

[NC]

NOTICIO

NO. 19 2019

**EL IMPACTO SOCIAL**  
de la Óptica y Fotónica

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
de la energía solar

**BIOSENSORES ÓPTICOS**  
para diagnosis médica

**PRIMERA OBSERVACIÓN**  
de un agujero negro

# DI REC TO RIO

**DIRECTOR GENERAL**  
Dr. Rafael Espinosa Luna  
[dirgral@cio.mx](mailto:dirgral@cio.mx)

**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN**  
Dr. Gabriel Ramos Ortiz  
[dirinv@cio.mx](mailto:dirinv@cio.mx)

**DIRECTOR DE FORMACIÓN ACADÉMICA**  
Dr. Ismael Torres Gómez  
[dirac@cio.mx](mailto:dirac@cio.mx)

**DIRECTOR ADMINISTRATIVO**  
Lic. Silvia Elizabeth Mendoza Camarena  
[diradmon@cio.mx](mailto:diradmon@cio.mx)

## PERSONAL · NOTICIO

**Editor Administrativo**  
Eleonor León

**Editores Científicos**  
Vicente Aboites, Mauricio Flores, Alfredo Campos

**Diseño Editorial**  
Lucero Alvarado

**Colaboraciones**  
Bernardo Mendoza, José Luis Maldonado, David Moreno,  
Arturo Díaz, Sergio Calixto, Verónica Vázquez

**Imágenes**  
Archivo fotográfico del CIO, Image bank

Loma del Bosque 115 Col. Lomas del Campestre  
C.P. 37150 León, Guanajuato, México  
Tel. (52) 477. 441. 42. 00  
[www.cio.mx](http://www.cio.mx)

# EDITO-

La actividad científica realizada en nuestro país es pagada, prácticamente en su totalidad, con recursos públicos. Por escasos, exiguos o insuficientes que sean los presupuestos otorgados para el trabajo científico, estos son recursos que provienen del erario público y por tanto su destino y uso debe de ser justificado ante la sociedad. Los científicos, técnicos e ingenieros que laboramos en el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO) estamos conscientes de esta realidad y por tanto, tratamos de involucrarnos en proyectos tales que el impacto y beneficio social de estos sea el máximo posible.

En este número del NotiCIO se presentan algunos ejemplos relevantes y representativos; por ejemplo el Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) que ha realizado investigación de frontera en diversas áreas como celdas solares, utilizando materiales orgánicos e inorgánicos, el Grupo de Propiedades Ópticas de Superficies, Interfases, Nanosistemas y Metamateriales (PROSINyM) que trabaja en cálculos teóricos de enorme relevancia práctica, o el Grupo de Metrología Óptica, que desde hace treinta años ha venido realizando investigación original de frontera en pruebas no destructivas, lo cual ha tenido impacto en la industria así como en proyectos tecnológicos. Otro ejemplo relevante, sobre todo por sus aplicaciones médicas, es la investigación realizada en optofluidos, en este caso los fluidos son caracterizados utilizando como instrumento metrológico a la luz dentro de un novel campo que comprende a los microfluidos y a la microóptica, esto ha permitido también el desarrollo de lentes fluídicas que permiten el estudio de bio-sistemas formadores de imágenes con enormes aplicaciones

potenciales. Otro ejemplo notable es el Laboratorio de Óptica Integrada del CIO, en el cual se trabaja en el diseño, fabricación y caracterización de guías de onda ópticas que tienen importantes aplicaciones en el desarrollo de sensores ópticos integrados, capaces de detectar inmediatamente por ejemplo: los niveles de glucosa y colesterol. El impacto social de esto es enorme si solamente pensamos en la importancia del diagnóstico de enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes la hipertensión y el cáncer.

Finalmente este número de NotiCIO incluye también noticias de frontera científica y primera plana mundial, como es la primera fotografía tomada de un agujero negro utilizando técnicas ópticas de la más alta sofisticación. Por último, vale notar que lo que llamamos “ilusiones ópticas” puede ser una de las más interesantes motivaciones para despertar la curiosidad por la actividad científica. Aquí se presentan algunos ejemplos fascinantes de esto.

Como es costumbre este número incluye la presentación de algunos resultados publicados en revistas científicas por investigadores del CIO, incluyendo un breve extracto de los puntos más relevantes del trabajo realizado en cada caso.

**Dr. Vicente Aboites**

# -RIAL

## 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. En particular en las áreas de: pruebas no destructivas, holografía y materiales fotosensibles, visión computacional e inteligencia artificial, óptica médica, instrumentación, infrarrojo, materiales fotónicos inorgánicos y orgánicos, nanomateriales, láseres y aplicaciones, espectroscopía, fibras ópticas, sensores, opto-electrónica, cristales fotónicos, comunicaciones y dinámica de sistemas complejos. Este trabajo se realiza por investigadores del CIO o en colaboración con empresas e instituciones académicas nacionales y extranjeras. 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 de Investigación Conacyt del Gobierno Federal. Mayor información sobre el CIO puede obtenerse en el sitio [www.cio.mx](http://www.cio.mx)



CIOmx



Centro de Investigaciones  
en Óptica A.C.



@CIOmx

# NOTICIO

## 4 EDITORIAL

- 11 El impacto social de la investigación teórica sobre las propiedades ópticas de la materia realizada en el CIO
- 14 Celdas solares  
Impacto en nuestra sociedad
- 18 El impacto social de la investigación y desarrollo tecnológico en el área de la Metrología Óptica en el CIO
- 24 Investigación, desarrollo e innovación de la Energía Solar
- 30 Optofluidos
- 38 Biosensores ópticos para diagnóstico médica
- 42 Primera observación de un agujero negro
- 46 Ilusiones ópticas
- 52 Publicaciones recientes
- 56 Calendario de capacitación 2019



