que monitorean la seguridad de infraestructuras como puentes y túneles, detectando deformaciones y fisuras en tiempo real.*
- *Celebración de la mecánica cuántica: En el marco del Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, conmemoramos los 100 años de la formulación matemática de la mecánica cuántica, destacando su impacto en la ciencia moderna.*
- *Luz ultrarrápida: Investigación con láseres pulsados por parte de jóvenes científicos del CIO, permitiendo capturar fenómenos imperceptibles con aplicaciones en internet de alta velocidad, diagnóstico médico y computación eficiente.*
- *De la iluminación al desarrollo de sensores de fibra óptica: Metodologías para modificar la superficie de las fibras ópticas, aplicando películas delgadas de metales u otros materiales, como polímeros. Estas capas especiales mejoran significativamente la sensibilidad y el rendimiento de las fibras ópticas utilizadas como sensores, ampliando sus aplicaciones en diversos campos.*
- *Tecnología cuántica de los semiconductores: Una de las tecnologías basadas en la mecánica cuántica que, sin duda, ha tenido un gran desarrollo y revolucionó el mundo de la electrónica es la tecnología de semiconductores. Se describe brevemente qué es esta tecnología, destacando su origen y su importancia en la vida moderna. Para ello, se explica de manera sencilla qué es un semiconductor y qué es un transistor, componentes fundamentales que han permitido el avance de la computación, las telecomunicaciones y muchas otras aplicaciones tecnológicas.*
- *Hacia baterías más eficientes: Se presenta una innovadora metodología para caracterizar baterías de estado sólido, fundamentales para la electromovilidad.*

Este número refleja el compromiso del CIO con la generación de conocimiento, la innovación tecnológica y la apropiación social de la ciencia, contribuyendo así al desarrollo de México y del mundo.

DRA. AMALIA MARTÍNEZ GARCÍA
DIRECTORA GENERAL

ÍNDICE

CUARENTA Y DOS · 2025

NOTICIO

En el CIO realizamos investigación básica, tecnológica y aplicada que incrementa nuestro conocimiento y nos permite resolver problemas tecnológicos y aplicados vinculados con la óptica. Nuestras líneas de investigación son: Energías renovables, Fibras ópticas y láseres, Fotónica, Ingeniería óptica, Materiales ópticos, Metrología óptica, Óptica cuántica, Óptica no lineal, Visión robótica e inteligencia artificial. El personal científico y tecnológico del CIO se mantiene en colaboración con instituciones académicas nacionales y extranjeras, así como con el sector empresarial. NotiCIO es una publicación trimestral que tiene como objetivo dar a conocer a una audiencia amplia los logros científicos y tecnológicos del CIO para ayudar a que éstos sean comprendidos y apreciados por su valor para los ciudadanos, para nuestro país y para el mundo. El CIO pertenece al Sistema de Centros Públicos Secihti del Gobierno Federal. Mayor información sobre el CIO puede obtenerse en el sitio www.cio.mx



CIOmx



Centro de Investigaciones
en Optica A.C.



@CIOmx

4

EDITORIAL

10

LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA REALIDAD FÍSICA: UNA DEMOSTRACIÓN HISTÓRICA

14

ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO: ¿CIENCIA FANTASMAL O INCOMPRENDIDA?

18

DE LA NANOESCALA AL UNIVERSO: LA TECNOLOGÍA DETRÁS DE MUSCAT Y LOS DETECTORES KID

22

ħ: DE PLANCK A EINSTEIN... Y AL CIO

28

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA EL MONITOREO DE LA SALUD

32

SENSORES DE FIBRA ÓPTICA:
UNA TECNOLOGÍA DE VANGUARDIA PARA MONITOREAR LA SEGURIDAD DE PUENTES, TÚNELES Y RASCACIELOS

36

A 100 AÑOS DE LA PRIMERA FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

40

LUZ EN CÁMARA LENTA: ¿CÓMO CAPTURAMOS LO QUE NO PODEMOS VER?

46

DE LA ILUMINACIÓN AL DESARROLLO DE SENSORES DE FIBRA ÓPTICA

50

TECNOLOGÍA CUÁNTICA DE LOS SEMICONDUCTORES

54

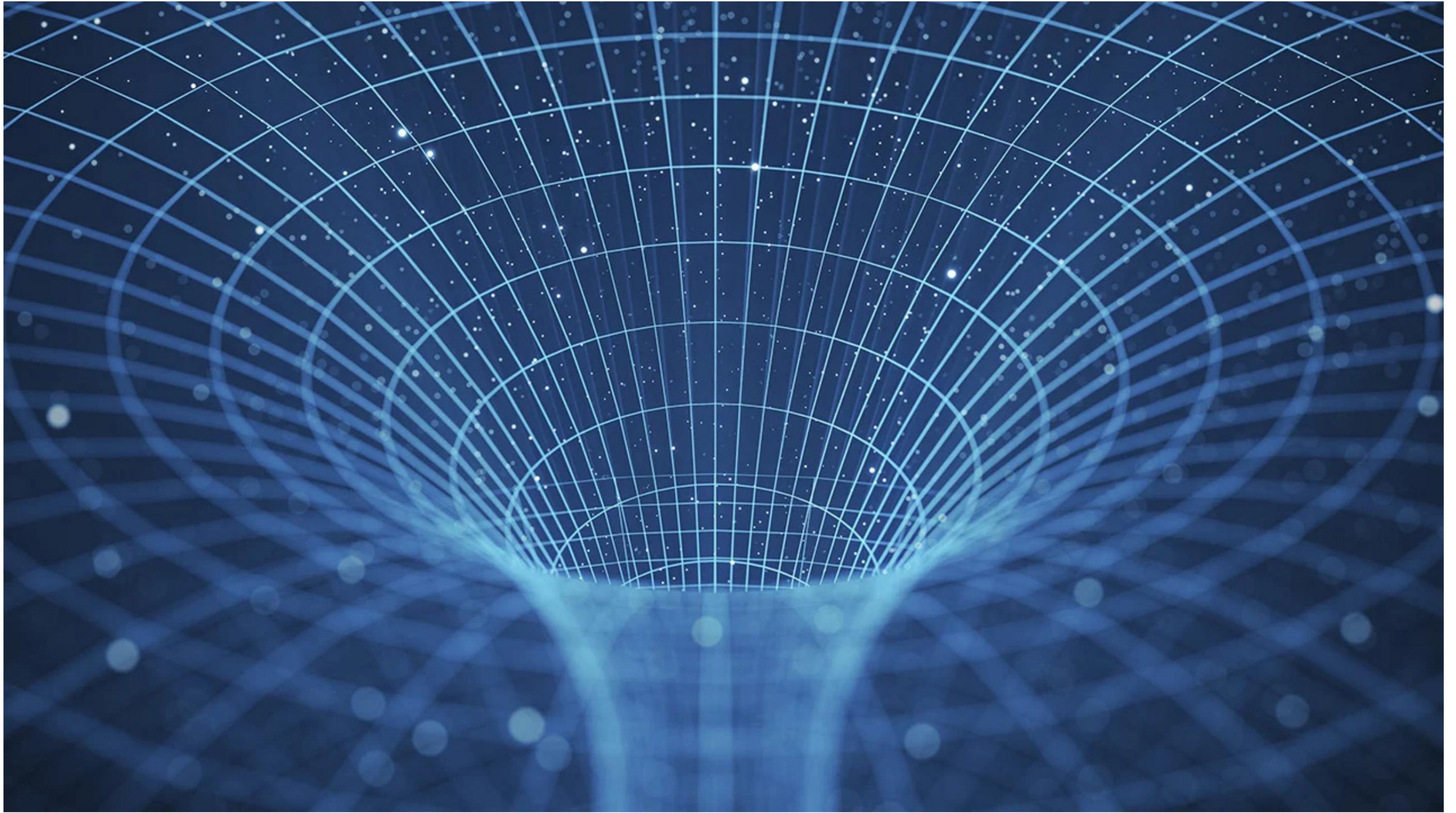
HACIA BATERÍAS MÁS EFICIENTES: LA INNOVADORA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN QUE REVELARÁ SUS SECRETOS

60

RESEÑAS CIENTÍFICAS

71

CALENDARIO DE CURSOS 2025



ALMA ELENA PICENO MARTÍNEZ

LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA REALIDAD FÍSICA: UNA DEMOSTRACIÓN HISTÓRICA

Mecánica cuántica / Imagen: Shutterstock.



Actualmente reconocemos que la mecánica cuántica nos brinda una descripción fundamental y precisa del mundo físico. Sus principios han impulsado avances tecnológicos sorprendentes que impactan nuestra vida cotidiana, desde la mejora en las comunicaciones y la seguridad de la información hasta el desarrollo de dispositivos y tecnologías. Sin embargo, en sus inicios la mecánica cuántica representó una separación radical de las teorías físicas existentes, ya que sus características fundamentales desafiaban la intuición del funcionamiento del mundo, y no quedaba claro si esta nueva teoría reflejaba lo que pasaba realmente en la naturaleza. En un giro crucial, John S. Bell logró expresar esta duda a través de una situación experimental [1]. De esta manera, si un experimento te-

nía un cierto comportamiento, la descripción que daba la mecánica cuántica con sus propiedades contraintuitivas, sería la adecuada para la situación física. Así, las implicaciones de la teoría cuántica se pueden probar en la práctica.

En el mundo clásico que experimentamos día a día, los cuerpos tienen una acción directa uno sobre el otro. La mecánica cuántica permite otro tipo de situaciones, en las que un ente cuántico puede influir sobre otro, sin necesidad de que interactúe con este (Figura 1), es así que encontramos un conflicto con lo que esperamos de una descripción de la realidad. A este fenómeno lo conocemos ahora como *correlaciones cuánticas*. Einstein llamó a tales efectos, una “espeluznante acción a distancia”. En 1935, Einstein, junto a Podolsky y Rosen,

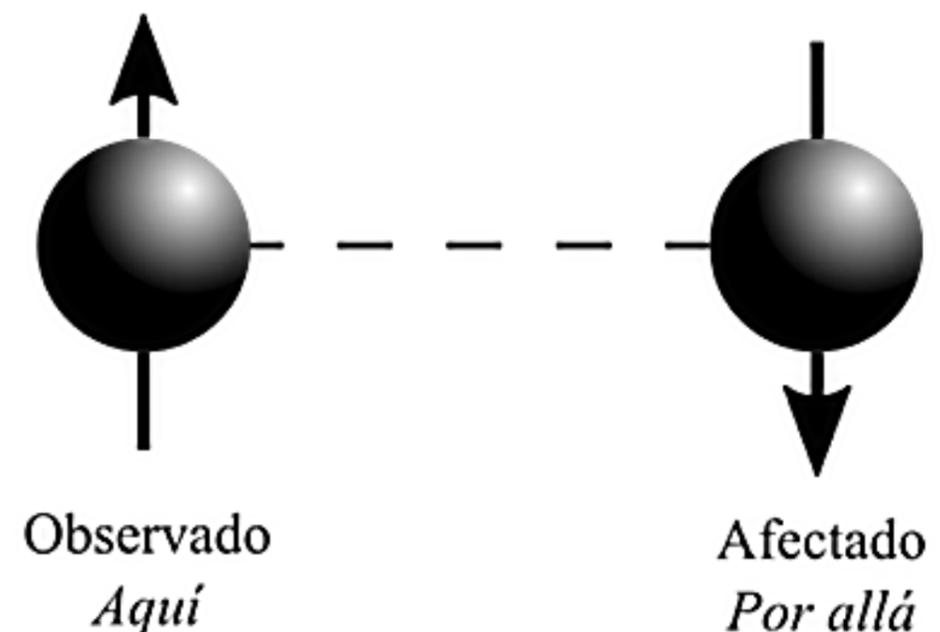


Figura 1. Correlaciones cuánticas. Un ente ubicado aquí puede cambiar al estado de otro ente en un lugar alejado (por allá). Este tipo de efecto es no local. © Elena Piceno CC BY-NC-4.0



Figura 2. John S. Bell discutiendo los fundamentos físicos del teorema de Bell.
<https://cds.cern.ch/record/969981> CERN 1982, Referencia 241-6-82. Licencia CC-BY-4.0.

refinó las preocupaciones en un famoso artículo [2], en el que ya se hace la pregunta sobre si una teoría que dé una descripción adecuada de la realidad puede permitir la situación que describimos y la existencia de correlaciones cuánticas.

Treinta años después de la publicación de este artículo, Bell retomó la discusión centrándola en la *localidad* de la teoría, en una culminación de una serie de publicaciones [1] (Figura 2). La localidad en una teoría física implica que dos sistemas separados no pueden afectarse mutuamente sin

una interacción mediadora. La contribución del trabajo de Bell tiene dos puntos de gran relevancia. El primero es que identificó al problema de la descripción de la realidad física como intrínsecamente ligado al de la *localidad*. Por otro lado, también se preocupó por probar si las teorías alternativas que remediaban los problemas aparentes de la teoría cuántica con ideas clásicas nos darían la situación correcta que tomaría lugar en un caso real, o si es la teoría cuántica la que nos da la descripción correcta. Su trabajo permitió someter a prueba las teorías

clásicas alternativas que intentaban preservar la localidad frente a las predicciones cuánticas.

La conclusión que finalmente corroboró que la mecánica cuántica es correcta se dio a partir de adaptar la prueba propuesta por Bell a una aplicable en el laboratorio, en trabajos significativos como el de la *desigualdad Clauser-Horne-Shimony-Holt* [3]. Con estos, se procedió a hacer pruebas experimentales, siendo que en 1972 se dio la primera prueba decisiva en favor de la mecánica cuántica [4] (Figura 3), seguida por diversos experimentos que continúan hasta la actualidad cerrando la brecha en las condiciones ideales que pueden ser realizadas experimentalmente y verificando consistentemente que la teoría cuántica describe correctamente la realidad física. Por estos aportes, John F. Clauser, pionero en las pruebas

de Bell, ganó el Premio Nobel de Física en 2022 [5]. Gracias a esto, hoy en día sabemos que las correlaciones cuánticas son un fenómeno que ocurre en la naturaleza; en el CIO estudiamos las correlaciones cuánticas en diversos sistemas físicos, entre otros temas interesándonos por su presencia y la cantidad de éstas que tenemos disponible para realizar tareas cuánticas. Así, las correlaciones forman una parte importante de los proyectos realizados en el área de la mecánica cuántica. ▀

Referencias:

- [1] J. S. Bell. "On the Einstein Podolsky Rosen paradox" *Physics-Physique-Fizika* 1 (3): 195-200 (1964). doi: 10.1103/physicsphysiquefizika.1.195
- [2] A. Einstein, B. Podolsky, y N. Rosen. "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?" *Physical Review* 47: 777 (1935). doi: 10.1103/PhysRev.47.777
- [3] J. F. Clauser, M. A. Horne, A. Shimony, y R. A. Holt. "Proposed experiment to test local hidden-variable theories". *Physical Review Letters*, 23 (15): 880-884 (1969). doi:10.1103/physrevlett.23.880.
- [4] S. J. Freedman, y J. F. Clauser. "Experimental test of local hidden-variable theories". *Physical Review Letters*, 28 (14): 938-941 (1972). doi:10.1103/physrevlett.28.938.
- [5] The Nobel Prize in Physics 2022. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach 2025. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/>

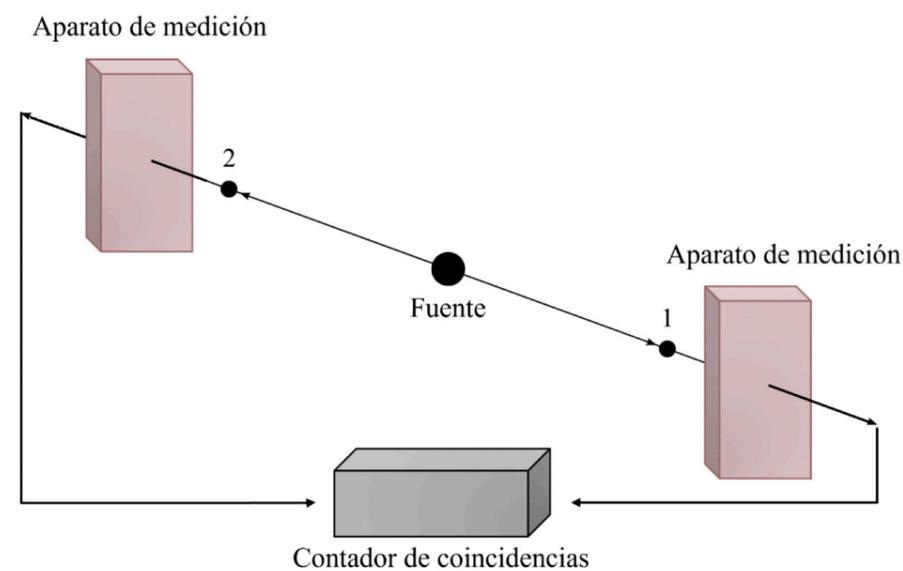


Figura 3. Diagrama del experimento realizado por Freedman y Clauser [4]. Las correlaciones cuánticas aparecen al considerar las coincidencias en las mediciones del sistema cuántico 1 y el sistema cuántico 2. © Elena Piceno CC BY-NC-4.0

ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO:

¿CIENCIA FANTASMAL O INCOMPRENDIDA?

Si tomamos un minuto de nuestro tiempo y observamos lo que sucede a nuestro alrededor, todo lo que vemos, percibimos y con lo que interactuamos en el mundo real sigue las reglas de la mecánica clásica. Es decir, el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que lo causan se estudian usando las bien conocidas leyes de Newton, de ahí que se conozca también como mecánica newtoniana. Esto es lo que tradicionalmente aprendemos desde secundaria hasta una carrera de ingeniería tradicional. Sin embargo, cuando se trata de objetos extremadamente pequeños suceden cosas muy interesantes que, aunque sea difícil de creer, no siguen las leyes de la mecánica clásica. Al estudiar objetos tan pequeños entramos al dominio de la mecánica cuántica, donde las cosas se tornan extremadamente extrañas.

La mecánica cuántica es el lenguaje de partículas diminutas como son electrones, neutrones y protones dentro de un átomo, o fotones en el caso de la luz. Para darnos una idea del tamaño de estas partículas, basta considerar que en la punta de una aguja caben fácilmente billones de electrones. Aunque existen varios aspectos extraños relacionados con la ciencia cuántica, nos enfocaremos en algo que Albert Einstein llamó “acción fantasmal a distancia”: el entrelazamiento cuántico.