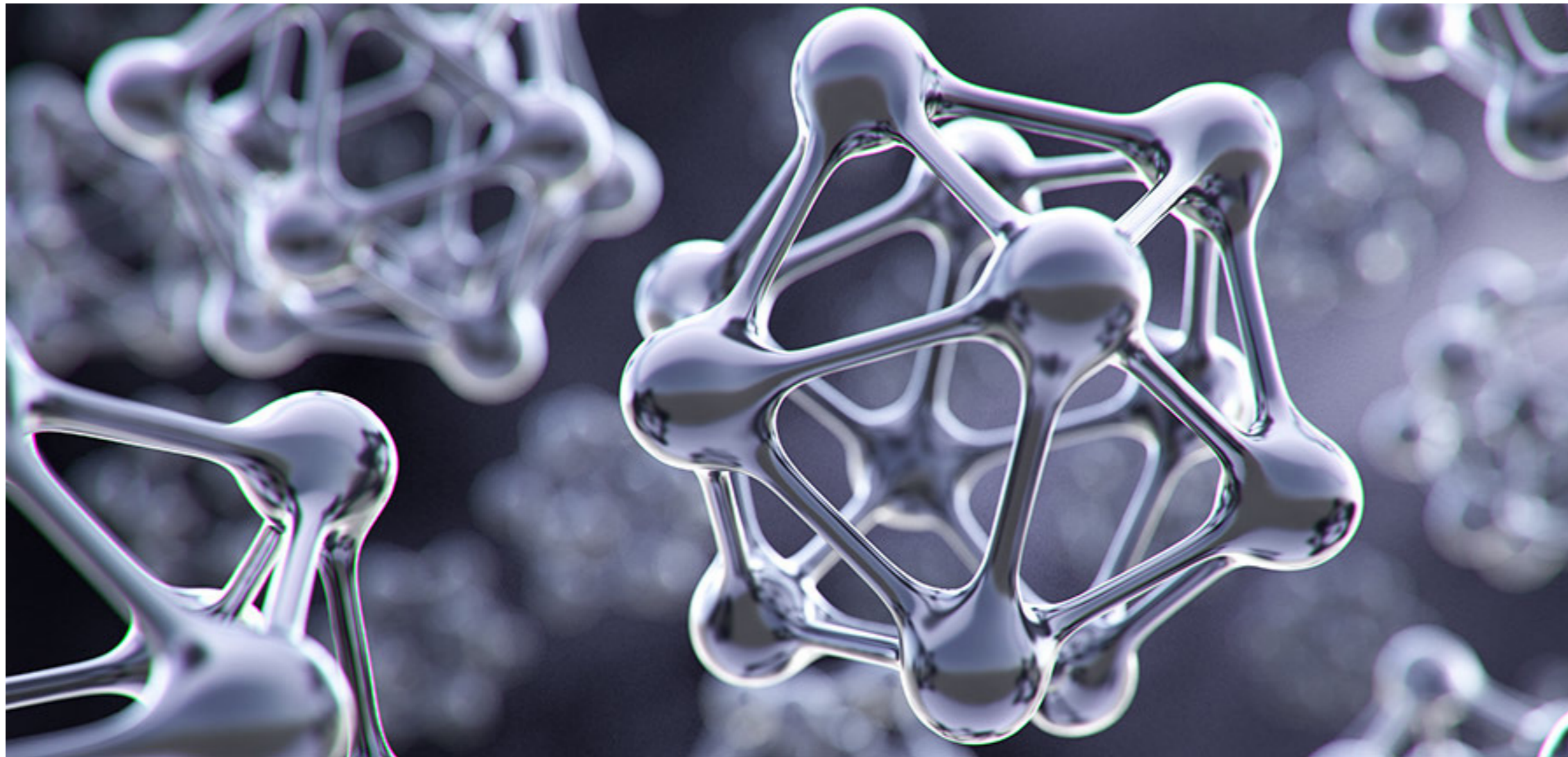


# EL IMPACTO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN TEÓRICA SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATERIA

realizada en el CIO

BERNARDO MENDOZA

**En el CIO**, el grupo de Propiedades Ópticas de Superficies, Interfaces, Nanosistemas y Metamateriales (PROSINyM), lleva casi 29 años calculando propiedades ópticas de materiales, usando los dos métodos más precisos que existen a la fecha. El primero se basa en la solución rigurosa de las Ecuaciones de Maxwell que describen la óptica como un fenómeno electromagnético y el segundo usa las soluciones de la Ecuación de Schrödinger para describir a la luz en cualquiera de sus frecuencias o colores como un fenómeno cuántico; podría uno decir que Maxwell define a la óptica y Schrödinger a la fotónica. Este tipo de investigación de frontera, que incluye tanto la respuesta óptica lineal como la respuesta óptica no-lineal, la hemos venido haciendo in crecendo, cada vez utilizando métodos teóricos y numéricos más precisos, muchos de los cuales los hemos desarrollado dentro del grupo, como lo son TINIBAR y PHOTONIC, que son programas computacionales libres basados en Linux.



Grafeno.

Como parte de la investigación que utiliza las Ecuaciones de Maxwell y PHOTONIC, se realizan estudios de metamateriales nanoestructurados que consisten en combinar dos tipos de materiales normales que se interpenetran con formas geométricas que se escogen para que la interacción electromagnética entre ellas haga que el metamaterial tenga propiedades ópticas que se pueden diseñar a placer con tan solo modificar la geometría y que superan un sin fin de propiedades ópticas de materiales estándares. El hecho de que sean nanoestructurados, significa que los tamaños de los dos materiales que se utilizan son de unos cuantos nanómetros y se repiten de forma periódica formando

un cristal artificial. Un nanómetro es  $10^{-9}$  metros. Así que estos “Metamateriales nanoestructurados” son manométricos y tienen un gran potencial de aplicaciones en muchos ramos de la tecnología.

Al utilizar TINIBA junto con la Ecuación de Schrödinger se realizan trabajos fundamentales sobre la interacción cuántica de la luz con la materia y los metamateriales que se investigan son estructuras tanto tridimensionales tipo bulto como sistemas bi dimensionales tipo grafito. El grafito, está compuesto por átomos de carbón, que se acomodan en anillos hexagonales que a su vez forma planos bi-dimensionales y estos a su vez se apilan. El grafito es un material natural muy común; por

producción fotovoltaica y la inyección de espín, entre otras propiedades. Las aplicaciones de estos fenómenos ópticos son también impresionantes.

Recientemente hemos comenzado a incursionar en la Absorción de Dos Fotones, con la idea de ayudar a los colegas experimentales a diseñar técnicas de detección de cáncer.

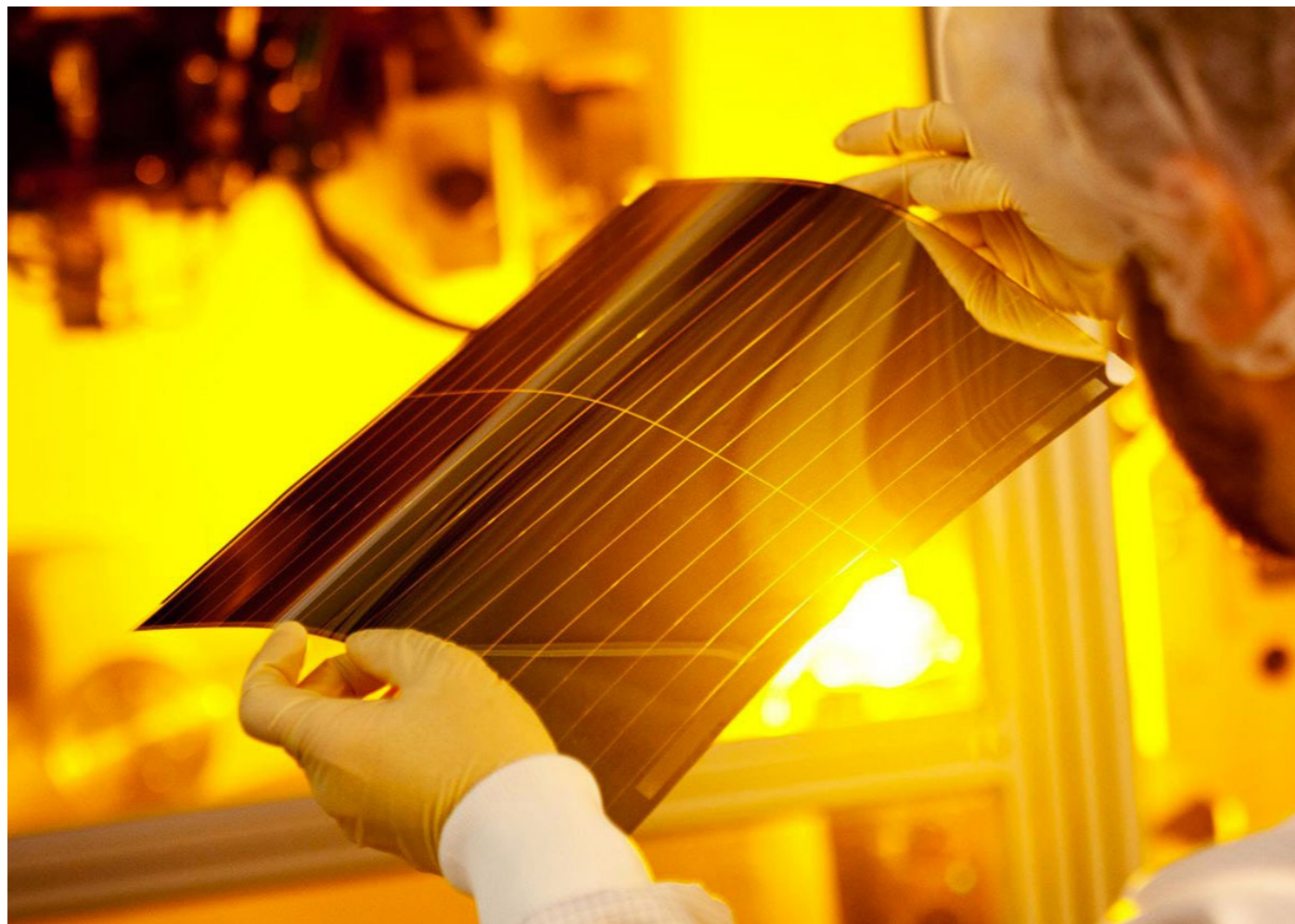
Estos cálculos los hacemos con Medusa, la supercomputadora que hemos adquirido a través de los años con proyectos de Ciencia Básica e Infraestructura del CONACYT, y con un porcentaje bajo de fondos concurrentes del CIO. Parte de los cálculos los enfocaremos para colaborar con los investigadores recién contratados para el Cuarto Limpio y el Laboratorio de NanoLitografía, con la idea de fabricar los nanomateriales mencionados o de diseñar otro tipo de metamateriales o estructuras grafénicas que puedan tener aplicaciones científicas y/o tecnológicas.

Es así que el impacto social es inminente, siempre y cuando se sigan financiando estos temas de ciencia básica de frontera que están a la vanguardia de la investigación que se hace en países desarrollados y que son imprescindibles para el desarrollo sustentable en nuestro país. El CIO debe de asumir el compromiso de apoyar este tipo de investigación de vanguardia para proyectarla en el futuro de mediano y largo plazo de la institución. Esto se debe de hacer no solo con el pago de la electricidad que consume Medusa y su actualización permanente en hardware, sino, y más importante aún, a través de la contratación de Investigadores jóvenes, para que sigan impulsando uno de los temas más perseguidos en los países desarrollados: el diseño de materiales ópticos a través de cálculos teóricos predictivos, en vez de la búsqueda basada en la prueba del ensayo y el error. ■

# CELDA SOLARES

## Impacto en nuestra sociedad

JOSÉ LUIS MALDONADO



**Debido a la reducción de las reservas de hidrocarburos**, a su cada vez más difícil y costosa extracción, así como a los grandes efectos contaminantes, la búsqueda de fuentes alternativas de energía que sean renovables, económicas y limpias es de gran importancia mundial. Algunas fuentes alternativas de energía son la eólica (viento), la hidroeléctrica y la solar (térmica y fotovoltaica). El Plan Nacional de Desarrollo (México) contempla seriamente el desarrollo de energías alternativas y particularmente de la fotovoltaica. Las celdas solares (o fotovoltaicas) basadas en materiales inorgánicos, como el silicio, han mostrado un gran desarrollo tecnológico, sin embargo el aún alto costo de producción en lugares muy especializados ha imposibilitado su uso masivo. Por otro parte, el empleo de materiales orgánicos, que contienen átomos de carbono en sus estructuras, así como de híbridos: orgánico-inorgánicos, como las perovskitas; son una alternativa muy considerada por diversos grupos de investigación y empresas. Los retos principales para este tipo de celdas son el incremento de la eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica al esca- lárseles así como tener un mayor tiempo de vida y estabilidad.