Lo que la teoría cuántica nos dice es que cuando dos partículas están entrelazadas cuánticamente, siempre permanecerán conectadas. Aun cuando estas partículas sean separadas en tiempo y en espacio, continúan compartiendo algo más allá de una simple unión, de ahí el origen de la “acción fantasmal”. Esto significa que, si algo le sucede



Figura 1.- Cuando los zapatos se ponen dentro de cajas idénticas, y se envían a personas diferentes, estos están entrelazados debido a que cuando uno abre su caja de inmediato sabe que el otro par lo tiene la otra persona.

a una partícula, afecta a la otra con la cual fue entrelazada, por increíble que esto parezca. Pero más increíble aún, es que esto sucede de forma instantánea, sin importar la separación entre las partículas entrelazadas. La habilidad de medir instantáneamente el estado cuántico de una partícula al medir el estado de su partícula entrelazada en algún lugar del universo significa que la información viajó más rápido que la velocidad de la luz. Esto contradice la teoría de la relatividad de Einstein, que establece que ningún objeto puede viajar más rápido que la velocidad de la luz, y por ende fue algo que incomodó al mismo Einstein al grado de pensar que la teoría cuántica estaba incompleta.

El **concepto de entrelazamiento** puede explicarse usando la analogía de la Figura 1. Si tenemos un par de zapatos (derecho e izquierdo) podemos

poner cada uno en cajas individuales y mandar una caja a Alicia y otra a Beto. En el momento que Alicia abre su paquete y encuentra el zapato derecho, ella sabe que Beto debe tener el zapato izquierdo. Los lados de los zapatos, así como con las partículas cuánticas, están entrelazados. Sin embargo, hay una diferencia clave en esta analogía. El lado del zapato en el paquete fue el mismo de principio a fin, este nunca cambió. Pero si alguien hubiera interceptado el paquete antes de llegar a Alicia, esa persona hubiera sabido que se trataba del zapato derecho. Con partículas cuánticas este no es el caso. Mientras que en la mecánica clásica un cuerpo siempre tiene una posición bien definida, en el ejemplo anterior el lado de cada zapato está perfectamente definido, en la mecánica cuántica el estado de una partícula se define por lo que se llama **superposición** de estados.

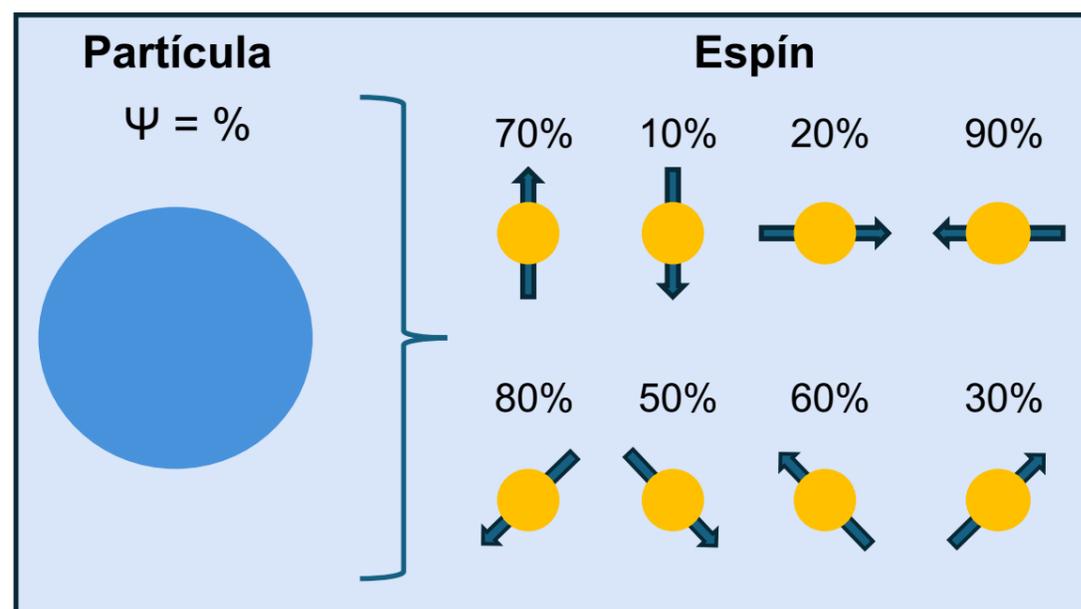


Figura 2.- La superposición cuántica establece que una partícula cuántica puede existir en muchos estados al mismo tiempo, y por lo tanto su función de onda nos dice las probabilidades de encontrar a la partícula en un estado específico.

Es decir, una partícula puede existir en varios estados al mismo tiempo. Si tomamos el espín o “giro” de una partícula como el electrón, este puede tener espín en diferentes direcciones, como se muestra en la Figura 2. Entonces, la función de onda de esta partícula más allá de describir sus propiedades nos dice las probabilidades de encontrar la partícula en cada estado si realizamos una medición. Lo anterior significa que el espín de la partícula puede estar en todas las direcciones posibles, y solo sabemos su dirección exacta cuando realizamos una medición. Aunque esto suena extraño, las matemáticas y un gran número de experimentos lo han comprobado. Una analogía simple es lo que sucede cuando hacemos girar una moneda en una mesa. En este caso mientras la moneda está girando puede existir en sus dos estados cara/cruz al mismo tiempo. Sin embargo, toda vez que el giro

cesa y la moneda cae sobre un lado es que sabemos el estado exacto, ya sea cara o cruz.

Regresando a la Figura 1, si en lugar de zapatos se envían dos partículas que fueron **entrelazadas cuánticamente**, lo que sucede es que cuando Alicia mide el espín de su partícula, automáticamente sabemos que la medición de Beto será un espín en la misma dirección, pero sentido opuesto. Si la misma medición se realiza una hora después, pero en orden diferente, aunque Beto midiera un espín diferente al original sabemos que la partícula de Alicia tendrá su espín con la misma dirección, pero sentido opuesto. Aunque esto por sí solo es por demás impresionante, considerando que una de las partículas podría estar en la Tierra y otra en el planeta Marte, su implicación en temas de seguridad es mayor.

Supongamos que nuevamente alguien intercepta una de las partículas y realiza una medición

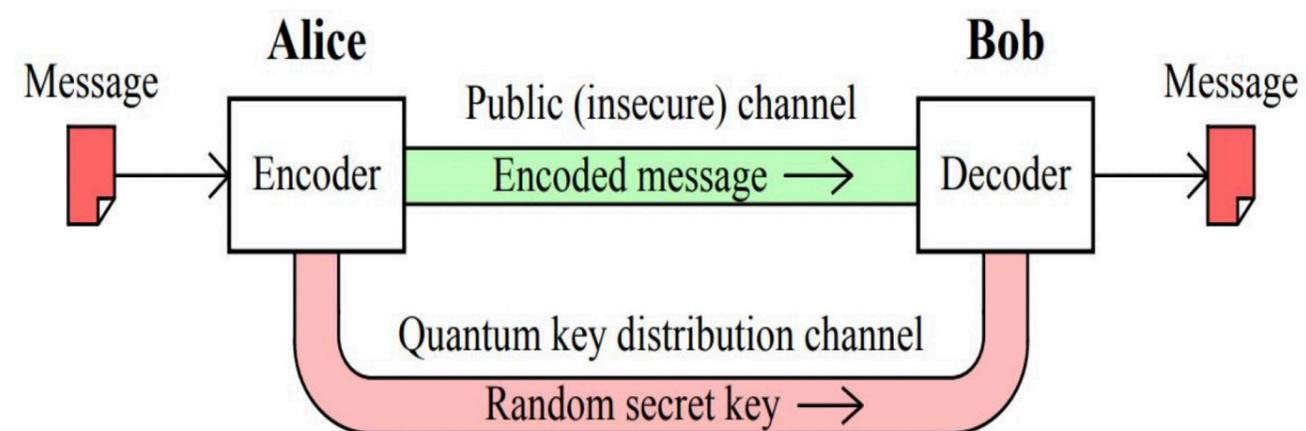


Figura 3.- Sistema básico de comunicación en una sola vía usando distribución de clave cuántica.

para tratar de robar información. Si bien es capaz de obtener un espín exacto, el haber realizado la medición modifica a la partícula entrelazada sin que esta persona se dé cuenta. Cuando la partícula finalmente llega a Alicia y se realizan mediciones en ambos lados, se dan cuenta que las direcciones de sus espines no corresponden y, por ende, alguien interfirió con el envío de las partículas.

Lo anterior permite enviar información que es indescifrable, y se utiliza en sistemas conocidos como distribución de clave cuántica (quantum key distribution, QKD, por sus siglas en inglés). Dado que las partículas entrelazadas pueden ser fotones (cuantos de luz), que hoy día se generan rutinariamente, este entrelazamiento puede ser enviado y medido a través de fibras ópticas. Si bien no se envía toda la información codificada cuánticamente, lo que sí se realiza es encriptar la información y

enviarla por un canal no seguro, y por otro canal se envía una clave secreta aleatoria generada con entrelazamiento cuántico, ver Figura 3. Aunque este esquema es muy básico permite mostrar la separación de información y claves cifradas cuánticamente. Como explicamos anteriormente, si alguien intenta robar la clave secreta, esto cambia los estados iniciales y por ende se sabe que alguien trató de robarse dicha clave aleatoria. En los últimos años se han demostrado diferentes tipos de sistemas QKD, ya sea a nivel academia o por empresas, al grado de haberse logrado la transmisión de esta misma información usando un minisatélite [1], lo que abre camino para lograr comunicación cuántica en cualquier parte de la Tierra. ■

[1] Li, Y., Cai, WQ., Ren, JG. et al. Microsatellite-based real-time quantum key distribution. Nature (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08739-z>.

DULCE GUADALUPE MURIAS FIGUEROA

DE LA NANOESCALA AL UNIVERSO: LA TECNOLOGÍA DETRÁS DE MUSCAT Y LOS DETECTORES KID

Los avances en astronomía milimétrica y submilimétrica han revolucionado nuestra comprensión del universo frío y distante. Un ejemplo notable es la primera imagen de un agujero negro obtenida por el Telescopio del Horizonte de Eventos, en la que el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM) desempeñó un papel clave. Sin embargo, aún hay mucho por descubrir, lo que impulsa la construcción de telescopios más grandes y sensibles. Para lograrlo, es necesario desarrollar instrumentos con una mayor cantidad de detectores y una sensibilidad extrema.

¿Cómo se detecta la luz en la astronomía milimétrica?

En esta región del espectro electromagnético, la luz no puede ser detectada por cámaras conven-

cionales como las de los telescopios ópticos. En su lugar, se utilizan detectores superconductores que operan a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273 °C). Existen dos tipos principales: los sensores de borde de transición (TES) y los detectores de inductancia cinética (KID).

Los TES funcionan midiendo pequeños cambios en la temperatura de un material al absorber radiación, lo que provoca variaciones en su resistencia eléctrica. En cambio, los KIDs funcionan como diminutos circuitos que vibran a una frecuencia específica, y cuando absorben luz, esa frecuencia cambia, permitiendo medir la señal. Una gran ventaja de los KIDs es que pueden agruparse en grandes cantidades y conectarse a una

sola línea de transmisión, lo que facilita la lectura simultánea de cientos o miles de ellos. Gracias a esto, han sido utilizados en diversos instrumentos astronómicos como MUSIC, ARCONS, NIKA 2, TolTEC y, más recientemente, MUSCAT.

MUSCAT:

Observando el cosmos con tecnología avanzada
MUSCAT (*Mexico-UK SubMillimeter Camera for Astronomy*) es una cámara de última generación que

utiliza el GTM como lente para captar la luz milimétrica del espacio. Cuenta con 1458 detectores KID que operan con una sensibilidad tal que pueden captar señales por debajo del ruido de fondo del telescopio y la atmósfera. El sistema óptico de MUSCAT guía la luz desde el telescopio hasta los detectores superconductores, que registran cambios en su frecuencia de resonancia según la intensidad de la radiación en cada píxel. La vista general del instrumento se ilustra en la figura 1. Estos da-

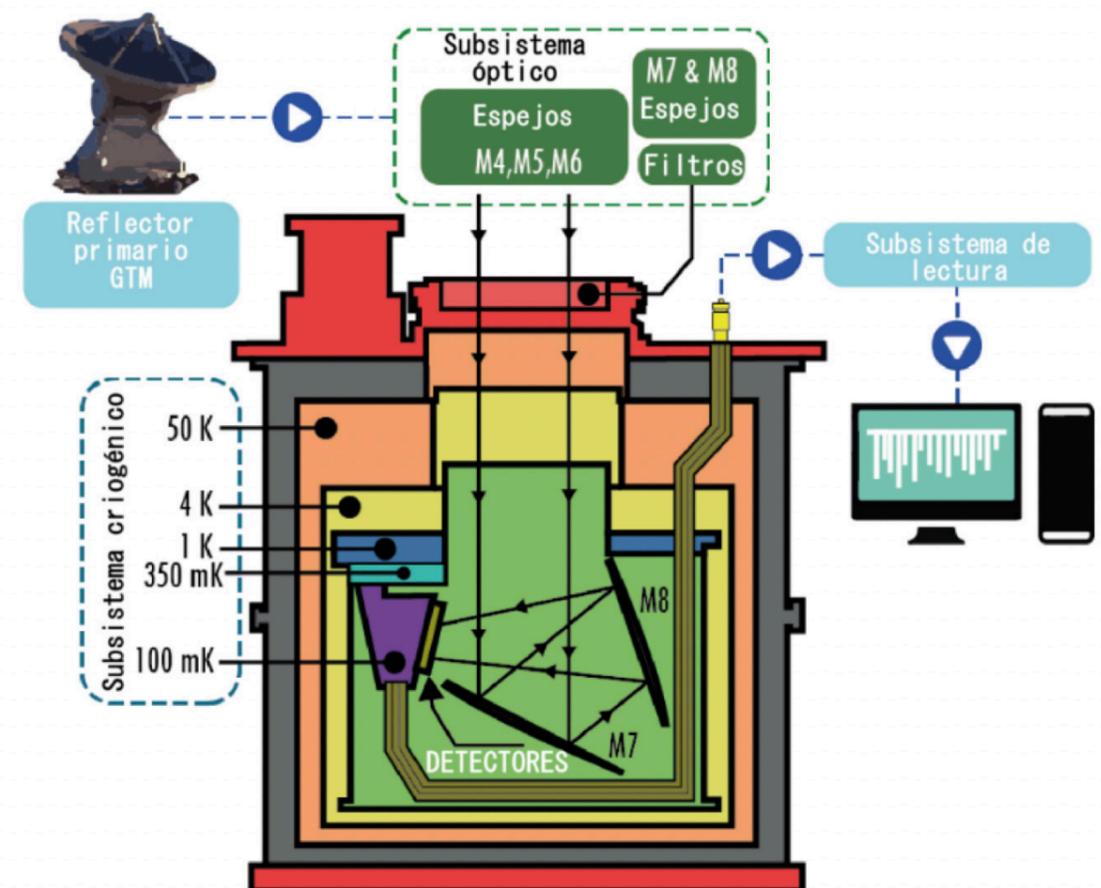


Figura 1. Vista general de MUSCAT y sus subsistemas. Imagen tomada de: Readout and characterization system for kinetic inductance detectors (KID) of the MUSCAT project. (Tesis de Maestría). INAOE, Tonantzintla. Tonantzintla, Puebla, México: INAOE.

tos son medidos, digitalizados y almacenados para su análisis y generación de imágenes. Para que los detectores funcionen correctamente, deben estar a temperaturas extremadamente bajas, entre 150 y 180 milikelvin (mK). Para lograrlo, MUSCAT se encuentra dentro de un criostato, una especie de termo ultrafrío que mantiene estable la temperatura en 100 mK (una décima de grado por encima del cero absoluto).

¿Cómo se fabrican los detectores KID?

Los detectores de MUSCAT se fabricaron sobre delgadas obleas de silicio mediante procesos de microfabricación, similares a los empleados en la fabricación de microchips. El proceso incluye los siguientes pasos:

1. Se deposita una capa de un material superconductor, como el aluminio, sobre la oblea.
2. Se define el diseño de los detectores usando técnicas de fotolitografía, un proceso que es como “imprimir” patrones microscópicos en la superficie. El diseño de los detectores de MUSCAT se muestra en la figura 2.
3. Se eliminan las partes no deseadas, dejando únicamente las estructuras de los detectores.
4. Mediante el depósito de capas dieléctricas y superconductoras, se fabrican los puentes que conectan las líneas de transmisión. La forma final de un píxel puede verse en la figura 3.
5. Finalmente, el arreglo de detectores se libera de la oblea y se ensambla, conectándolo a la electrónica de lectura mediante cables ultrafinos, tal como se muestra en la figura 4.

El control preciso del grosor, la morfología y la composición del material es crucial para tener la respuesta de resonancia deseada. Incluso pequeños defectos en los patrones pueden afectar su rendimiento.

Un reto tecnológico con impacto astronómico

El desarrollo de MUSCAT ha sido un desafío multidisciplinario, combinando nanotecnología, criogenia, microelectrónica, óptica avanzada y mecánica de precisión, cada área con un alto nivel de especialización en investigación y desarrollo tecnológico. El instrumento físico ya terminado, cuya imagen se muestra

en la figura 5, es el resultado tangible de este esfuerzo colaborativo. Gracias a proyectos como MUSCAT y sus innovadores detectores KID, los astrónomos podrán observar polvo interestelar, estudiar galaxias lejanas, analizar los restos del Big Bang y otros fenómenos invisibles en longitudes de onda ópticas.