### · Antecedentes, estado del arte y perspectivas ·

En celdas solares la transformación directa de la luz del sol en electricidad se realiza a través del **efecto fotovoltaico** (efecto PV por sus siglas en inglés). La industria de celdas solares de silicio se inició en 1953 cuando científicos de los laboratorios Bell desarrollaron con éxito una celda que convertía 5 % de la energía del Sol en 5 mW de potencia eléctrica. Estas celdas han sido optimizadas y actualmente pueden operar con eficiencias de conversión eléctrica mayores al 20 % y con un tiempo de vida de 20 años. La aplicación de esta tecnología la encontramos en muchos instrumentos como en una calculadora, en un reloj, para la alimentación de teléfonos de emergencia en las carreteras, en lámparas decorativas de jardín, etc. No obstante, esta tecnología PV del silicio y otros, requiere condiciones de fabricación muy especializadas que implican un costo alto que hasta ahora ha restringido su uso masivo; además, su nula transparencia, poca flexibilidad y considerable peso, le imposibilitan su uso en, por ejemplo, ventanas, ropa, artículos flexibles personales, etc. Una alternativa a la tecnología inorgánica es el uso de **semiconductores orgánicos e híbridos**, los orgánicos fueron inventados en la década de los 70's y desde hace sólo unos 12 años se han estado estudiando profundamente las perovskitas basadas en materiales orgánico-inorgánicos. Ejemplo de celdas solares orgánicas son las **celdas OPV** (Organic Photovoltaics) mientras



que las perovskitas están siendo intensamente estudiadas en celdas solares de perovskitas (PSC) (Perovskite Solar Cells).

Las celdas OPVs presentan actualmente una eficiencia de alrededor de 17.3 % (a nivel laboratorio y de multi-unión), mientras que las PSCs han logrado una impactante eficiencia de más de 23 % en muy poco tiempo. Con estas emergentes tecnologías se tendrán nichos de aplicaciones alternativos a la tecnología inorgánica convencional. Hoy el tiempo de vida de las celdas solares orgánicas e híbridas es de semanas a meses, aproximán-

dose cada vez más a años. También es muy recomendable el tener acumuladores eléctricos para el almacenaje de esta energía eléctrica foto-generada, ya que, aun cuando se llegara a tener una alta eficiencia, usualmente no será posible alimentar directamente a algún dispositivo con la sola conversión solar. Por ejemplo, las pequeñas lamparillas de decoración en jardines no se encienden directamente con la conversión fotovoltaica sino que durante el día esta energía eléctrica está siendo almacenada en una pequeña batería recargable. Bastaría tener una celda solar orgánica con una re-

lativa baja eficiencia de conversión, por ejemplo, 5 %, y un buen sistema de almacenaje para que esta energía eléctrica PV pudiera ser de utilidad para ciertos usos. Las celdas OPVs y PSCs van a poder ser ligeras, semi-transparentes y semi-flexibles, lo anterior posibilitará que puedan usarse en ropa y mochilas, carpas para fiestas, en ventanas de edificios, etc.; ver Figura. Todo lo anterior para alimentar eléctricamente pequeños dispositivos como smartphones, pequeñas lámparas de iluminación (leds), pequeños motores eléctricos, etc. En el CIO, a través del Grupo de Propiedades Ópticas de la

Materia (GPOM) y diversos colaboradores, se han desarrollado celdas OPVs cuya eficiencia de conversión energética es de más de 9 %; la eficiencia de PSCs ha sido de más del 12 %. Con mini-panels de OPVs, ya se han alimentado pequeños LEDs y smartphones. El GPOM-CIO agradece el soporte económico de varios proyectos CONACyT-SENER.

### Referencia

1. Polman et al., "Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges"

<http://dx.doi.org/10.1126/science.aad4424>



Fig. a) Película transparente de material orgánico para su uso en celdas OPVs.

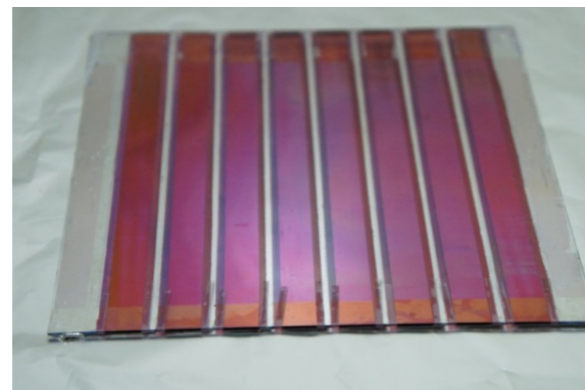


Fig. b) Mini-módulo de OPV de 80 cm<sup>2</sup> (GPOM-CIO).

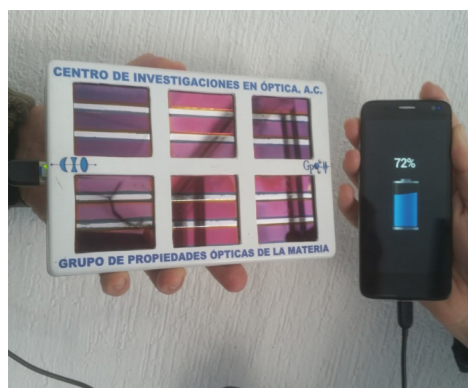
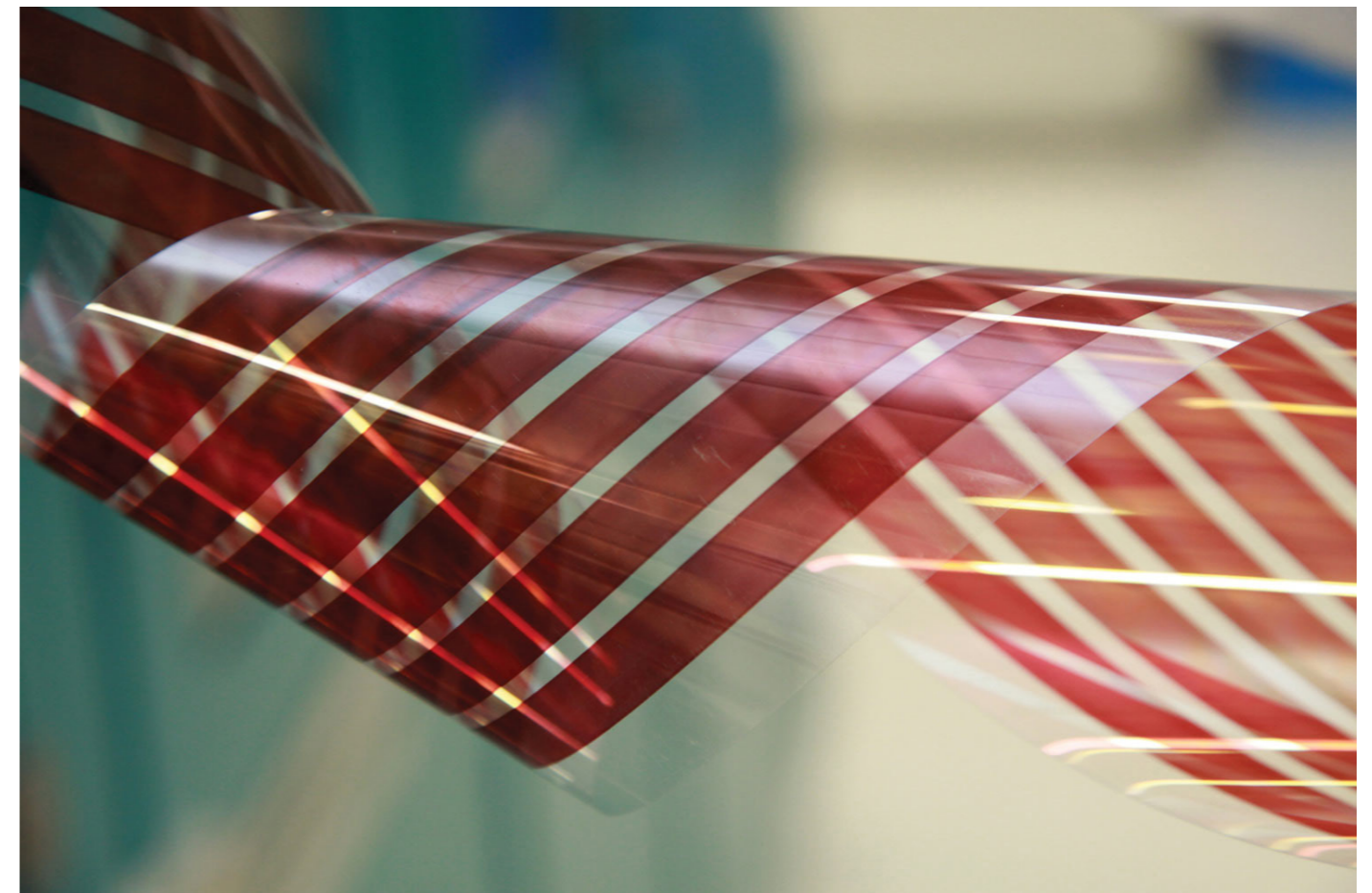


Fig. c) mini-panel de OPV para alimentación de smartphones (GPOM-CIO)