En el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO), se ha iniciado la integración del Laboratorio de Películas Delgadas en la investigación y desarrollo de detectores KID, lo que permitirá ampliar su rango de aplicaciones y fomentar nuevas colaboraciones con otras áreas. La investigación actual se enfoca en mejorar el rendimiento de estos detectores mediante la aplicación de películas antirreflejantes. ■

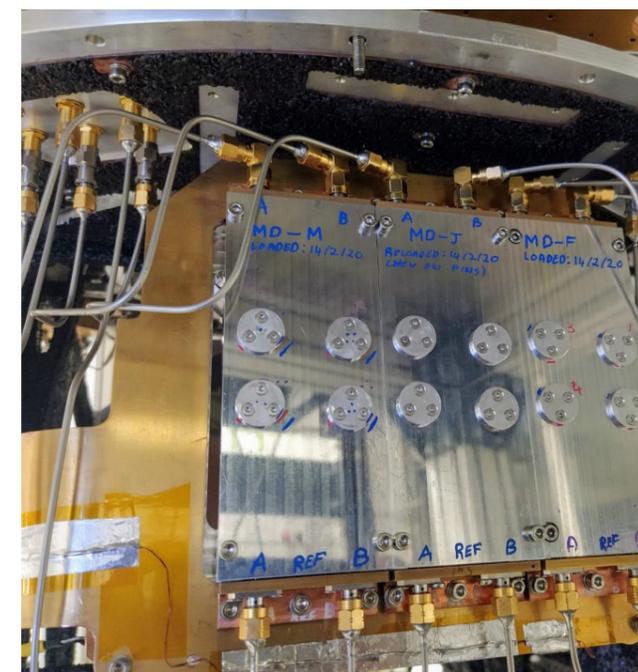
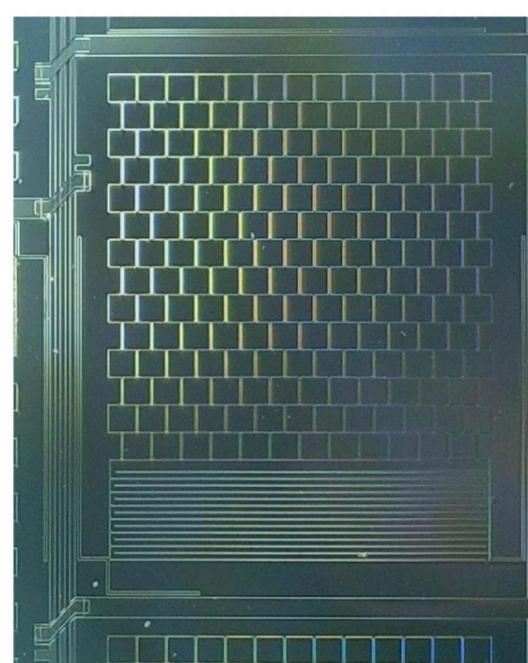
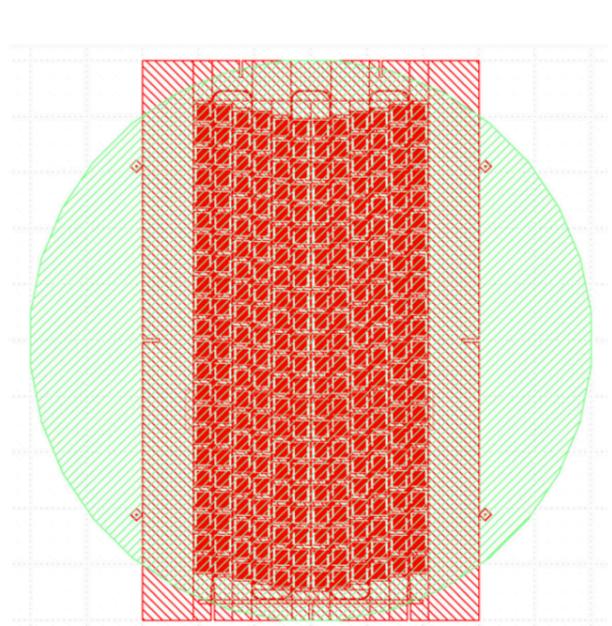


Figura 2. Diseño del arreglo de detectores KID sobre obleas de silicio para MUSCAT.

Figura 3. Un píxel de MUSCAT.

Figura 4. Arreglo de detectores KID montados en sus carcasas y conectados al instrumento.

Figura 5. Instrumento MUSCAT sin el escudo de radiación.

ħ: DE PLANCK A EINSTEIN... Y AL CIO

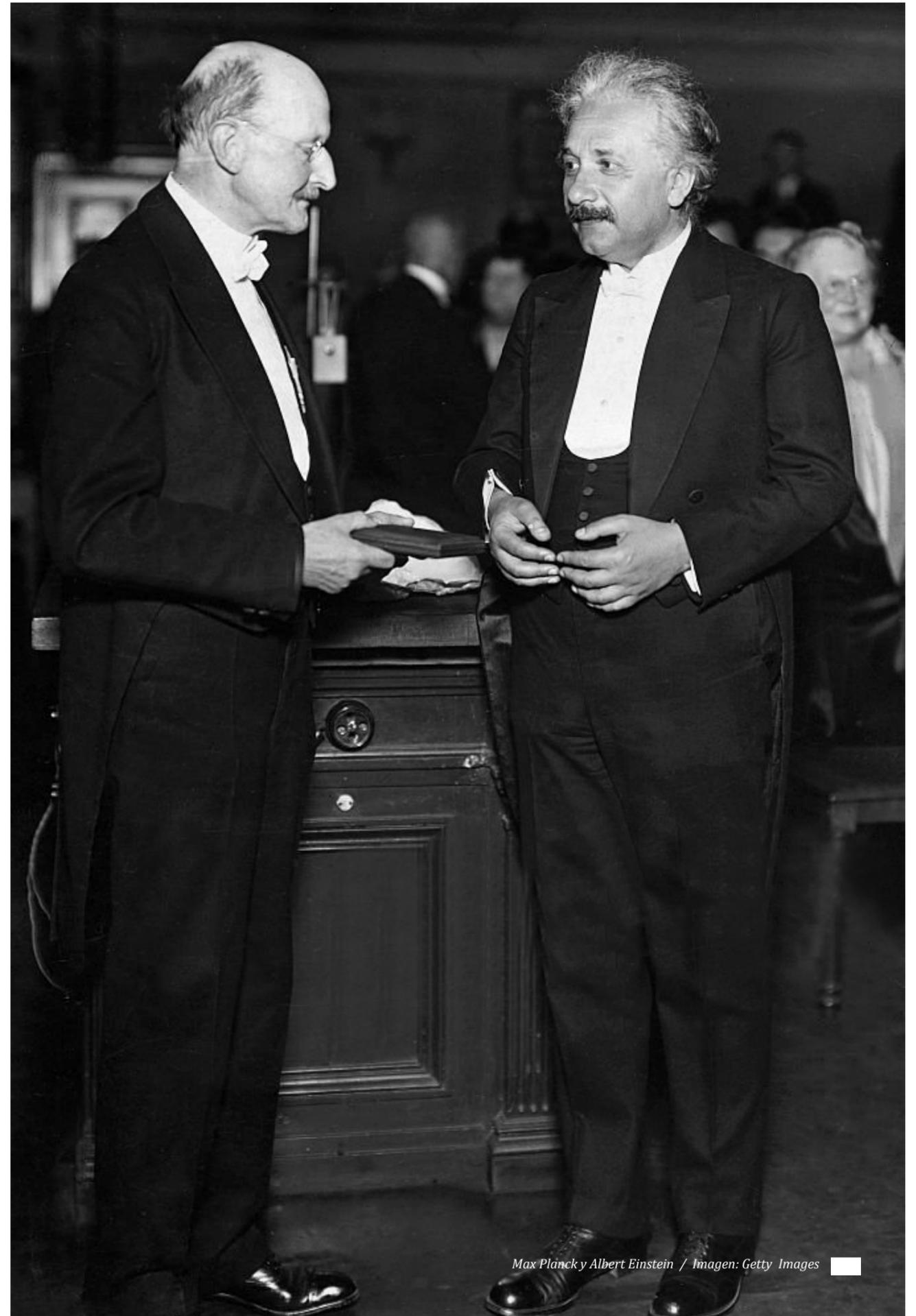
Era el 14 de diciembre de 1900 en Berlín, Alemania, donde tenía lugar la Reunión de la Sociedad Física Alemana. El profesor Max Planck de la Friedrich-Wilhelms-Universität de Berlín presentaba el trabajo titulado "Sobre la teoría de la ley de distribución de energía del espectro normal". Es difícil saber exactamente cómo es que se desarrolló la presentación, sin embargo, el resumen de la contribución del congreso [1] es probablemente la más cercana fuente primaria sobre lo que ahí ocurrió.

De acuerdo a lo que el resumen describe, Planck, que tenía varios años trabajando en diversos problemas de termodinámica, como parte de sus derivaciones presentó una idea cuando menos atrevida. El resumen inicia haciendo cálculos en los que propone que la energía total de un "cuerpo negro" en equilibrio con el campo de radiación a su alrededor se puede modelar dividiendo la energía total como energía mecánica $E_0 = E + E' + E'' + \dots$ contenida en un conjunto de N, N', N'', \dots osciladores

armónicos (que forman el cuerpo negro) con frecuencias ν, ν', ν'', \dots respectivamente más la energía contenida en las ondas electromagnéticas que son absorbidas y emitidas por el cuerpo negro; en el quinto párrafo menciona:

"... Si E es considerada como una cantidad continuamente divisible, entonces hay una cantidad infinita de combinaciones para repartir toda esta energía. Sin embargo, consideremos -este es el punto más importante de todo mi cálculo- que E está compuesto de un número definido de paquetes iguales y usamos la constante natural $h = 6.55 \times 10^{-17}$ [erg x sec], esta constante multiplicada por la frecuencia ν de los resonadores [osciladores armónicos] nos da la energía ϵ de estos paquetes iguales en ergs y por tanto dividiendo la energía E entre ϵ hallamos el número total de paquetes iguales contenidos en los N resonadores."

Esta idea que el mismo Planck introduce por primera vez en este trabajo sin mayor justifica-



Max Planck y Albert Einstein / Imagen: Getty Images

ción física, léase: injustificable en aquel momento, pero que lo lleva al resultado correcto, deriva en la ecuación 6 del mismo resumen que aquí copio de forma exacta del resumen original.

$$u_{\nu} d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{d\nu}{e^{\frac{h\nu}{k\theta}} - 1},$$

Esta es la primera expresión matemática en la que el producto $h\nu$ aparece en la historia y que por cierto logra (¡finalmente!) modelar correctamente el espectro de emisión del cuerpo negro. La derivación más detallada se puede encontrar en el artículo que Planck envió el 7 de enero, solo tres semanas después, a la revista *Annalen der Physik* [2] publicado en 1901. Estos “paquetes iguales” de energía que Planck plantea son lo que hoy en día conocemos como “cuántos” y su introducción derivó en intensos debates a lo largo de los siguientes años, siendo una de las primeras consecuencias de su introducción, un par de publicaciones de Albert Einstein en 1905 [3] y 1906 [4] donde plantea sus argumentos particularmente sobre el efecto fotoeléctrico, pero en general sobre una nueva visión sobre la energía, la materia y la radiación. Fueron estos artículos los que le valieron el Premio Nobel. En el párrafo final de la primera sección del artículo de 1906 dice textualmente:

“En mi opinión las consideraciones que presenté de ninguna forma contradicen la teoría de radiación de Planck; por el contrario, me parece que demuestran que esta teoría de radiación del Sr. Planck introdujo a la física un nuevo elemento hipotético: la hipótesis del cuanto de luz”.

En esta frase, creo que se resume lo que fue el detonante de la revolución más importante que ha visto la ciencia en los últimos dos siglos, la cuantización como fenómeno universal, que a su vez llevó a lo largo de las siguientes dos décadas a la construcción de la teoría cuántica que reemplazaría los conceptos de la física clásica y que habría de ser el fundamento de nuestra tecnología moderna (figura 1).

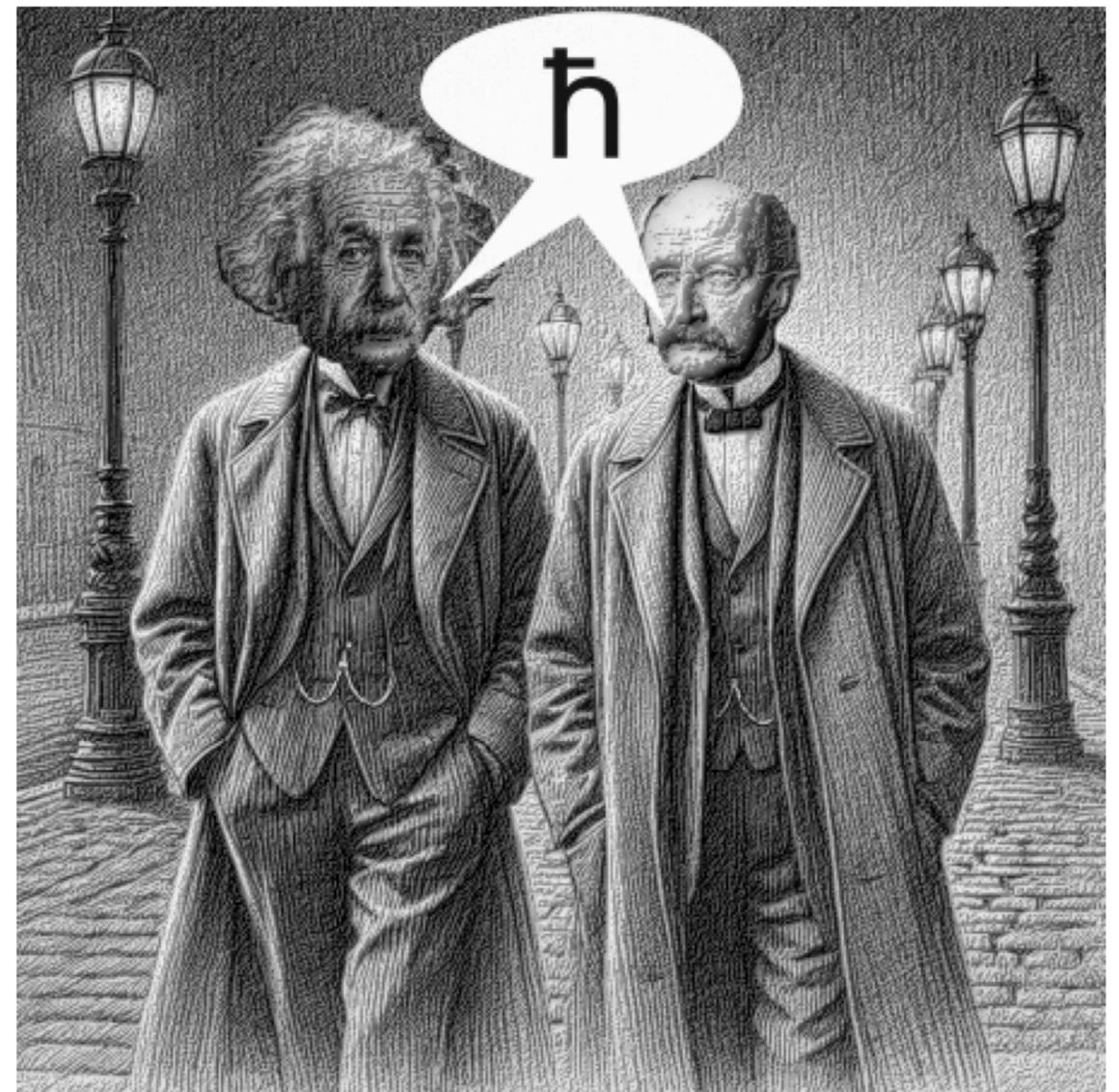
Hoy en día en el CIO muchos realizamos investigación utilizando de forma directa o indirecta conceptos cuánticos y dispositivos basados en dichos conceptos. Por dar algunos ejemplos, el grupo de Bernardo Mendoza, realiza cálculos de propiedades ópticas de materiales resolviendo de primeros principios las ecuaciones cuánticas de diversos sistemas cristalinos; Ramón Carriles, Gabriel Ramos, Luis Armando Díaz y Haggeo Desirrena miden y controlan propiedades ópticas cuánticas de diversos materiales que van desde nanopartículas hasta materiales no lineales; el grupo de Laura Rosales y Roberto Ramírez trabaja en el uso de las propiedades cuánticas de los fotones en diversas aplicaciones. En el grupo de terahertz desarrollamos dispositivos para emisión y detección de radiación basados en principios cuánticos y finalmente casi todos los grupos del CIO utilizan láseres, basados en emisión estimulada de luz, para realizar todo tipo de experimentos.