# EL IMPACTO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DE LA

## Metrología Óptica en el CIO

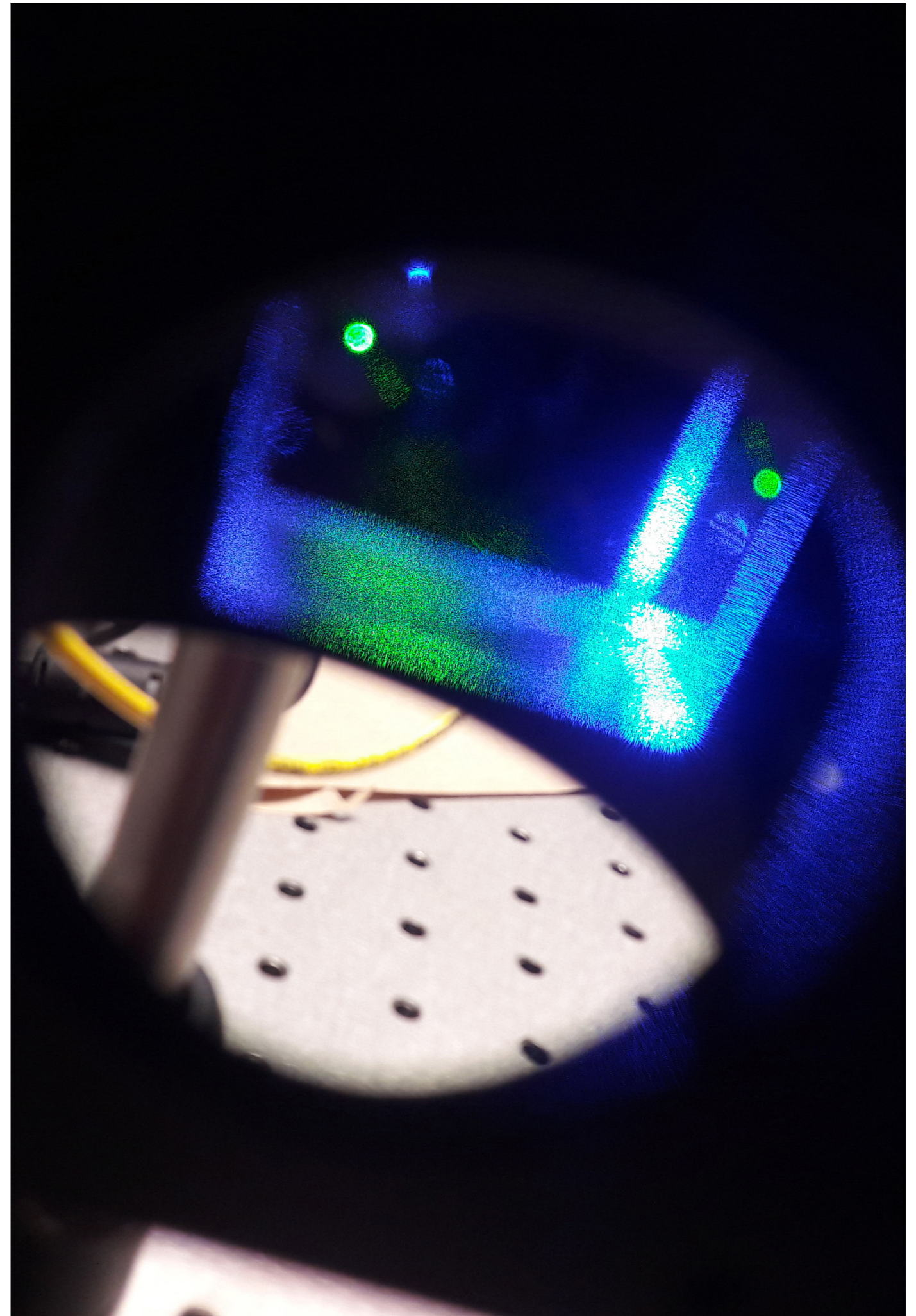
DAVID MORENO

**La metrología** es la ciencia que se encarga de la medición del valor de alguna variable física. Y la metrología óptica es la ciencia que nos ayuda a medir esas variables físicas utilizando luz visible.

Para usar esta tecnología de medición es necesario implementar una serie de arreglos ópticos de acuerdo a la variable física que se quiere medir. En los que se utilizan, lentes, espejos, fibras ópticas, cámaras digitales y principalmente fuentes de luz visible, como láseres, diodos emisores de luz (leds) o lámparas; esto dependiendo del tipo de iluminación que use el sistema óptico utilizado para la medición. En general, la metrología

óptica usa técnicas de medición de no contacto, es decir, el objeto bajo análisis no se perturba durante el proceso de medición.

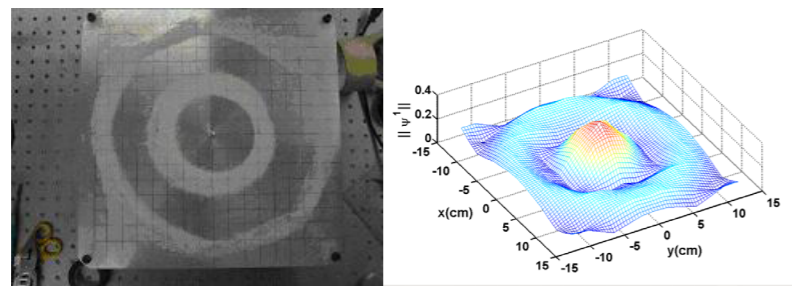
Cabe mencionar, por la importancia que esta tiene, una de las áreas estratégicas de investigación del Centro de Investigaciones en Ópticas (CIO) es la relacionada con pruebas ópticas no destructivas. Esta área de investigación iniciada en el CIO hace aproximadamente 30 años, es la que más se enfoca a la metrología óptica. Durante este tiempo, esta área de investigación ha incidido de diferentes formas en la sociedad; siendo estas: desarrollo de proyectos de investigación, proyectos



con la industria y en la formación de recursos humanos. La investigación desarrollada ha derivado en numerosas publicaciones en revistas de prestigio internacional. Estas investigaciones han permitido elaborar con éxito proyectos tecnológicos con empresas como; Mabe, soluciones tecnológicas (Soltec) y Kodiak, entre otras. También ha permitido la formación de personal calificado como son licenciados, maestros y doctores. Todos ellos formados con un perfil sólido relacionado con la solución de problemas en la industria, y con un enfoque en el desarrollo de investigación de calidad. Estos antecedentes han valido para que los investigadores involucrados en esta área de investigación pertenezcan al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 3, nivel 2 y nivel 1.

La investigación que desarrollan los participantes de esta área se ha centrado en la elabo-

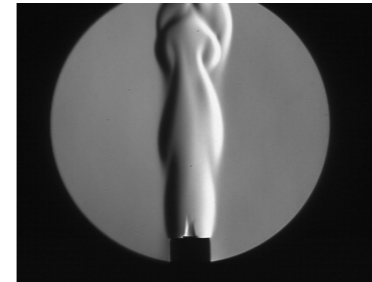
ración de instrumentación óptica aplicada a mecánica experimental. Particularmente, en la parte de mecánica de sólidos se ha desarrollado instrumentación para medir forma, deformaciones y amplitud de vibración, y análisis de vibración modal. Estas mediciones son útiles para la obtención de propiedades mecánicas a través de análisis de esfuerzos y modal. Además, este tipo de estudios permiten identificar zonas de posibles fracturas en las partes mecánicas, o defectos superficiales. De la misma manera, estas metodologías se usan actualmente para el estudio de tejidos biológicos. Este tipo de mediciones se realizan con sistemas ópticos como por ejemplo: interferometría holográfica digital, tomografía de coherencia óptica, holografía digital pulsada, interferometría de moteado, correlación digital de imágenes, shearografía y las técnicas de fotoelasticidad,



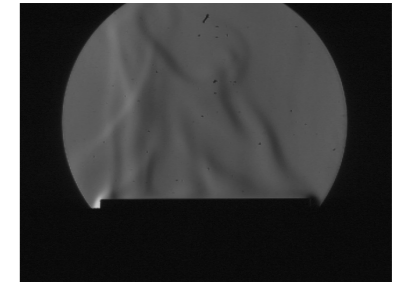
*Análisis de vibración modal de una placa metálica.*

En la parte de mecánica de fluidos se ha desarrollado instrumentación con la capacidad para de medir velocidad, presión, densidad y temperatura en flujo de fluidos. Los estudios realizados con esta instrumentación se han utilizado para monitorear la eficiencia de la combustión en flamas, medir el grosor de la capa límite del flujo que pasa a través de las hojas de algunas plantas, control de los ni-

veles de turbulencia del flujo que pasa a través de objetos estáticos o en movimiento, y en la transferencia del calor de diferentes elementos. Estas mediciones las podemos realizar con los sistemas ópticos conocidos como: schlieren, schlieren de fondo orientado, schlieren de enfocamiento agudo, fotografía de moteado digital y velocimetría de partículas por imágenes.