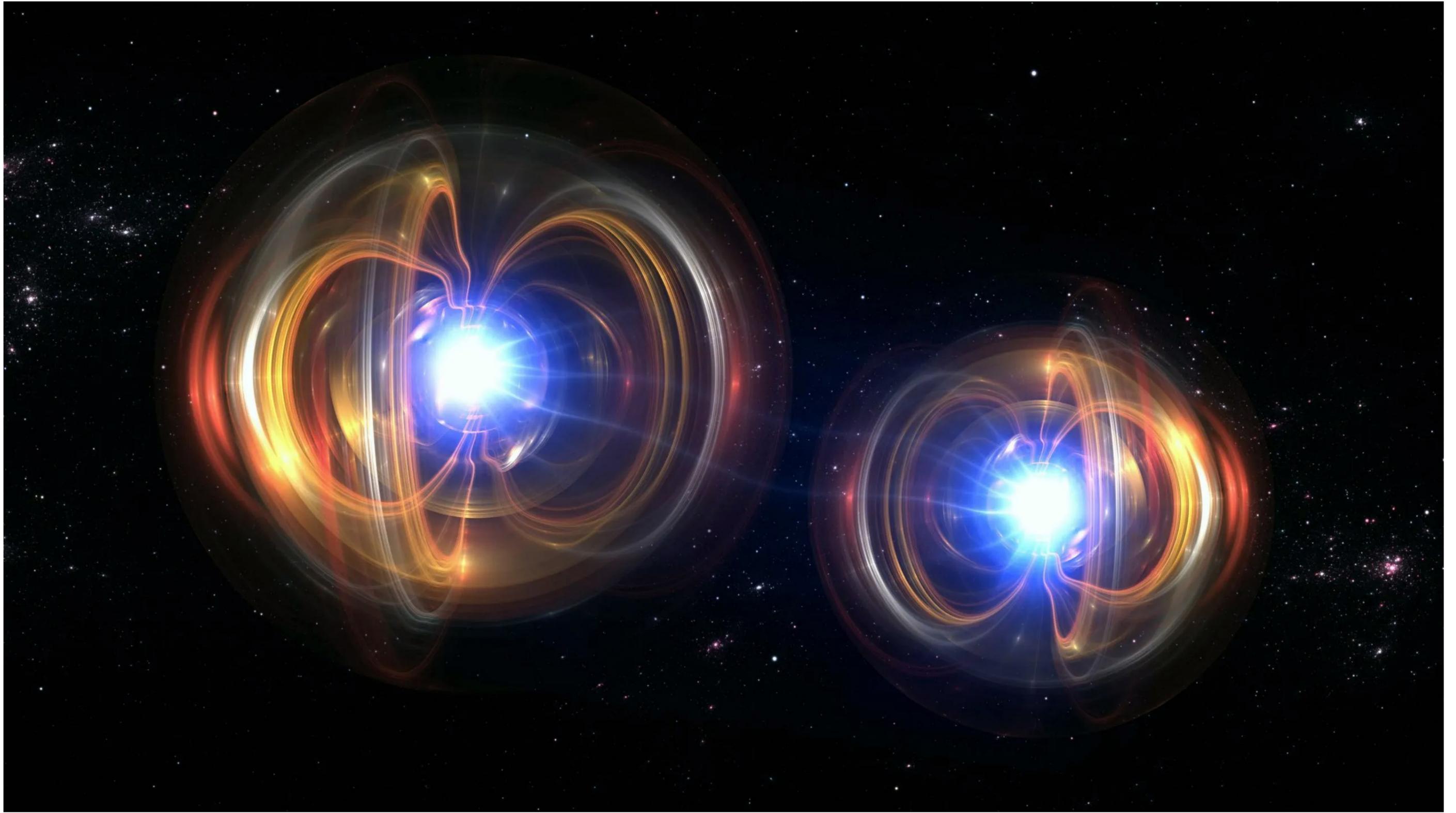
El año 1925 marca lo que muchos consideran la culminación de la teoría cuántica con la introducción de la “Mecánica Matricial” por Werner Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan. Hoy

en 2025, celebramos 100 años de aquel momento extraordinario declarado por la UNESCO como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas. En el CIO y la DCI de la Universidad de Guanajuato estaremos organizando diversos eventos para celebrar este momento histórico. ■

- [1] M. Planck “Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum” *Verhandl. Dtsch. phys. Ges.*, 2, 237 (1900). En inglés: <https://www.lawebdefisica.com/arts/distribution-law.pdf>
- [2] M. Planck, *Ann. Phys.* “Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum” 4, 553 (1901). En inglés: <https://www.lawebdefisica.com/arts/energydistribution.pdf>
- [3] A. Einstein. *Ann. Phys.* “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt” 17, 132 (1905). En inglés: <https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/100>
- [4] A. Einstein. *Ann. Phys.* “Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption” 20, 199 (1906). En inglés: <https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/206>

Figura 1. Conversación imaginaria entre Max Planck y Albert Einstein en 1905. Imagen generada con IA.





Correlación cuántica.
Imagen: Shutterstock.

ERIKA RODRÍGUEZ SEVILLA

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA EL MONITOREO DE LA SALUD

No es fácil imaginar hoy en día un mundo sin el uso de la tecnología; tu dispositivo celular, la televisión digital, conocer la ubicación de algún lugar usando el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), incluso dispositivos médicos digitales que nos permiten hacer un monitoreo preciso de nuestro estado de salud, son el resultado del conocimiento científico multidisciplinario y su aplicación en distintas áreas de la vida cotidiana.

Conocer los niveles de glucosa, colesterol o algún otro analito, en sangre, por ejemplo, implica acudir a un laboratorio clínico, esperar la toma de muestra y unas horas después recibir el resultado. Durante el análisis, se llevan a cabo las etapas de un análisis químico; la adquisición de la muestra, la preparación de la misma, la detección de la molécula de interés mediante técnicas de análisis

específicas y finalmente la obtención e interpretación de los resultados; cada una de estas etapas es realizada por personal especializado en análisis clínico o médico. Sin embargo, monitorear algunos parámetros como la presión arterial, nivel de glucosa, niveles de electrolitos, etcétera, en la actualidad pueden realizarse mediante dispositivos digitales que ofrecen un análisis en tiempo real, sin la necesidad de pruebas invasivas.

Estos dispositivos son conocidos como *Laboratorios en un chip (Lab on a chip, LOC)*, ya que integran dos o más procesos de laboratorio en una sola plataforma (Figura 1), obteniéndose como resultado dispositivos portables con buenos parámetros analíticos, que conjugan principalmente: la ciencia de materiales, la electrónica y/o fotónica flexible y la microfluídica, con la finalidad de fabri-

Monitoreo celular / Imagen: Shutterstock.

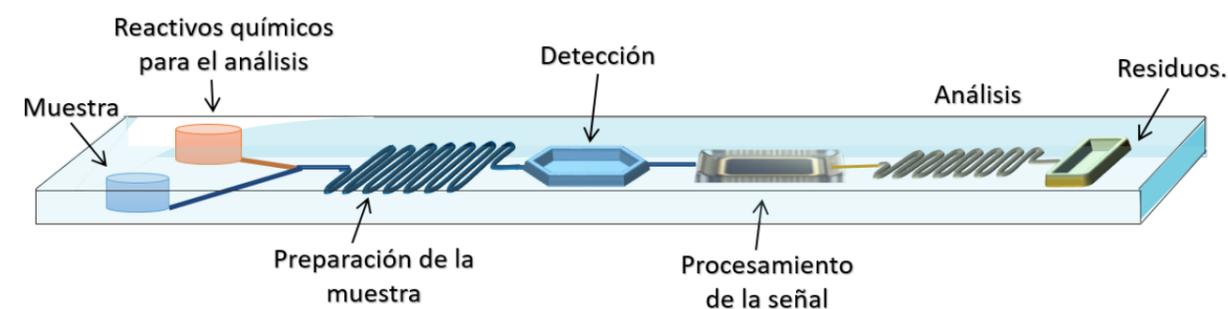


Figura 1. Secciones que integran un dispositivo LOC.

car dispositivos flexibles, de manera que puedan adaptarse fácilmente a la superficie corporal, que sean biocompatibles, es decir que no causen daño alguno al usuario, y portables para ser utilizados en pruebas de laboratorio en el lugar de asistencia (*Point of Care Testing*), por ejemplo, una prueba de embarazo, tiras reactivas para la detección de sustancias ilícitas en orina y más recientemente la detección de antígenos/anticuerpos para la detección de COVID-19.

Uno de los proyectos de investigación que se desarrollan actualmente en el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO), se basa en el diseño y fabricación de biosensores ópticos y electroquímicos altamente sensibles para la detección y monitoreo de biomoléculas asociadas a padecimientos crónico-degenerativos a través del sudor, saliva, y otros fluidos biológicos.

Estos dispositivos son fabricados empleando materiales compuestos a base de partículas metálicas, biopolímeros, compuestos de carbono,

entre otros, todos estos materiales de tamaño nanométrico que, al ser conjugados entre sí, ofrecen mejoras significativas de las propiedades ópticas, electrónicas, físicas y químicas de estos nanocompuestos que han sido empleados en la fabricación de biosensores para la detección de glucosa [1] en sudor y urea [2], los cuales son metabolitos asociados con padecimientos como diabetes mellitus tipo 2 y enfermedad renal crónica. A través de técnicas como la espectroscopia Raman amplificada por superficie (SERS), una técnica analítica que permite la identificación de diferentes compuestos bio/químicos a concentraciones bajas (detección de una sola molécula, o a nivel de trazas) mediante su espectro vibracional, el cual es único para cada compuesto, y se conoce también como su "huella digital", brindando con ello especificidad en el análisis.

En una era en la que la gran mayoría de las cosas pueden permanecer conectadas a través de internet, se busca combinar las ventajas que ofrecen estos biosensores con herramientas de inteli-

gencia artificial [3] como una alternativa tecnológica para la detección de enfermedades a etapas tempranas, realizar un diagnóstico médico preciso y un monitoreo adecuado del estado de salud del paciente (Figura 2), de tal forma que se pueda brindar atención sanitaria a cualquier persona, en cualquier momento. ▀

Referencias:

- [1] Erika Rodríguez-Sevilla, Jonathan Ulises Álvarez-Martínez, Rigoberto Castro-Beltrán, Eden Morales-Narváez, Flexible 3D Plasmonic Web Enables Remote Surface Enhanced Raman Spectroscopy, *Advanced Science* (2024) 2402192 (1-12). DOI: 10.1002/adv.202402192
 [2] Luis A Tapia-Licona, Gloria V Vázquez, Erika Rodríguez-Sevilla, Rubí Reséndiz-Ramírez, Eden Morales-Narváez, Rebeca Martínez Vázquez, Rigoberto Castro-Beltrán, Roberto Ramírez-Alarcón, Unbalanced Mach-Zehnder interferometer fabricated by femtosecond laser direct writing for sensing of urea concentrations via evanescent field interaction, *Optics & Laser Technology* 183 (2025) 112285, DOI: 10.1016/j.optlastec.2024.112285
 [3] Amauri Horta-Velázquez, Fernando Arce, Erika Rodríguez-Sevilla, Eden Morales-Narváez, Toward smart diagnostics via artificial intelligence-assisted surface-enhanced Raman spectroscopy, *Trends in Analytical Chemistry* 169 (2023) 117378. DOI: 10.1016/j.trac.2023.117378

Tecnologías emergentes de apoyo al sector salud / Imagen: Freepik.

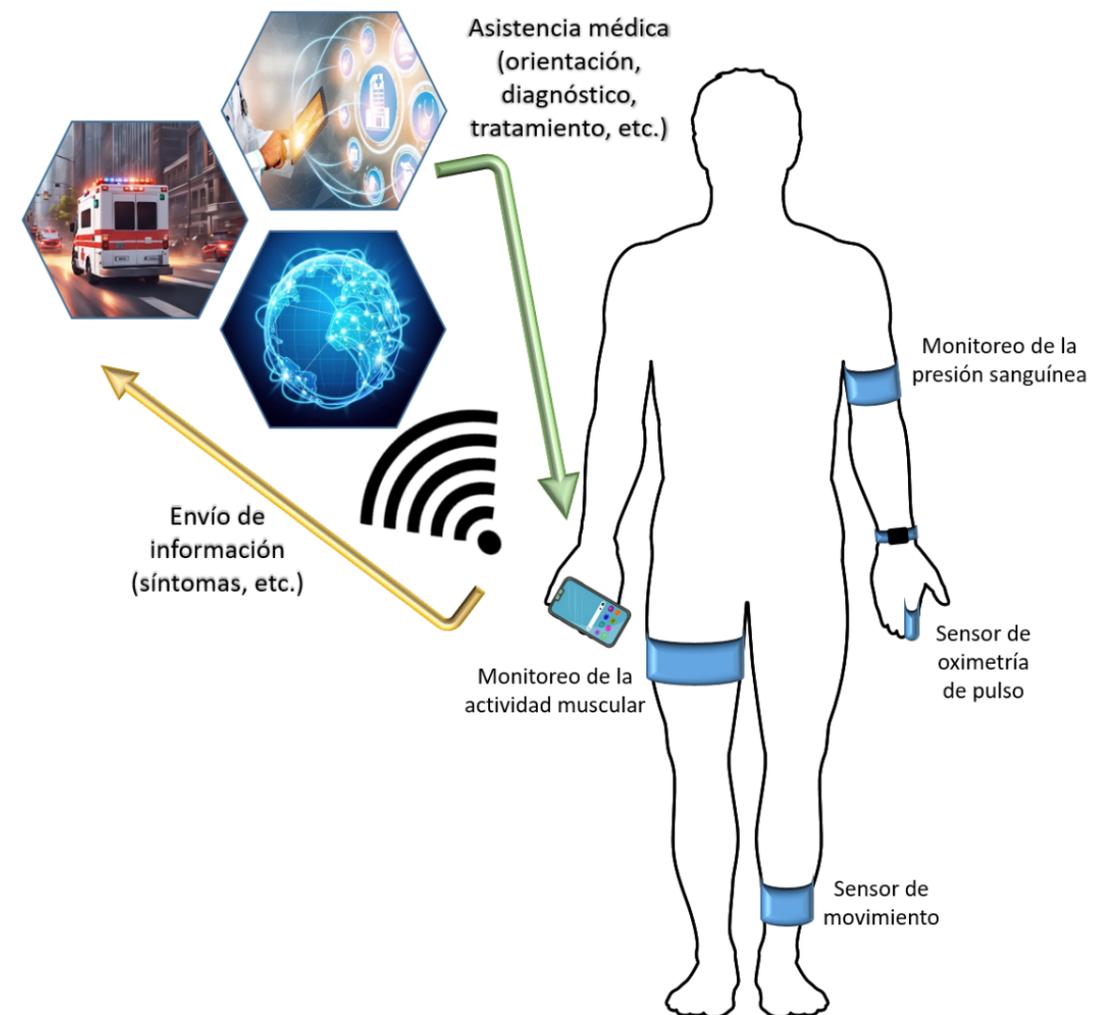


Figura 2. Esquema del monitoreo de la salud mediante biosensores para la asistencia médica inalámbrica.

JORGE HUMBERTO LÓPEZ RIVERA

SENSORES DE FIBRA ÓPTICA: UNA TECNOLOGÍA DE VANGUARDIA PARA MONITOREAR LA SEGURIDAD DE PUENTES, TÚNELES Y RASCACIELOS

Figura de introducción. Puente Vasco da Gama de aproximadamente 12 km de longitud monitoreado con sensores de fibra óptica multipuntuales y distribuidos. – fuente: <https://www.exalos.com/fiber-optic-stress-sensors/>.



Figura 1. Túnel Rossio monitoreado por sensores de fibra óptica instalados a todo lo largo del túnel [1].

Cuando conducimos por un puente, atravesamos un túnel o nos encontramos en el interior de un rascacielos, es fundamental garantizar la integridad de estas estructuras. Aunque su inspección visual es posible mediante imágenes, tensiones y deformaciones internas que pueden comprometer la integridad de la estructura son difíciles de medir de manera práctica y eficaz desde el exterior.

La detección temprana de fisuras en el hormigón o el acero es clave para prevenir el colapso estructural de edificios y megaestructuras. Por ello, el desarrollo y uso de sensores de fibra óptica (SFO), tanto distribuidos como multipunto, ha sido crucial para evaluar la condición estructural de grandes obras de ingeniería civil. Un ejemplo de esta aplicación se observa en la Figura 1 [1], que

muestra el túnel de Rossio en Lisboa, Portugal. En esta estructura, se ha implementado un sistema avanzado de monitoreo basado en SFO para medir deformaciones y cambios de temperatura en tiempo real lo que hace posible la identificación temprana de desgaste o daño estructural.

Los SFO son dispositivos dieléctricos pasivos – por lo que son inmunes a interferencia electromagnética – y de dimensiones extremadamente pequeñas, lo que permite integrarlos en una amplia variedad de estructuras sin alterar sus propiedades mecánicas. Gracias a su propiedad de multiplexación, estos sensores pueden operar en configuraciones multipunto o distribuidas, lo que permite abarcar amplias áreas y perímetros de monitoreo. A continuación se describe la detección multipunto y distribuida:

· La detección multipunto permite monitorear decenas o centenas de puntos sensores a lo largo de una misma fibra óptica.

· La detección distribuida convierte toda la longitud de la fibra óptica en un sensor continuo, proporcionando mediciones a lo largo de toda la estructura monitoreada.

Estas características colocan a los SFO por delante de los sensores eléctricos convencionales en términos de eficacia y versatilidad.

Actualmente, la investigación en SFO es extensa. La mayoría de estos sensores utiliza reflectometría óptica en el dominio del tiempo (OTDR), la cual utiliza pulsos cortos de luz altamente coherente, lo que la hace una técnica costosa. Sin embargo, existen otros enfoques avanzados, uno de ellos es la reflectometría óptica de correlación (C-OTDR). Esta técnica emplea señales ópticas de prueba con longitudes temporales más amplias, lo que permite mejorar el rango dinámico como la resolución espacial en comparación con la OTDR convencional.

En el marco del programa de Estancias Posdoctorales por México se desarrolla un proyecto de investigación enfocado en la aplicación de reflectometría óptica de correlación (C-OTDR) [2] como una técnica innovadora y accesible para el diseño de SFO multipunto y distribuidos. Estos sensores presentan un alto potencial para su aplicación en el monitoreo estructural de grandes obras de ingeniería civil. El proyecto se lleva a cabo en el Laboratorio de Optoelectrónica de la Unidad Aguascalientes del CIO, con la participación de investigadores de este Centro – el Dr. Rodolfo Martínez y el Dr. Daniel May Arrijoja, con la colaboración interinstitucional del CICESE – el Dr. Mikhail Shlyagin y el Dr. Serguei Miridonov.

Mediante pruebas de laboratorio (Figura 2), se han obtenido mediciones exitosas de temperatura y vibraciones en configuraciones multipunto y distribuidas. Resultados de estas investigaciones han sido publicados en las revistas Opt. Lett. [3,4], y en Optics & Laser Technology [5], donde el trabajo [4] ha sido reconocido como Editor's Pick. Dicha técnica se perfila como una técnica prometedora para el desarrollo de SFO robustos y de bajo costo, lo que la posiciona como una alternativa viable frente a los sistemas comerciales actuales, cuyos costos suelen ser significativamente elevados.

Referencias:

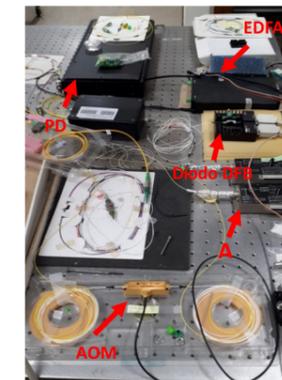
[1] Dinçer, S., Aydın, E., & Gencer, H. "A real-time instrumentation approach for structural health monitoring of bridges". In *Proceedings of the Istanbul Bridge Conference*, Vol. 201 (2014).

[2] Arias, A., M. G. Shlyagin, Miridonov, S. V., and Manuel, R. M., "Phase-sensitive correlation optical time-domain reflectometer using quantum phase noise of laser light", *Optics express*, 23(23), 30347-30356 (2015).