*Monitoreo de la combustión de la flama de un quemador.*

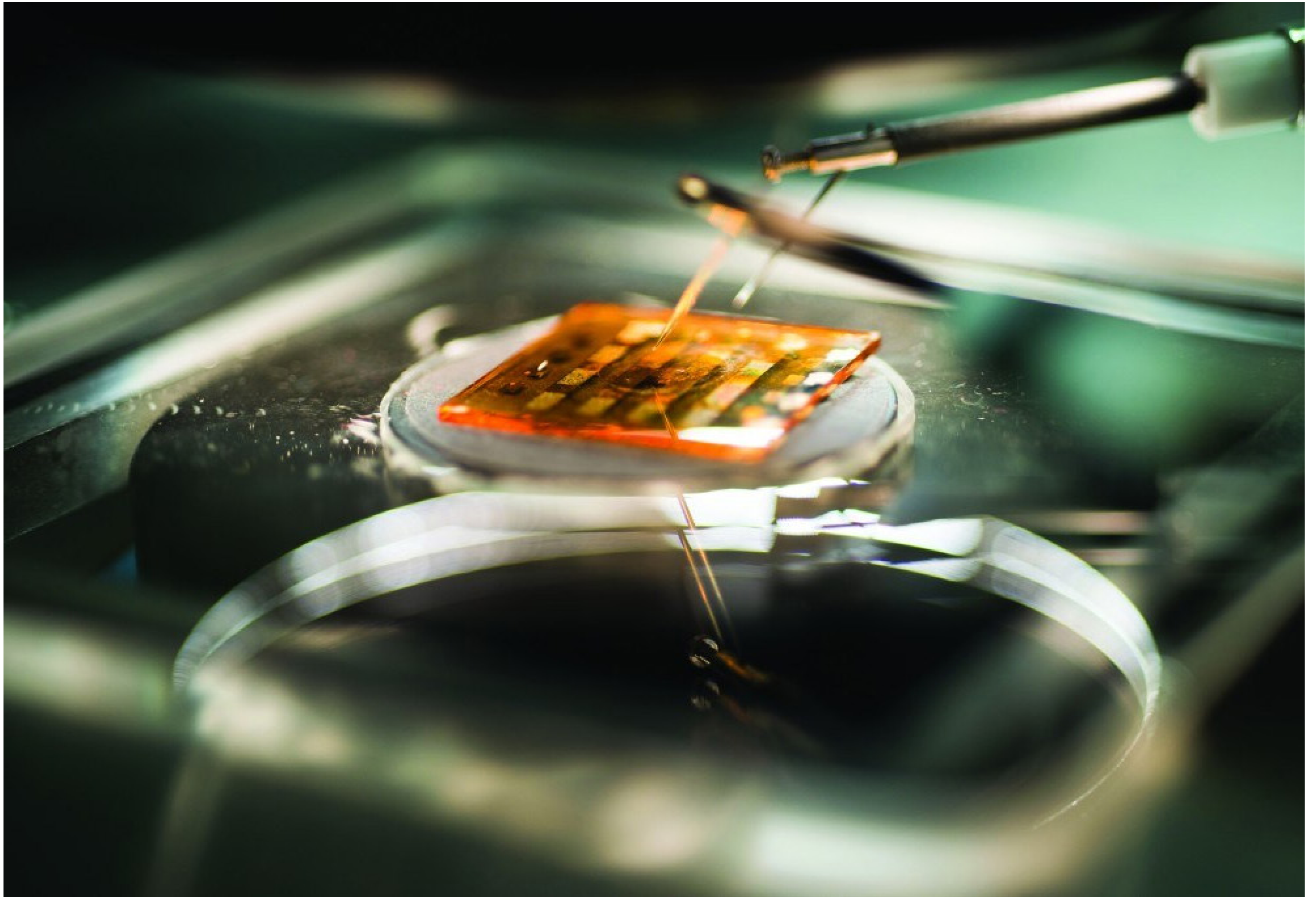


*Transferencia de calor de una placa caliente.*

La metrología óptica que se desarrolla en la institución ha servido para fomentar nuevas líneas de investigación relacionadas con pruebas ópticas no-destructivas. Entre estas líneas se pueden mencionar medición de textura de objetos opacos, cuantificación de microdeformación de objetos transparentes y medición simultánea de múltiples variables tanto en fluidos como en objetos sólidos transparentes y opacos. De esta manera, toda la in-

vestigación desarrollada hasta ahora ayuda a incrementar la capacidad de las empresas, asistiéndoles en el diseño de mejores productos y en la optimización de los procesos fabricación, y de esa forma ayudar a la generación de empleos. Otro impacto del mismo tipo es lograr un cambio en la percepción de las personas en cuanto a que los centros de investigación tienen la capacidad de aplicar sus conocimientos y que retribuyen algo a la sociedad.







# INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN

## de la Energía Solar

ARTURO DÍAZ

**El sol es la fuente de energía más importante** del planeta Tierra. Dicha energía calienta la atmósfera, océanos y la superficie terrestre, además hace posible la fotosíntesis, causa el viento, evapora el agua que forma las nubes y genera la lluvia, entre otras. México es uno de los países con mayor radiación solar en el mundo y esta puede ser aprovechada principalmente a través de la energía térmica solar o la energía fotovoltaica solar.

La capacidad de generación de energía renovable registró su mayor incremento anual en 2017 a nivel mundial, aumentando la capacidad total en casi un 9% en comparación con 2016, siendo casi

el 55% de energía solar fotovoltaica (Ren21 2018). En México, el 67% del consumo final de energía en la industria corresponde a calor; sin embargo, son escasas las empresas que ofertan dicha tecnología por su complejidad. Caso contrario con la generación de energía eléctrica, sector en el que hay una alta oferta de sistemas fotovoltaicos.