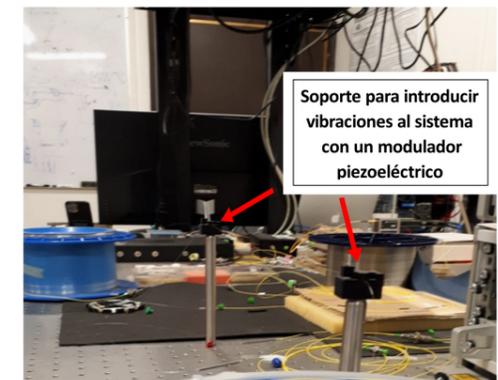
[3] Jorge H. López, M. G. Shlyagin, and R. Martínez-Manuel, "Correlation-based multiplexing of spectral channels and fiber-optic sensors using unmodulated continuous-wave distributed feedback diode lasers," *Opt. Lett.* 47, 1210-1213 (2022).

[4] Jorge H. López, M. G. Shlyagin, J. Esquivel-Hernández, D. May-Arrijoja, and R. Martínez-Manuel, "Passive quadrature demodulation of multiplexed interferometric sensors using a CW correlation reflectometer with a single DFB diode laser," *Opt. Lett.* 47, 5533-5536 (2022).

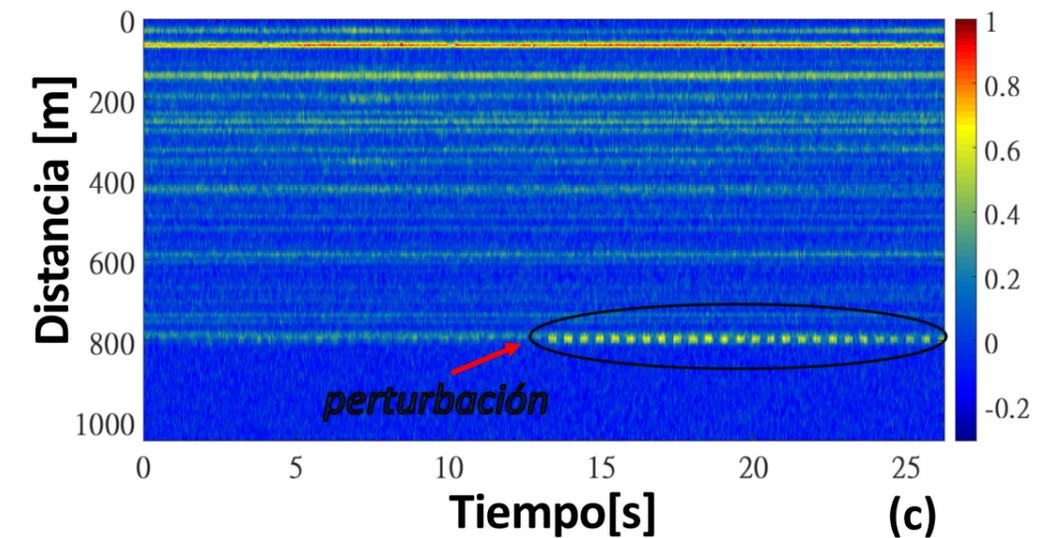
[5] Jorge H. López, M. G. Shlyagin, and R. Martínez-Manuel, "Multiplexing and passive demodulation of intrinsic low-finesse Fabry-Perot interferometers using free-running DFB diode lasers." *Optics & Laser Technology* 179, 111346 (2024).



(a)



(b)



(c)

Sensores de fibra óptica / Imagen: Baumer International.



Figura 2. (a) Arreglo experimental del sensor de fibra óptica, (b) sistema para introducir perturbaciones (tensión mecánica, deformaciones y vibraciones) en el sensor distribuido, y (c) gráfica de tipo cascada del sensor distribuido de 800 m de longitud durante un tiempo de medición de 13 segundos. La gráfica tipo cascada muestra resultados experimentales obtenidos del trabajo de investigación posdoctoral realizado en el laboratorio.

LAURA ROSALES ZÁRATE

A 100 AÑOS DE LA PRIMERA FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

El año 2025 fue proclamado por la UNESCO, como el “Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas”, reconociendo los 100 años desde la primera formulación matemática de la mecánica cuántica, la cual describe el comportamiento de la naturaleza a nivel microscópico, por ejemplo, estudiando el comportamiento de partículas como los protones y electrones.

¿Qué fue lo que se formuló hace 100 años en 1925? Debió ser muy relevante si antes, en 1900, para explicar la radiación del cuerpo negro, el cual absorbe toda la radiación que recibe, Planck introdujo la constante que lleva su nombre (ver artículo del Dr. Enrique Castro); además a principios de los 1920s, ya se estaba desarrollando la teoría

cuántica del átomo, y fue en 1924 cuando Max Born acuñó el término de “mecánica cuántica” [1].

Ahora, en el año de 1925, Werner Heisenberg publicó un trabajo de investigación [2], donde estableció los fundamentos de la mecánica cuántica basándose en observables, las cuales son cantidades que se pueden medir. Por lo que, en el análisis se consideró la intensidad de las líneas espectrales atómicas que permiten identificar al átomo, siendo como su huella dactilar, y de las cuales se tenían resultados experimentales. Entonces, Heisenberg encontró que al escribir las ecuaciones entre las amplitudes de transición atómicas estas no conmutan, esto quiere decir que importa el orden en el que se multiplican los ope-

radores, los cuales representan a las observables; por ejemplo, al multiplicar dos números, no importa el orden puesto que da el mismo resultado multiplicar 2 por 4 que 4 por 2. Sin embargo, en la mecánica cuántica, en general, los objetos matemáticos que usamos para representar a las observables no conmutan.

Y aunque en ese entonces Heisenberg, no conocía el álgebra de las matrices, Born sí, y junto con Pascual Jordan publicaron un trabajo de investigación [3] donde se muestra la relación de conmutación de los operadores de posición y momen-

to, (ecuación 38 de [3]) la cual es: $pq - qp = \hbar/2\pi i I$, donde \hbar es la constante de Planck, e I es la matriz identidad. A esta relación la llaman “verschärfte Quantenbedingung”, la cual se puede traducir como “condición cuántica estricta”. En ese mismo año de 1925, Born, Heisenberg y Jordan (ver figura 1), publican un artículo [4], donde finalmente muestran el formalismo de la mecánica cuántica, naciendo así lo que actualmente se conoce como la “mecánica cuántica matricial”, y que da lugar a la primera formulación matemática de la mecánica cuántica, la cual es reconocida este año 2025.



Figura 1. Max Born, Werner Heisenberg y Pascual Jordan.

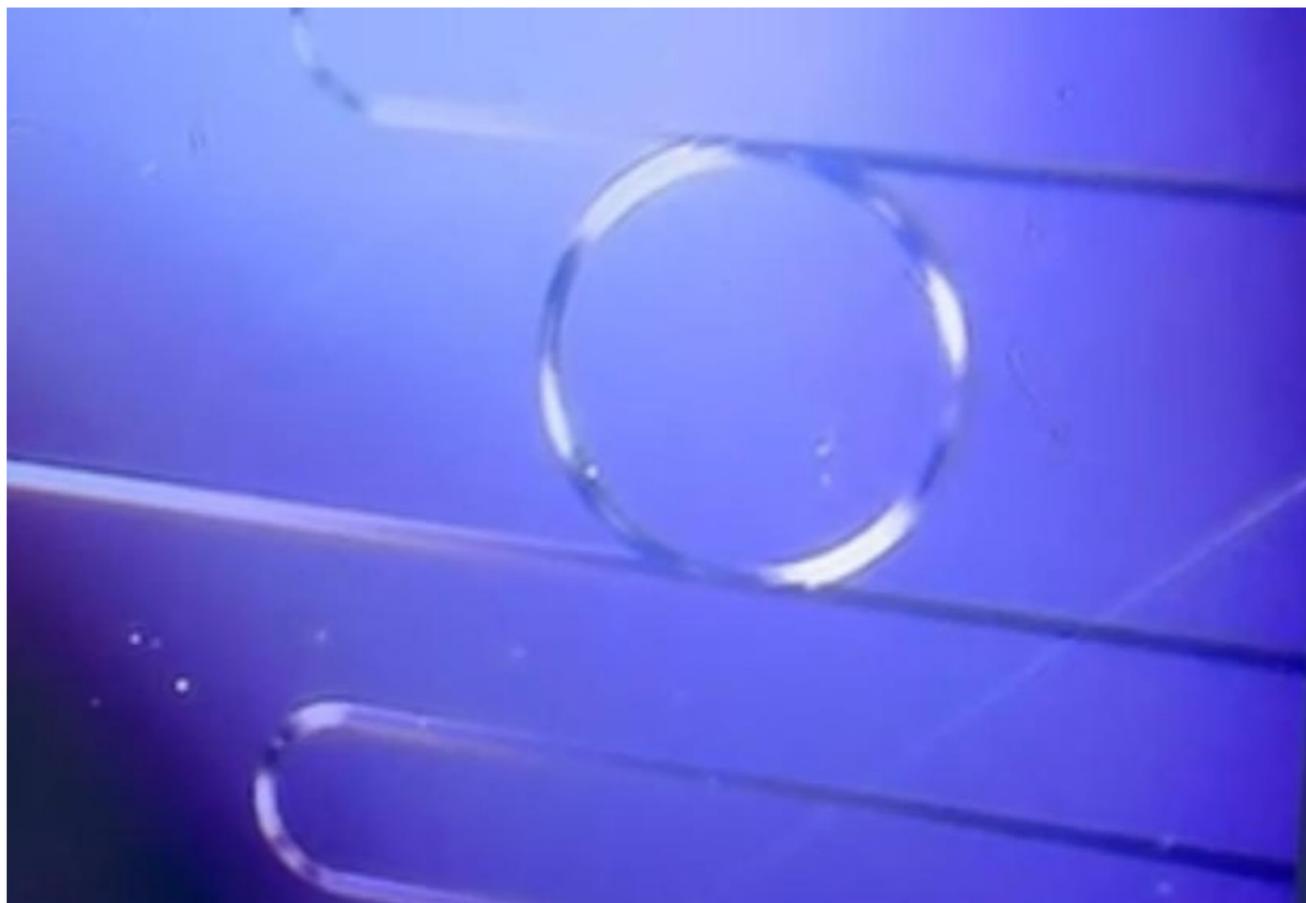


Figura 2. Diseño de un resonador de anillo.

En el CIO, realizamos investigación relacionada con la mecánica cuántica tanto en aspectos de fundamentos como de aplicaciones. En particular, una de las áreas de investigación del CIO, enfocada a estos temas está conformada por el grupo de Óptica y Fotónica Cuántica, el cual está formado por el Dr. Roberto Ramírez Alarcón, quien realiza trabajo experimental y es líder del Laboratorio de Fotónica Cuántica y la

Dra. Laura Rosales Zárate, quien se dedica a realizar trabajo teórico. En este grupo en particular investigamos, de manera teórica y experimental, enredamiento en sistemas de fotones o sistemas multipartitas, diseños y caracterización de chips o resonadores de anillo como se muestra en la figura 2, y la evolución en el tiempo de un estado no clásico en canales de luz micrométricos llamados guías de onda, lo cual se ha

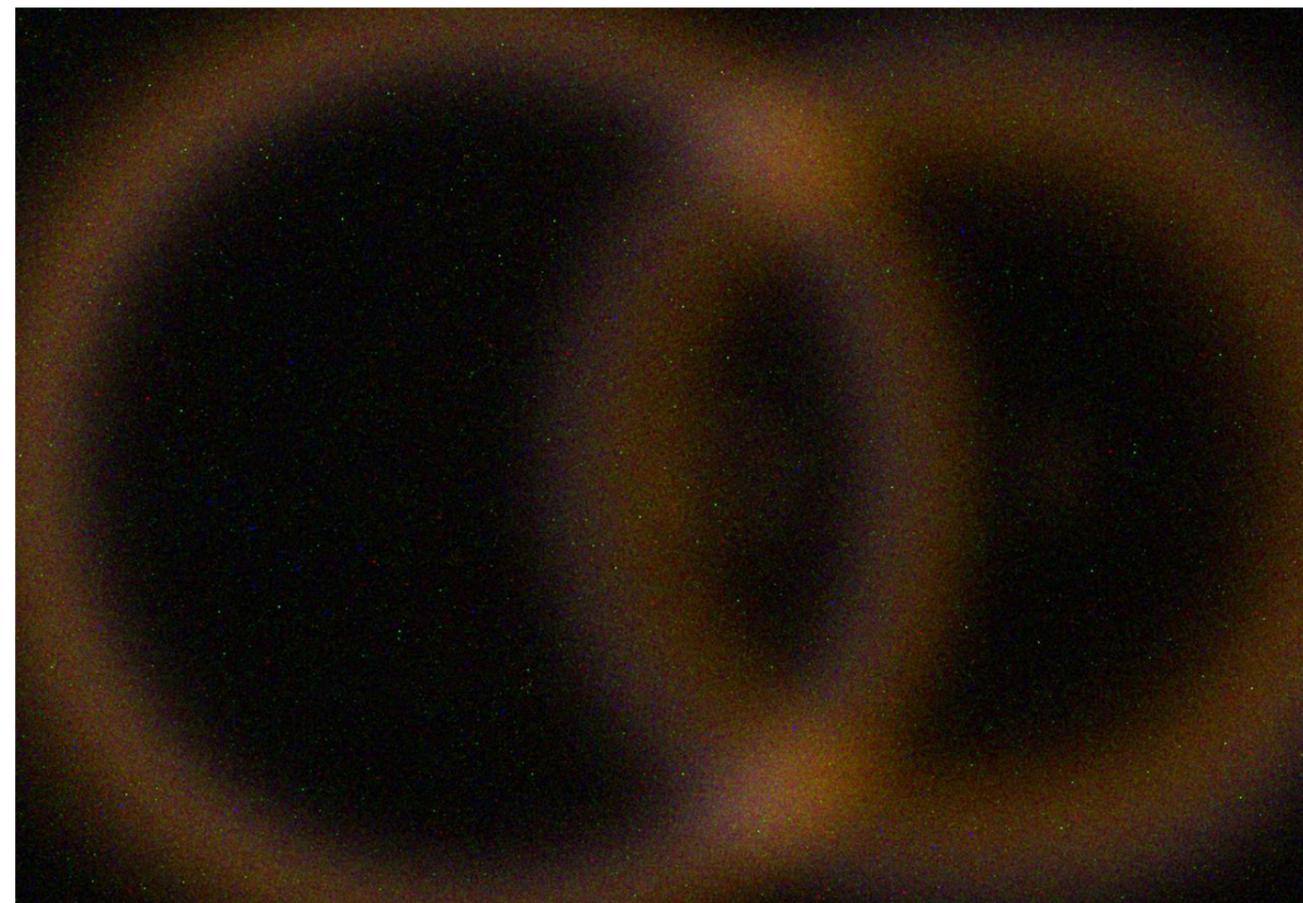


Figura 3. Fotones enredados creados en el Laboratorio de Fotónica Cuántica.

hecho utilizando la mecánica cuántica matricial. El enredamiento o entrelazamiento implica que, en un sistema compuesto, el estado de uno de los subsistemas no puede ser descrito de manera independiente del otro, y es una característica inherentemente cuántica que no tiene ninguna contraparte clásica. En la figura 3, se muestra un par de fotones enredados creados en el Laboratorio de Fotónica Cuántica.

[1] M. Born, *Über Quantenmechanik*, Z. Phys. 26, 379–395 (1924).

[2] W. Heisenberg, *Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen*, Zeitschrift für Physik 33, 879 (1925).

[3] M. Born and P. Jordan, *Zur Quantenmechanik*. Zeitschrift für Physik 34, 858. (1925).

[4] M. Born, W. Heisenberg, and P. Jordan, *Zur Quantenmechanik II*, Zeitschrift für Physik 35, 557 (1926).

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1954/born/biographical/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1932/heisenberg/biographical/>

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Pascual_Jordan_1920s.jpg

LUZ EN CÁMARA LENTA: ¿CÓMO CAPTURAMOS LO QUE NO PODEMOS VER?

Si tratáramos de fotografiar el aleteo de un colibrí con una cámara común y corriente, lo más probable es que solo tomemos una imagen borrosa. Sin embargo, con una cámara de alta velocidad, podríamos tomar el instante exacto en el que sus alas se desplazan en el aire, tal como se muestra en la Figura 1.

Con los láseres pulsados ultrarrápidos sucede algo similar, estos permiten “congelar” fenómenos que ocurren en tiempos tan pequeños que resultan imperceptibles para el ojo humano. Trabajar con estos destellos de luz, que duran apenas femtosegundos (una milbillonésima parte de un segundo), es el reto diario de algunos de nosotros, investigadores jóvenes del CIO.

Somos parte de una nueva generación de científicos que estudia cómo manipular la luz con alta precisión. Por supuesto, nuestro trabajo no surge de la nada. Nos apoyamos en descubrimientos que han revolucionado la óptica y que incluso han sido reconocidos con premios Nobel. En 1999, Ahmed Zewail recibió el Premio Nobel de Química por desarrollar una técnica que permite observar cómo los átomos se mueven durante una reacción química, algo que antes era imposible de medir. En 2005, John L. Hall y Theodor W. Hänsch lo ganaron en Física por encontrar métodos más precisos de medir el tiempo con un láser. Hace no mucho, en 2018, Donna Strickland y Gérard Mourou fueron



Figura 1. Colibrí en pleno vuelo [5].

premiados por una técnica que amplifica pulsos de luz, lo que ha permitido aplicaciones como la cirugía ocular con láser y la fabricación de materiales de alta precisión, Figura 2 y 3.

Algunos jóvenes investigadores del CIO estamos llevando estos avances un poco más lejos. En los laboratorios, trabajamos con el fenómeno de amarre de modos [1], que organiza la luz dentro de un láser de manera que se formen pulsos cortos. Para comprenderlo, imaginemos que tratamos de coordinar a un grupo de ciclistas en una pista para que pedaleen en perfecta sincronización. Si uno se adelanta o se retrasa, el grupo se desorganiza. Algo similar ocurre dentro del láser pulsado por amarre

de modos, la luz debe moverse de manera sincronizada para generar pulsos estables y sincronizados. Para lograrlo, utilizamos efectos ópticos como la rotación no lineal de la polarización, que actúa como un filtro, permitiendo que configuraciones pulsadas de luz estables se sincronicen [2].

El desafío no solo es generar los pulsos, sino también desarrollar herramientas que nos permitan “ver” cómo evolucionan en el tiempo. ¿Cómo podemos analizar algo que ocurre en una escala de tiempo millones de veces más rápida que un parpadeo? Utilizando técnicas como los mapeos temporales, una especie de “cámara” ultrarrápida para la luz láser pulsada. Gracias a ellos,

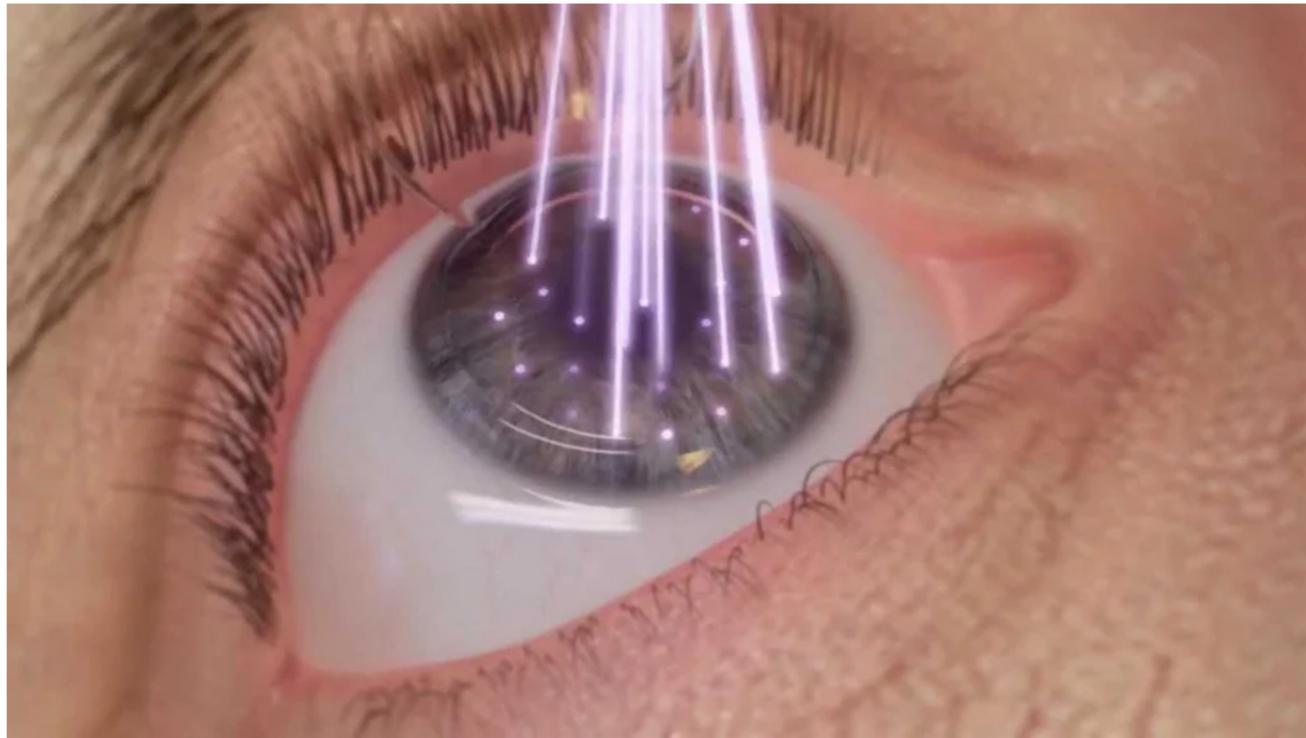


Figura 2. Procedimiento de cirugía ocular con láser [6].

podemos capturar la evolución de los pulsos de luz en tiempos tan cortos que ninguna cámara convencional, u otra técnica podría registrar, revelando características como estructuras, patrones y comportamientos que antes no se podían percibir. Como el superhéroe Flash, ralentizando el tiempo para observar cada detalle de un destello de luz en movimiento, cuadro por cuadro, permitiéndonos entender su dinámica y optimizar su control.

Pero, ¿por qué esto es importante? Estas tecnologías están transformando el mundo de maneras que quizás no imaginamos, al menos yo no cuando era niño. Los pulsos permiten transmitir información a velocidades superrápidas con po-

cas pérdidas, haciendo posible el internet de alta velocidad y las redes cuánticas del futuro. Ayudan a obtener imágenes más detalladas de los tejidos humanos, facilitando diagnósticos médicos más certeros y tratamientos menos invasivos [3]. En inteligencia artificial, la forma en que la luz se modula en estos sistemas láser ha inspirado nuevos modelos de computación que consumen menos energía y procesan información de manera más eficiente [4].

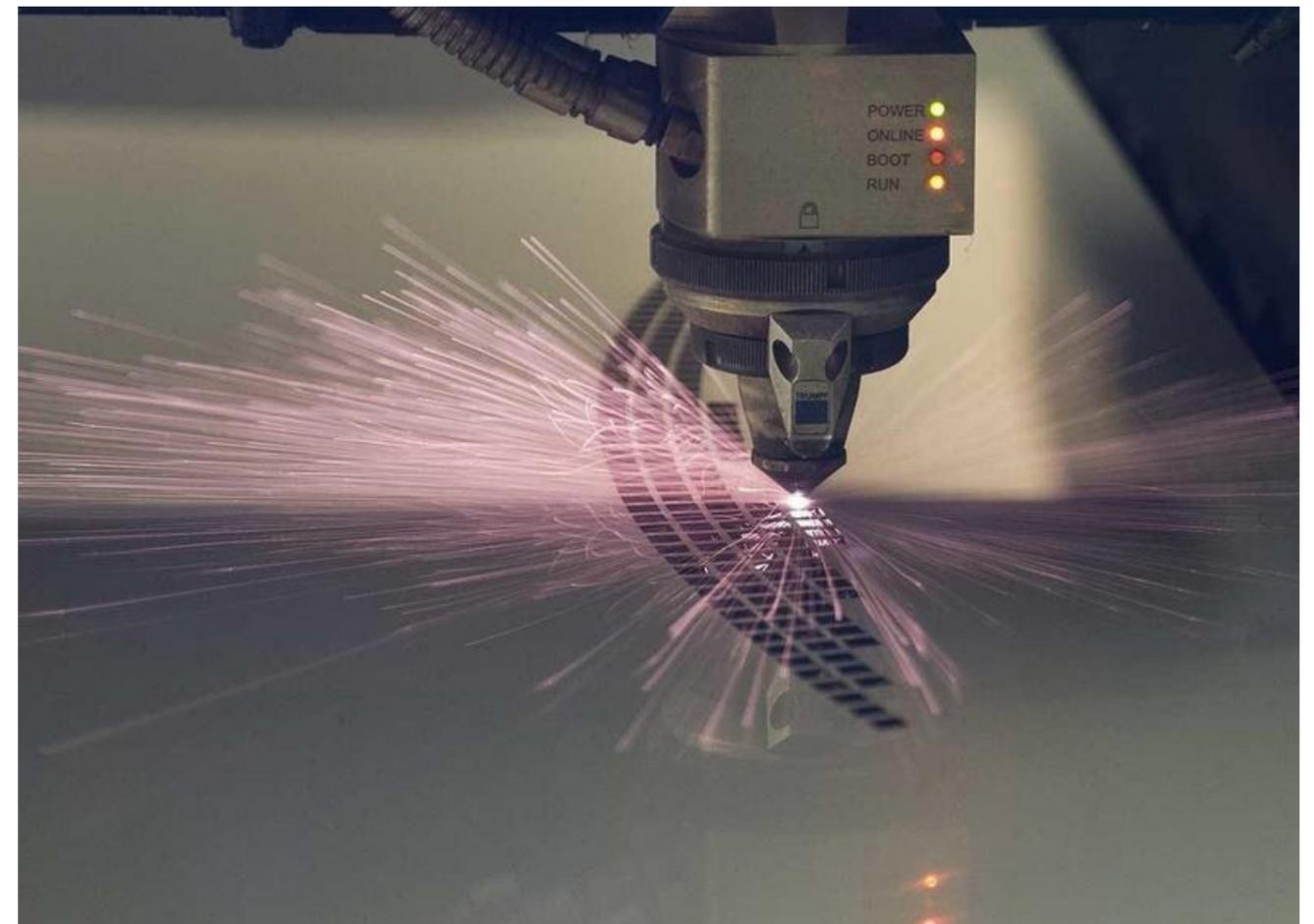
Lo más valioso de esta investigación es que la impulsamos científicos que creemos en el poder del conocimiento para transformar el mundo. En el CIO no solo exploramos los límites de la luz y

el tiempo, sino que también asumimos la responsabilidad de compartir estos avances con la sociedad. La ciencia no debe permanecer en los laboratorios; debe ser accesible, comprensible y útil para todos. Así como una supercámara nos hace ver detalles que antes pasaban desapercibidos, el estudio de los pulsos de luz ultracortos nos ayuda a entender y mejorar la tecnología que usamos en nuestra vida cotidiana. ■

Referencias:

1. Haus, H. A. (2000). Mode-locking of lasers. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 6(6), 1173-1185. <https://doi.org/10.1109/2944.902165>
2. Agrawal, G. P. (2013). *Nonlinear fiber optics*. Academic Press.
3. Tuchin, V. V. (2015). *Tissue optics*. Bellingham, WA, USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE).
4. Wei, Y., Gui, L., Lin, F., Dan, Y., Zhang, T., Sun, X., ... & Xu, K. (2021, November). A wavelength tunable optical neuron based on a fiber laser. In *2021 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)* (pp. 825-833). IEEE. 10.1109/PIERS53385.2021.9694855
5. EcoPortal. (s.f.). El colibrí y su temperatura [Fotografía]. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://www.ecoport.com/temas-especiales/animales/el-colibri-su-temperatura/>
6. Videre. (s.f.). Cirugía láser ocular [Imagen]. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://blog.videre.mx/blog/tag/cirurg%C3%ADa-laser>
7. Ferro Industrial. (s.f.). ¿Qué compone un láser de fibra? [Imagen]. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://industrialferro.com.mx/que-compone-un-laser-de-fibra/>

Figura 3. Láser de fibra óptica realizando un corte industrial [7].





Computación cuántica.
Imagen: Vecteezy.

MONSERRAT DEL CARMEN ALONSO MURIAS

DE LA ILUMINACIÓN AL DESARROLLO DE SENSORES DE FIBRA ÓPTICA

En los museos de todo el mundo se resguardan y exponen miles de obras de arte, creadas (entre otras cosas) para transmitir mensajes al espectador a través de sensaciones y emociones. Visitando el Museo Guggenheim Bilbao uno queda perplejo por el diseño innovador del edificio; en su interior podemos encontrarnos con espacios y rincones asombrosos. Una escena en particular situada encima de los visitantes llama la atención. Si observamos esta escena (Figura 1), parece que la luz va resaltando la forma caprichosa de una estructura bastante llama-

tiva. Este aprovechamiento de los fenómenos ópticos para generar arte no es nuevo. Esta forma de iluminación tan ingeniosa y vanguardista nos lleva a pensar rápidamente en las fibras ópticas (Figura 2) que con dimensiones de apenas unos micrómetros de diámetro tienen la capacidad de confinar y transmitir señales en forma de luz a altas velocidades sobre distancias de varios kilómetros; estas son cualidades que les han permitido tomar un rol muy importante en el campo de las telecomunicaciones y que les han dado una enorme fama.

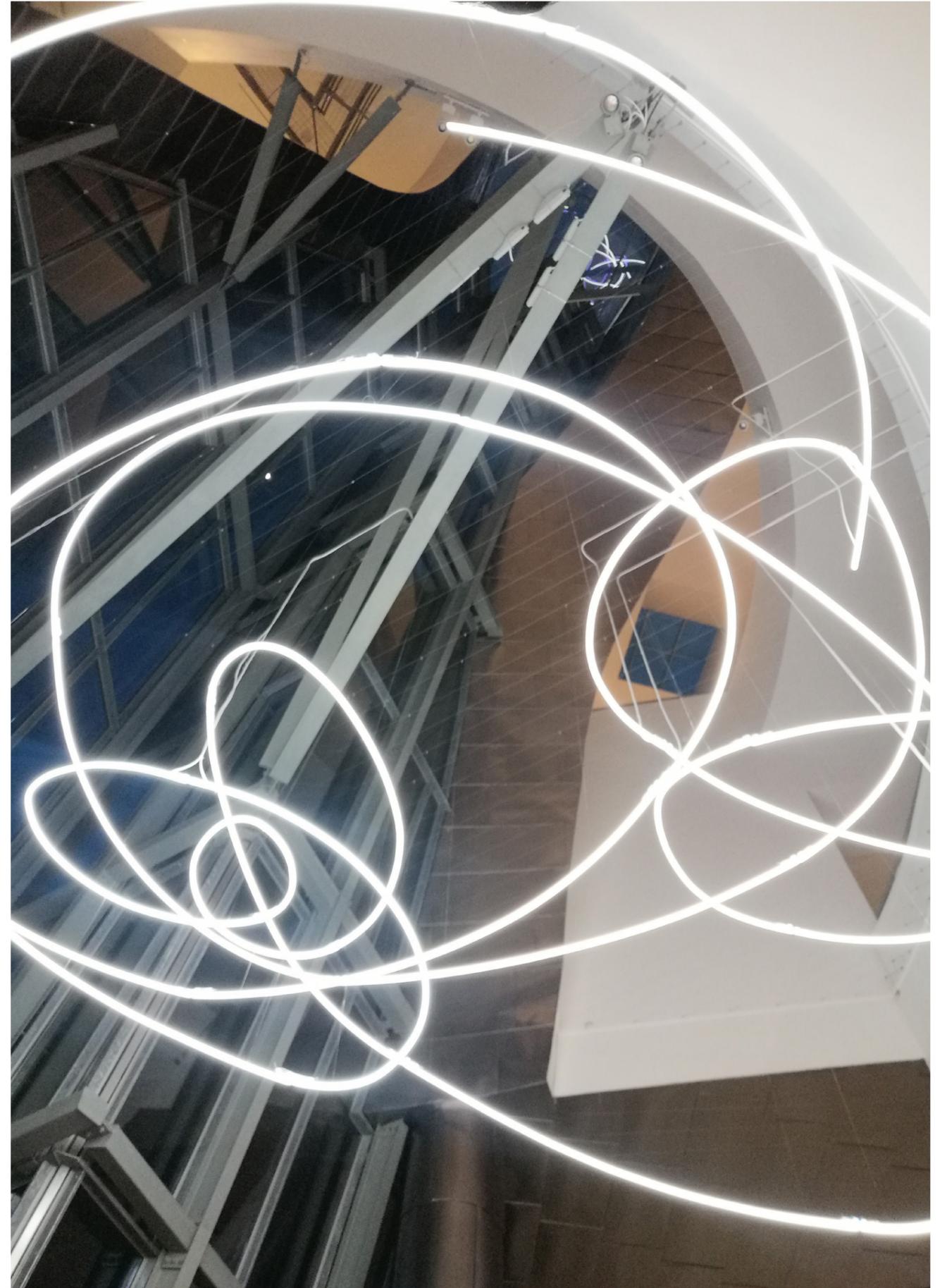


Figura 1. Escena tomada en el Museo Guggenheim Bilbao. Sitio web: <https://tickets.guggenheim-bilbao.eus/es>



Figura 2. Representación de una fibra óptica convencional.

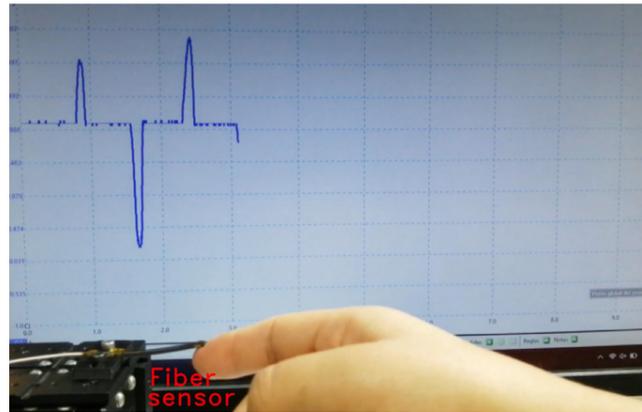


Figura 3. Sensor basado en una fibra multinúcleo para la detección de contacto y su dirección (colaboración con el Grupo de Fotónica Aplicada de la Universidad del País Vasco).

Estas pequeñas hebras, de vidrio óptico, por las que se envía una ingente cantidad de información han permitido también el desarrollo de la tecnología de los sensores de fibra óptica que en la actualidad tiene una enorme importancia en la industria, la medicina y la ciencia. Para las telecomunicaciones, es importante que la luz viaje de forma segura hasta su destino sin ninguna alteración. Pero en los sensores de fibra óptica, se busca que los parámetros de la luz (intensidad, longitud de onda, fase, o polarización) sean modificados cuando son sometidos a una determinada perturbación externa.

Las fibras ópticas son filamentos muy finos, que con un diámetro de 125 micrómetros pueden perderse de vista fácilmente; la manipulación requiere de cierto entrenamiento que inhíba el temblor de nuestros dedos cuando la sujetamos por primera vez. Trabajar con fibras ópticas es para mí todo un arte, y en el Grupo de Sensores de Fibra Óptica y Microdispositivos (GSOM) del CIO se ha conseguido un buen nivel de control y pre-

cisión en estos más de 20 años, en los que se han desarrollado diversos dispositivos de fibra óptica con los que se han podido medir: la curvatura a la que se somete un lámina, el nivel de un líquido en un contenedor, la temperatura de un objeto o ambiente, la pureza de un líquido, la distancia a la que se encuentra un objeto o la frecuencia a la que vibra, el espesor de una pieza transparente u opaca, el esfuerzo al que es sometido un objeto por fuerzas de tracción o compresión, e incluso evaluar el perfil de superficies.

Para el desarrollo de estos dispositivos se ha tenido que modificar la geometría de la fibra óptica o aprender a fabricar nuevas estructuras mediante la fusión de varias secciones de distintos tipos de fibras ópticas. También se ha trabajado para desarrollar metodologías que nos permitan "decorar" la superficie de una fibra óptica con películas delgadas de metales u otros materiales, como polímeros, los cuales han mejorado la respuesta de nuestras fibras ópticas sensoras.

En los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo por realizar un trabajo colaborativo con grupos de investigación de otras instituciones nacionales e internacionales. De estas colaboraciones, que nos han dado acceso a una serie de fibras ópticas especiales que ellos diseñan y fabrican, hemos logrado mejorar el rango de medición y resolución de los sensores de distancia. También se han desarrollado sensores de curvatura más novedosos y avanzados que tienen la capacidad de distinguir la dirección en la que se aplica una fuerza de contacto (Figura 3) que produce el doblamiento. Por otro lado, con la colaboración de especialistas en cien-

cias de los materiales se ha desarrollado una técnica que permite la detección de agentes contaminantes en líquidos (Figura 4), lo que podría tener un impacto importante en los esfuerzos actuales dedicados al cuidado de la salud. De este ejercicio de colaboración se han tenido resultados y experiencias bastantes gratas, que esperamos mantener para seguir innovando y desarrollando nuevos métodos de medición por medio de fibra óptica.

"Las señales de luz que se propagan en las fibras ópticas simulan diminutas hojuelas metálicas de confeti". J. Hecht, del libro City of light: The story of Fiber Optics.

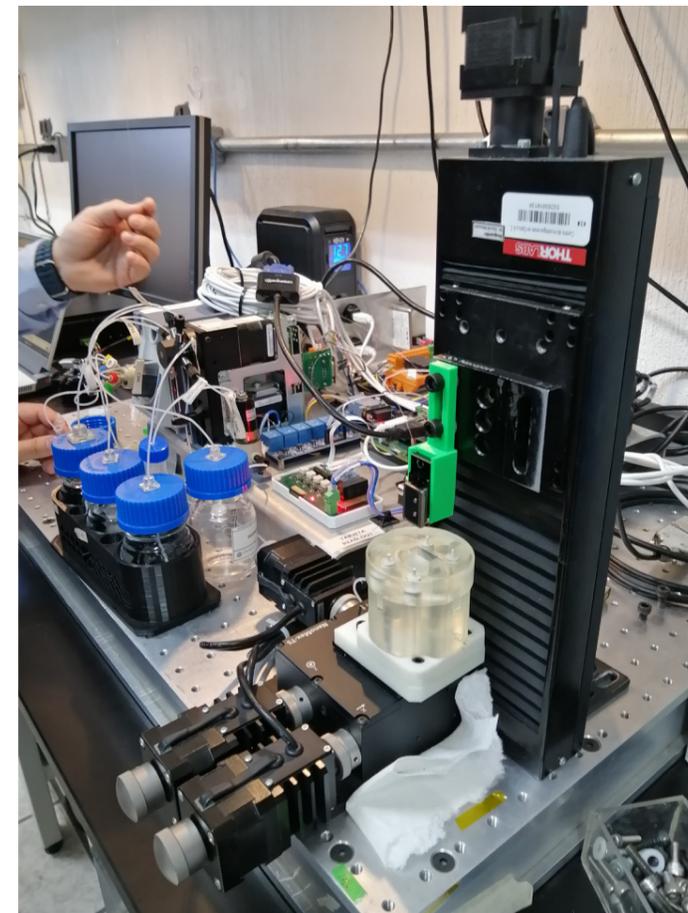


Figura 4. Sistema para la detección de pesticidas a través de una punta de fibra óptica alineada a microestructuras en forma de cantiléver (colaboración con el Dr. David Fernández Benavides-CIDESI).

NORBERTO ARZATE PLATA

TECNOLOGÍA CUÁNTICA DE LOS SEMICONDUCTORES

Una de las tecnologías basadas en la mecánica cuántica que ha tenido sin duda un gran desarrollo y que revolucionó el mundo de la electrónica es la tecnología de semiconductores. En las siguientes líneas se describirá brevemente a lo que nos referimos al hablar de esta tecnología a través de su importancia y origen. Se explicará entonces qué es un transistor y un semiconductor. Finalmente, se describirán de forma general los estudios de óptica de semiconductores que se realizan en el CIO.

La importancia de la tecnología de semiconductores se visualiza en su presencia en gran variedad de dispositivos electrónicos modernos. Por ejemplo, en computadoras, teléfonos inteligentes, tabletas, sistemas de almacenamiento de

datos, pantallas de TV, sistemas de monitoreo para la salud, sistemas de manufactura y automatización, sistemas automotrices, etc. La característica de los semiconductores que ha permitido que todos estos aparatos electrónicos sean ahora muy compactos es su escala física, la cual es del orden de nanómetros (nm), es decir de dimensiones de una millonésima de milímetro.

El inicio de los semiconductores está marcado tanto por los estudios de sus fundamentos físicos como por la invención del transistor (ver Figura 1), ambos realizados por William Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain, quienes fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 1956 [1]. La llegada de los transistores en la

década de los cincuenta permitió el desarrollo de nuevos dispositivos con escalas más pequeñas, reemplazando el uso de los bulbos de vacío. Además, en 1958, Jack S. Kilby y Robert Noyce de manera independiente mostraron que muchos transistores, resistores y capacitores podían agruparse en una tarjeta u oblea de material semiconductor, inventado así el circuito integrado (CI). Cabe resaltar que a Kilby se le otorgó el Premio Nobel de Física en el 2000 en conjunto con Z. I. Alferov y H. Kroemer, quienes desarrollaron estructuras usando dos o más materiales semiconductores [2]. A partir de su invención, el CI se convirtió en el componente

básico de todo aparato electrónico (ver Figura 2). En 1971, Intel [3] marcó una nueva era en el desarrollo de los CIs, lanzando al mercado el primer microprocesador Intel® 4004 programable de uso general.

Para tener idea de las dimensiones del dispositivo, éste se construyó en una oblea de 50 mm de diámetro aproximadamente, la cual contenía 2300 transistores. En comparación con los procesadores actuales, por ejemplo con la tecnología de transistores llamados de 22 nm de Intel, se pueden contener del orden de mil millones de transistores. Cabe señalar que el número de transistores

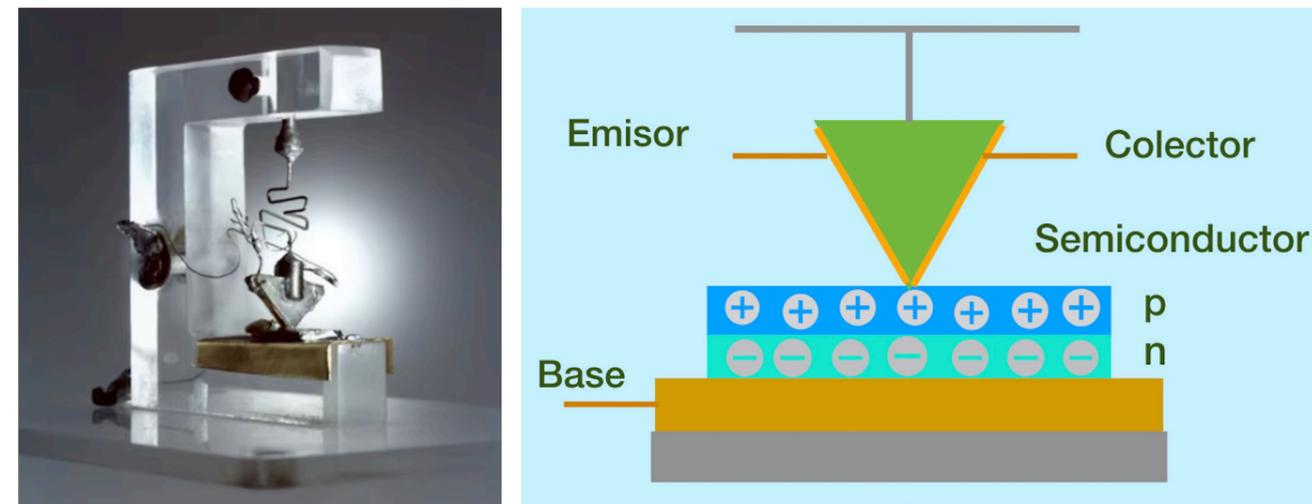


Figura 1. Imagen del primer transistor (de contacto) [5] y su respectivo esquema. El transistor consistía en tres terminales: emisor, colector y base, que conectan con el semiconductor (de germanio), el cual contiene dos regiones, de tipo p y tipo n, que contienen mayoría de huecos y electrones, respectivamente.

que se tienen en un CI ha seguido la ley de Moore [3] que dice que el número de componentes que se pueden incorporar en un CI se duplica cada año. Esta ley está llegando a su límite a medida que las dimensiones de los transistores pasan del orden de nanómetros al de angstroms, es decir al de una décima parte de un nanómetro, llegando a la escala de las distancias entre los átomos [3].

¿Qué es un transistor y un semiconductor? El transistor es un dispositivo electrónico construido con un material semiconductor, como silicio (Si) y germanio (Ge), compuesto por tres terminales de conexión, cuyo funcionamiento es amplificar o conmutar señales eléctricas. Mientras que el semiconductor es un material cuya conductividad eléctrica o medida del movimiento de los

electrones en el material cambia con la incorporación de impurezas. Por ejemplo, si al silicio puro se le incorporan impurezas entonces se le añaden electrones con carga negativa; con otro tipo de impurezas podrían removerse electrones para formar huecos con carga positiva. En ambos casos, la conductividad del material se incrementa.

Los fundamentos teóricos de los semiconductores se basan en la teoría atómica o de la mecánica cuántica y se encuentran en los reportes de A. H. Wilson [4] relacionados con el movimiento de electrones en una red cristalina. La descripción física utiliza el modelo de teoría de bandas de energía de los electrones y describe la conducción eléctrica en términos del exceso de portadores de carga, electrones o huecos.

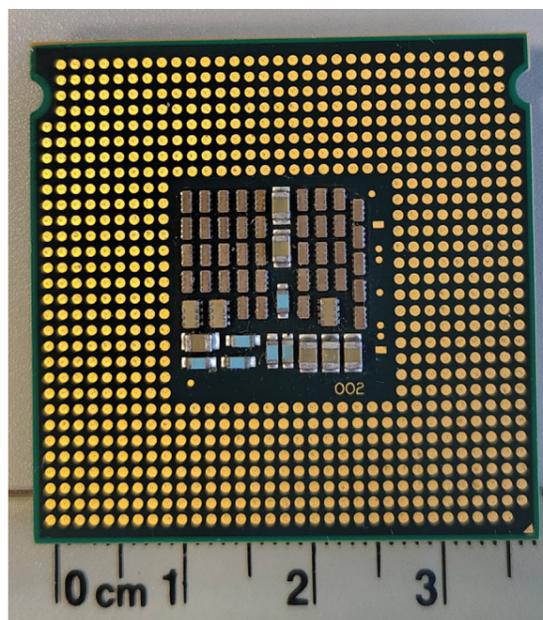


Figura 2. Procesador moderno Intel Xeon, que contiene aproximadamente 500 millones de transistores.

En el CIO se han estudiado teóricamente diferentes semiconductores; por ejemplo: silicio, arseniuro de galio, germanio, y materiales bidimensionales arreglados en capas atómicas como el fosforeno y disulfuro de molibdeno. Se ha estudiado su respuesta óptica, es decir de cómo el material semiconductor responde ante la incidencia de luz de cierto color. Con base en la teoría cuántica de la interacción de luz con los electrones del material, se calcula la gráfica de absorción que indica, por ejemplo, el color de luz en el que el material tiene una mayor absorción llevando electrones a la banda de conducción (ver Figura 3). Los materiales bidimensionales son una alternativa viable para construir una nueva generación de transistores de escala menor, que conserva óptimas propiedades

eléctricas y permite una integración heterogénea. *“There is no digital without chips”* (no hay tecnología digital sin los chips), dice la Presidenta de la Comisión Europea, Ursula von der Leyen; frase que resalta la gran importancia actual de la tecnología cuántica de los semiconductores. ▀

[1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/> Consultado el 14 de marzo de 2025.

[2] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2000/summary/> Consultado el 14 de marzo de 2025.

[3] <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/virtual-vault.html>, <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-story-of-intel-4004.html> Consultado el 14 de marzo de 2025.

[4] A. H. Wilson, *The theory of electronic semi-conductors*, Proc. R. Soc. Lond. A, 133, 458-491 (1931); *The theory of electronic semi-conductors II*, Proc. R. Soc. Lond. A, 134, 277-287 (1931).

[5] Figura tomada de <https://www.nokia.com/we-are-nokia/our-history> Consultado el 14 de marzo de 2025.

[6] J. J. Nava Soto, *Optical properties of blue phosphorene considering many-body effects*, tesis de maestría, CIO (2023).

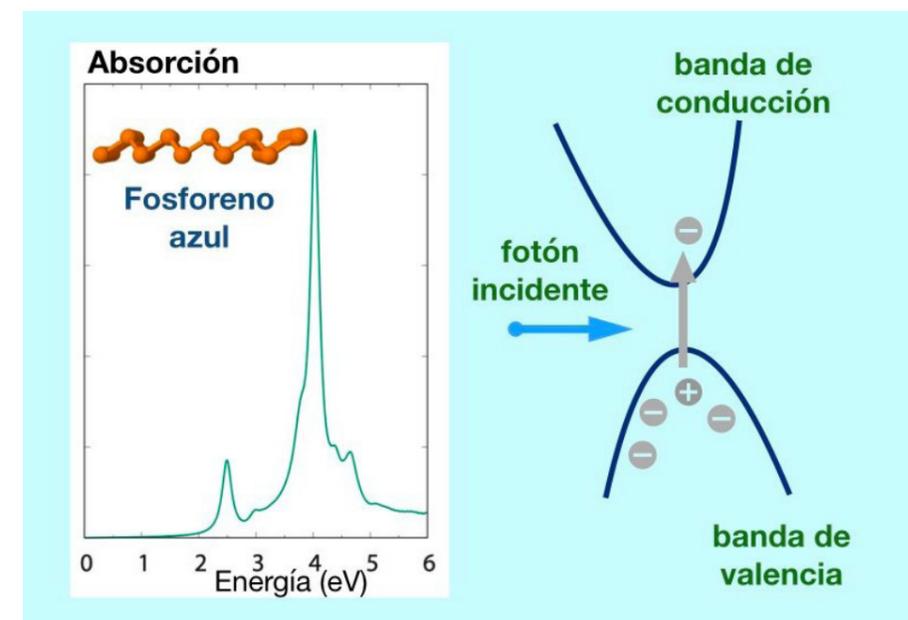


Figura 3. Gráfica de absorción del fosforeno azul [6] y esquema cuántico del proceso: un fotón de luz de energía igual o mayor a la diferencia de energía entre las bandas de valencia y conducción se absorbe, llevando un electrón a la banda de conducción y generando un hueco en la banda de valencia.

RAQUEL GARZA HERNÁNDEZ

HACIA BATERÍAS MÁS EFICIENTES: LA INNOVADORA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN QUE REVELARÁ SUS SECRETOS

Los sistemas de almacenamiento de energía, particularmente las baterías de litio son pieza clave en la fabricación de teléfonos, ordenadores portátiles y otros dispositivos electrónicos. Las baterías están conformadas principalmente por un cátodo, un ánodo y un electrolito. Las baterías de estado sólido prometen ser la base para la generación de electromovilidad en un futuro cercano en México. Por ello, es primordial el estudio de este tipo de

baterías para explorar, comprender e identificar los factores cruciales que promuevan un mejor desempeño eléctrico.

Actualmente, la caracterización de materiales que se realiza para investigar y desarrollar nuevas baterías se basa en métodos experimentales convencionales, como por ejemplo, métodos electroquímicos. Sin embargo, estos no consideran valores característicos relacionados con las bandas



Baterías/ Imagen: Freepik.

de energía de un sólido. El estudiarlos permitiría conocer y monitorear cambios drásticos en los estados electrónicos de los componentes de una batería de estado sólido durante la carga y descarga, como el desdoblamiento de la banda interfacial, determinación de la ventana del potencial del electrolito y ubicación del potencial en alto voltaje.

Una nueva metodología de caracterización se ha implementado dentro del Grupo de Inves-

tigación de Almacenamiento de Energía del CIO, para analizar baterías de película delgada de estado sólido a través de la técnica de Espectroscopia Fotoelectrónica de rayos X (XPS). Esta técnica se basa en el efecto fotoeléctrico en donde fotones de rayos X inciden en la superficie de la muestra y posteriormente electrones cercanos al núcleo son expulsados del átomo. Estos electrones presentan una energía cinética característica que permite

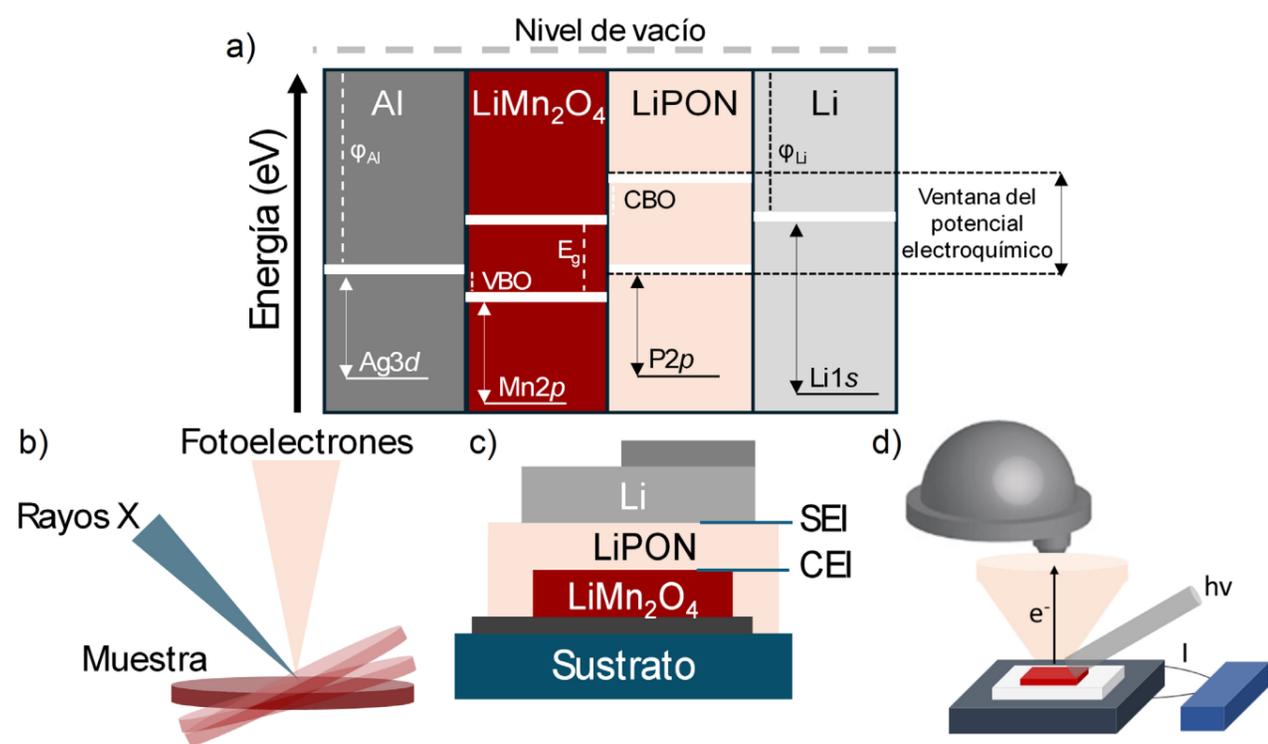


Figura 1. a) Esquema del diagrama de bandas de energía electrónica, b) representación del modo ángulo resuelto-XPS, c) microbatería de estado sólido y d) bosquejo de medición in-situ de una batería en operación con XPS.

identificar el entorno químico de cada uno de los átomos. Con ello, es posible conocer los elementos, estados de oxidación y la composición química de los materiales. La metodología se basa en analizar la estructura electrónica de bandas, las interfases electrodo-electrolito y análisis in-situ de la batería en operación (carga y descarga). Adicionalmente, XPS es una técnica totalmente superficial, ya que la información que proviene de la muestra solamente abarca los primeros 10 nanómetros de la superficie (un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro, es decir, 10^{-9} metros).

El diseño y configuración de baterías en estado sólido considerando la estructura de bandas

permite encontrar la arquitectura perfecta para que los materiales que componen una batería promuevan la obtención de un mayor voltaje, desde un punto de vista electrónico. La ventana del potencial electroquímico puede ser estimada mediante la diferencia entre el mínimo de la banda de conducción y el máximo de la banda de valencia del electrolito sólido (Figura 1a). Por otra parte, el desempeño electroquímico de una batería puede verse afectado por la formación de interfases entre el electrolito y los electrodos.

La formación de la interfase entre el electrolito sólido y el ánodo (SEI) y aquella formada entre el electrolito sólido y el cátodo (CEI) provo-

can resistencias adicionales al circuito eléctrico de la batería. En este sentido, se puede conocer qué es lo que ocurre en estas interfases a través de XPS en su modalidad de ángulo resuelto (Figura 1 b-c). Esta modalidad permite conocer la composición química de los primeros 3 nm hasta 10 nm de la superficie a través de girar la muestra. Con ello, se puede establecer qué tipo de barrera química se está formando.

Finalmente, el analizar una microbatería de manera in-situ durante la carga y la descarga permite monitorear las reacciones químicas que suceden en el ánodo y cátodo en tiempo real (Figura 1 d). Sin duda, esto proporciona valiosa información

que puede ayudar a estudiar mecanismos de reacción y difusión que permitan relacionarlos con el proceso de deterioro de la batería.

Esta metodología implementada proporciona una nueva forma de caracterizar microbaterías desde el punto de vista electrónico, haciendo uso de una técnica potencial para el estudio de superficies en materiales (Figura 2).

Referencias

1. Popovic, J. The importance of electrode interfaces and interphases for rechargeable metal batteries. *Nat Commun* 12, 6240 (2021)
2. Improving the fundamental understanding of batteries via operando measurements. *Nat Commun* 13, 4723 (2022)

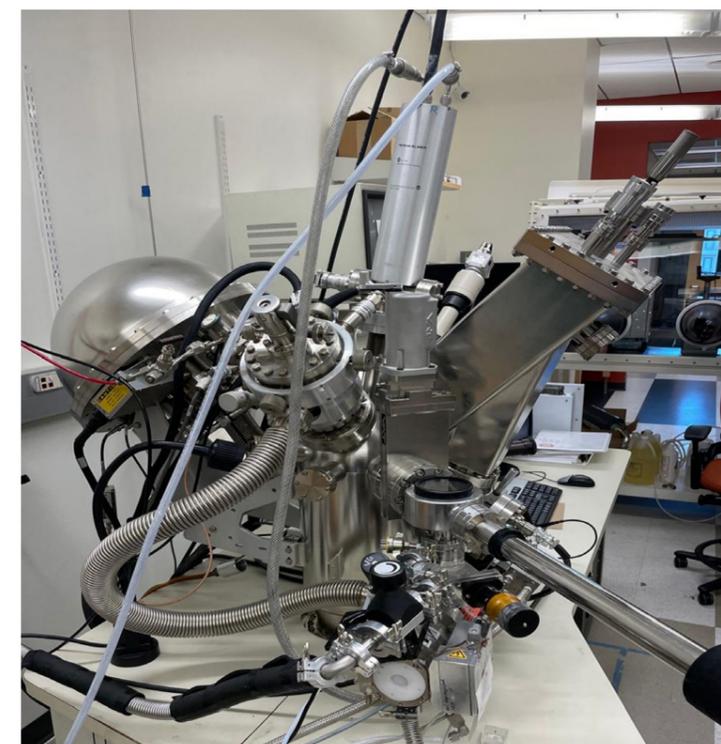


Figura 2. Espectrómetro de rayos X



*Bola de plasma.
Imagen: Freepik.*

RESEÑAS CIENTÍFICAS

JORGE MAURICIO FLORES MORENO ■



1. AUTORES

Dante Urbietta-Maldonado (Estudiante CIO), Juan Manuel S. Durán-Gómez (Estudiante CIO), Roberto Ramírez-Alarcón (CIO) y Laura E. C. Rosales-Zárate (CIO).

TÍTULO

"Dynamics of a Schrödinger cat state in a photonic waveguide array."

"Dinámica del fenómeno del gato de Schrödinger en un arreglo de guía de onda fotónica."

REVISTA

Journal of the Optical Society of America B.

EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En este artículo de investigación, los autores estudian la dinámica de la condición del gato de Schrödinger (Schrödinger cat state, SCS) en una red fotónica en donde dos tipos de funciones acopladas entre guías de onda, son consideradas: un acoplamiento constante y un acoplamiento parabólico. Su aplicación tiene consecuencias en la integración de dispositivos cuánticos fotónicos, que permiten reducir la escala de experimentos de laboratorio a nivel de chips (circuitos opto-integrados). Para este fin, en el campo de la fotónica cuántica, es de vital importancia estudiar la propagación de estados no clásicos (fenómenos no lineales) de la luz a través de redes fotónicas. Dentro de los estudios realizados a estos estados no clásicos de la luz, se encuentran los de la condición o estado del gato de Schrödinger (SCS), que se refiere a un estado cuántico compuesto de la superposición (adición) de otros dos estados de aspectos contrarios en sus propiedades cuánticas. El SCS resulta de una generalización del experimento cuántico clásico de la paradoja del gato de Schrödinger, utilizado para explicar cualquier superposición cuántica de dos estados macroscópicos diferentes o "cat state". Esta publicación es un ejemplo de la utilidad de los conceptos de la mecánica cuántica enfocada a la integración de dispositivos cuánticos fotónicos, un tema por demás oportuno en este año que fue declarado por las Naciones Unidas (ONU) y apoyada por la UNESCO como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, en celebración de los 100 años de la mecánica cuántica.

PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.1364/JOSAB.542282>

2. AUTOR

M. A. Meneses-Nava (CIO).

TÍTULO

"Automatic spectral fitting for LIBS and Raman spectra by boosted deconvolution method."

"Método de deconvolución mejorado para ajustar automáticamente espectros LIBS y Raman."

REVISTA

Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems.

EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En este artículo de investigación, el autor introduce un análisis espectral conocido como ajuste por deconvolución mejorada (BDF, por sus siglas en inglés), lo que ayuda a procesar datos espectroscópicos. La espectroscopía es una técnica que se utiliza para conocer ciertas propiedades de objetos o materia a partir de la cantidad de luz que absorbe o emite al ser iluminada por radiación electromagnética, es decir, el objeto descompone la luz y, mediante técnicas espectroscópicas, es posible medir las diferentes longitudes de onda de luz visible y no visible que son absorbidas, emitidas o dispersadas por él. De esta forma, es posible caracterizar, conocer o definir la composición del objeto o material que se estudia de esta manera. También son campos de estudio de la espectroscopía la fluorescencia, fosforescencia y quimioluminiscencia de materiales. Esta información es procesada para obtener datos relevantes del objeto bajo estudio, en forma de una gráfica que nos permite determinar la intensidad de señal absorbida, emitida o dispersada por el material a determinada frecuencia o longitud de onda. En el procesamiento de las señales espectrales, es posible incrementar la resolución espacial de esos datos, es decir, obtener más información sobre las longitudes de onda o frecuencias a las cuales ese material absorbe, emite o dispersa la luz. Para esto se utilizan modelos que ajustan los espectros y, entre ellos, se encuentran los métodos de deconvolución que es, precisamente, lo que aborda esta investigación.

PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2025.105334>

3. AUTORES

Isaías Moreno-Cruz (CIO Ags), Carlos Paredes-Orta (CIO Ags), Fernando Martell-Chávez (CIO-Ags) e Iván Salgado-Tránsito (CIO Ags).

TÍTULO

"Heliostat drift prediction model to improve heliostat position control in solar fields."

"Modelos predictivos para mejorar el control de la posición de heliostatos en campos solares."

REVISTA

Solar Energy.

EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En este artículo de investigación, los autores proponen un modelo predictivo para disminuir los errores o desviaciones al mover los heliostatos en su trayectoria para concentrar la luz solar en torres generadoras a partir de radiación emitida por el sol. Un heliostato es un espejo de grandes dimensiones que está diseñado para seguir la posición del sol y reflejar su luz hacia un punto determinado, en este caso, una torre central solar. Este tipo de sistemas (heliostatos-torres centrales) son conocidos como de energía solar concentrada y su finalidad es convertir la luz solar en calor. Los heliostatos están adaptados a un sistema electrónico de seguimiento para ajustar su posición respecto al punto máximo de radiación solar y el punto determinado a donde debe reflejarse esta radiación. La principal ventaja de los heliostatos es que pueden concentrar una gran cantidad de energía en un área muy pequeña. Por este motivo, cualquier error o desviación de la posición relativa del heliostato con respecto al punto donde debe concentrarse la radiación solar puede resultar en una ineficiente concentración de energía. En este trabajo, los investigadores del CIO unidad Aguascalientes, en su modelo propuesto consideran factores que desvían al heliostato, como: diferencias en ángulos, la inclinación del pedestal donde se fija el espejo y errores relativos a factores que afectan los planos de posicionamiento del sistema. Con este modelo propuesto los autores buscan proporcionar información para compensar errores en el posicionamiento del heliostato, logrando incrementar la eficiencia óptica del sistema y por tanto la eficiencia de la torre central generadora.

PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113323>





Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación



¿QUÉ ES UNA PATENTE?



Derecho exclusivo sobre una **invención** que impide su uso sin autorización

BENEFICIOS



PROTEGE LA INVERSIÓN

FOMENTA LA INNOVACIÓN

GENERA COMPETITIVIDAD



www.cio.mx

CIENCIA

BIBLIOTECA MARIJA STROJNIK POGACAR + CIO

Ciencia y Tecnología



SUSCRIPCIONES DIGITALES

ACTUALES CONTRATACIONES DE REVISTAS EN EL CIO



012345 678900



IOP Publishing

OPTICA Formerly OSA
Advancing Optics and Photonics Worldwide



SPIE. DIGITAL LIBRARY



W W . C I O . M X



2 0 2 5

8 DÍA INTERNACIONAL de las **Mujeres** marzo * 2025

Gobierno de México | **Mujeres**
Secretaría de las Mujeres



¿Sabías que estas son algunas conductas de acoso y hostigamiento sexual?



Preguntar sobre las preferencias o la vida sexual de una persona



Difundir rumores o información sobre la vida sexual de alguien



Ofrecer regalos, dar tratos preferenciales o expresar interés sexual directa o indirectamente



Hacer comentarios y burlas con connotación sexual sobre la apariencia de otra persona

Fuente: Artículo 5, fracción IV, del Código de Ética de la Administración Pública Federal.



Gobierno de México

Buen Gobierno

Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno



Declaración de Modificación Patrimonial y de Intereses **2025**

*Al cumplir con la declaración patrimonial, contribuyes
con la transparencia y el combate a la corrupción*

Orientación y asesoría **DeclaraNet**

Correo electrónico

declaranet@buengobierno.gob.mx

Atención telefónica

55 2000 3000 Ext. 8906

Módulo de atención

Av. Insurgentes Sur No. 1735,
colonia Guadalupe Inn, C.P. 01020,
alcaldía Álvaro Obregón, CDMX

Horarios de atención

Lunes a viernes
de 09:00 a 18:00 horas



Declaración de Modificación Patrimonial y de Intereses **2025**

*Al cumplir con la declaración patrimonial, contribuyes
con la transparencia y el combate a la corrupción*

¿No recuerdas o perdiste tu contraseña?

Consulta la guía

Para la recuperación
de **contraseña del
sistema**



Buen Gobierno

Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno



Buen Gobierno

Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno

¿Qué es la discriminación?

De acuerdo con la Encuesta Nacional sobre Discriminación 2022, el

23.7%

de la población de 18 años y más ha sido víctima de algún acto discriminatorio.

DEFINICIÓN

Distinción, exclusión, restricción o preferencia, hacia una o más personas y que tiene por objeto o resultado obstaculizar, restringir, impedir, menoscabar o anular el reconocimiento, goce o ejercicio de los derechos humanos.

EJEMPLOS



La persona responsable de un equipo de trabajo **decide obstaculizar las posibilidades de ascenso de las mujeres** que lo integran, debido a que considera que tienen menos capacidades directivas que los hombres.

En un proceso de contratación para ocupar una vacante, la persona encargada de llevarlo a cabo **decide incorporar como requisito para el puesto contar con buena apariencia física.**



Fuente: Artículo 1, fracción III, de la Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación e Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (2022), Encuesta Nacional sobre Discriminación.



ON LINE - PRESENCIAL

CALENDARIO CURSOS 2025



www.cio.mx
capacitacion@cio.mx

ENERO

- Calibración e incertidumbre de espectrocolorímetros 22-23 y 24 de enero / 24 h
- Básico de Iluminación 29 de enero / 8 h
- Sistemas láser en la industria 31 de enero / 8 h

FEBRERO

- Dirección de proyectos 4 al 7 de febrero / 32 h

MARZO

- Máquinas herramientas convencionales 4-5 y 6 de marzo / 24 h
- Máquinas herramientas CNC (Control numérico computarizado) 11 al 14 de marzo / 32 h
- PLCs en la industria 18 al 21 de marzo / 32 h

ABRIL

- Programación en Python 1 y 2 de abril / 16 h
- Instrumentación virtual 1 al 4 de abril / 30 h
- Automatización de procesos mediante Labview 1 al 8 de abril / 45 h
- Diseño mecánico mediante Solidworks 8 al 11 de abril / 32 h
- Visión artificial práctica 28-29 y 30 de abril / 24 h

JULIO

- Procesamiento digital de imágenes 1-2 y 3 de julio / 24 h
- Depósito de películas delgadas: Curso avanzado 8-9 y 10 de julio / 24 h

AGOSTO

- Microscopía óptica práctica 19-20 y 21 de agosto / 24 h
- Microscopía electrónica de barrido (SEM) 25 y 26 de agosto / 16 h
- Aplicaciones de láseres en la salud 27 y 28 de agosto / 16 h

SEPTIEMBRE

- Básico de metrología 2 de septiembre / 8 h
- Taller de calibración en metrología dimensional 2-3 y 4 de septiembre / 24 h
- Repetibilidad y reproducibilidad: MSA 4a.edición 23 y 24 de septiembre / 16 h
- Requisitos competencia laboratorios 25 y 26 de septiembre / 16 h

OCTUBRE

- Diseño de laboratorios de metrología 1 al 8 de octubre / 40 h
- Administración de equipos de medición 6 y 7 de octubre / 16 h
- Administración de laboratorios bajo la norma 17025 8-9 y 10 de octubre / 24 h
- Tolerancias geométricas y dimensionales 13-14 y 15 de octubre / 24 h
- Taller de máquina de medición por coordenadas 20 al 24 de octubre / 40 h

ENERO

D	L	M	M	J	V	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

FEBRERO

D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	

MARZO

D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

ABRIL

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

MAYO

D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

JUNIO

D	L	M	M	J	V	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

MAYO

- Básico de colorimetría 7 y 8 de mayo / 16 h
- Formulación de color en textiles a nivel laboratorio 21 y 22 de mayo / 16 h
- Fotometría y color 28 y 29 de mayo / 16 h

JUNIO

- Análisis y uso de la eficiencia energética 4 y 5 de junio / 16 h
- Sistemas fotovoltaicos 11 y 12 de junio / 16 h
- Celdas fotovoltaicas en la industria 17 y 18 de junio / 18 h
- EC0586.01 Instalación de sistemas fotovoltaico en residencia, comercio e industria 25 y 26 de junio / 16 h

JULIO

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

AGOSTO

D	L	M	M	J	V	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

SEPTIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

OCTUBRE

D	L	M	M	J	V	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

NOVIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

DICIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

NOVIEMBRE

- Inteligencia artificial 3 y 4 de noviembre / 16 h
- Industria 4.0 5, 6 y 7 de noviembre / 24 h
- Diseño y aplicaciones de drones 11, 12 y 13 de noviembre / 24 h
- Taller de fibras ópticas y su aplicación en la industria automotriz 26 y 27 de noviembre / 16 h

DICIEMBRE

- Óptica básica práctica 1 y 2 de diciembre / 16 h
- Tipos de baterías y sus aplicaciones 8 al 10 de diciembre / 24 h
- Baterías de litio: fabricación y equipos de procesamiento 8 al 12 de diciembre / 24 h



Gobierno de México

Buen Gobierno
Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno



45 AÑOS 
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN OPTICA, A.C.

ÓPTICA Y FOTÓNICA

Que contribuyen a la generación de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, la formación de personas y la apropiación social de la ciencia.



EL CRISOL
SA de CV