En los últimos 4 años, el Centro de Investigaciones en Óptica ha apostado por el desarrollo Científico y Tecnológico en el área de la Energía Solar. A partir de esto, se creó el Grupo de Investigación e Ingeniería en Energía Solar (*GIIE-Sol*: [https://www.cio.mx/investigacion/energia\\_solar/](https://www.cio.mx/investigacion/energia_solar/))

conformado principalmente por 6 Investigadores Cátedras CONACYT y dos investigadores asociados. Dicho grupo impacta en diferentes áreas: atención los problemas energéticos de la región brindando soluciones innovadoras y sustentables con el medio ambiente, la formación de recursos humanos especializados de alumnos de grado y postgrado, el desarrollo científico-tecnológico de prototipos y plantas pilotos que permitan aumentar la eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica y/o calor a un costo cada vez más menor, la sensibilización y concientización ambiental, entre otras.

El GIIE-Sol cuenta con el Laboratorio de Innovación y Caracterización de Sistemas Termosolares y Fotovoltaicos (LICS-TF) ubicado en el CIO unidad Aguascalientes (ver figura 1). Los proyectos realizados por el grupo han tenido un importante

impacto en la región; se han atendido a más de 40 empresas, lo que han concluido en 7 grandes proyectos tecnológicos vinculados con la industria, se han organizado diversos eventos como talleres y congresos regionales de energía renovable y se ha participado en más de 30 eventos de difusión y divulgación de la ciencia. Además, se cuenta con una gran cantidad de prototipos tecnológicos, equipo de medición y experimentación para el aprovechamiento de la energía solar. Así mismo, actualmente en el CIO se ofertan maestrías y doctorados enfocados a la energía solar con el objetivo de formar especialistas que faciliten el triple impacto: económico, social y ambiental.

Uno de los principales proyectos realizados en el GIIE-Sol es el Simulador Solar de Alto Flujo Radiativo (SSAFR) mostrado en la figura 2. Este sistema consiste en un arreglo de lámparas de arco

de xenón de alta potencia acopladas a un concentrador elipsoidal de alta reflectividad, obteniendo la representación más exacta posible del espectro solar a nivel laboratorio, con altos niveles de concentración de energía. Este instrumento simula las características de los dispositivos de concentración solar de alta potencia utilizados para producir calor y electricidad, con la gran ventaja de tener condiciones controladas y un flujo constante de energía.

Otro gran proyecto que se está por concluir es el desarrollo de un sistema de desalinización y potabilizador de agua ligeramente contaminada (Ver figura 3), esto se logra mediante la integración de cuatro tecnologías: 1) la desalinización solar, 2) la fotocatalisis heterogénea, 3) la tecnología fotovoltaica y 4) la instrumentación óptica. En dicho proyecto se cuenta con el apoyo de CICY, la UAEM y de CONACYT.



Fig. 1. LICS-TF

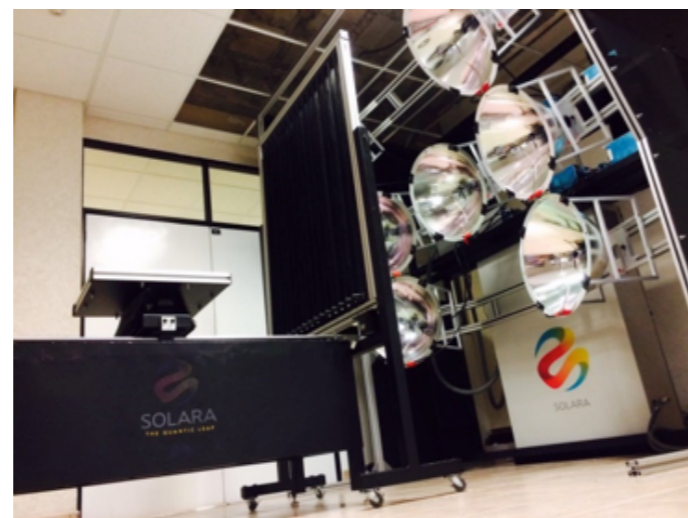


Fig. 2. SSAFR

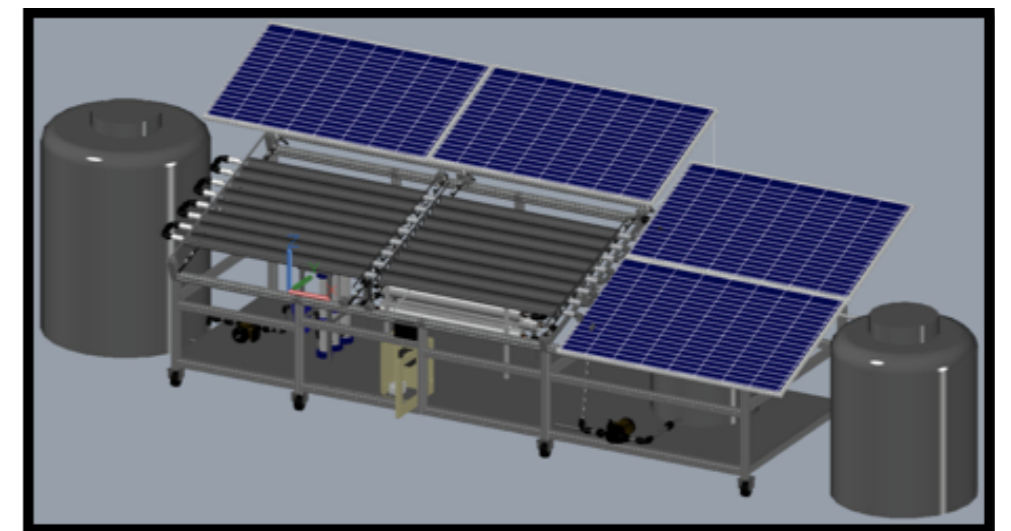



Fig. 3. Sistema de desalinización y potabilizador de agua



El Centro de Investigaciones en Óptica está convencido de la importancia del aprovechamiento de las energías renovables por lo que se busca seguir aterrizando ideas y prototipos tecnológicos con el objetivo de ofrecer alternativas de bajo costo que brinden seguridad energética a la sociedad, permitan alcanzar las metas de generación de energía eléctrica mediante energías limpias en México, generen nuevos empleos y sean cuidadosas con el medio ambiente. 

#### Referencias

Ren21, R. (2018). "Global status report." REN21 secretariat, Paris 2018.

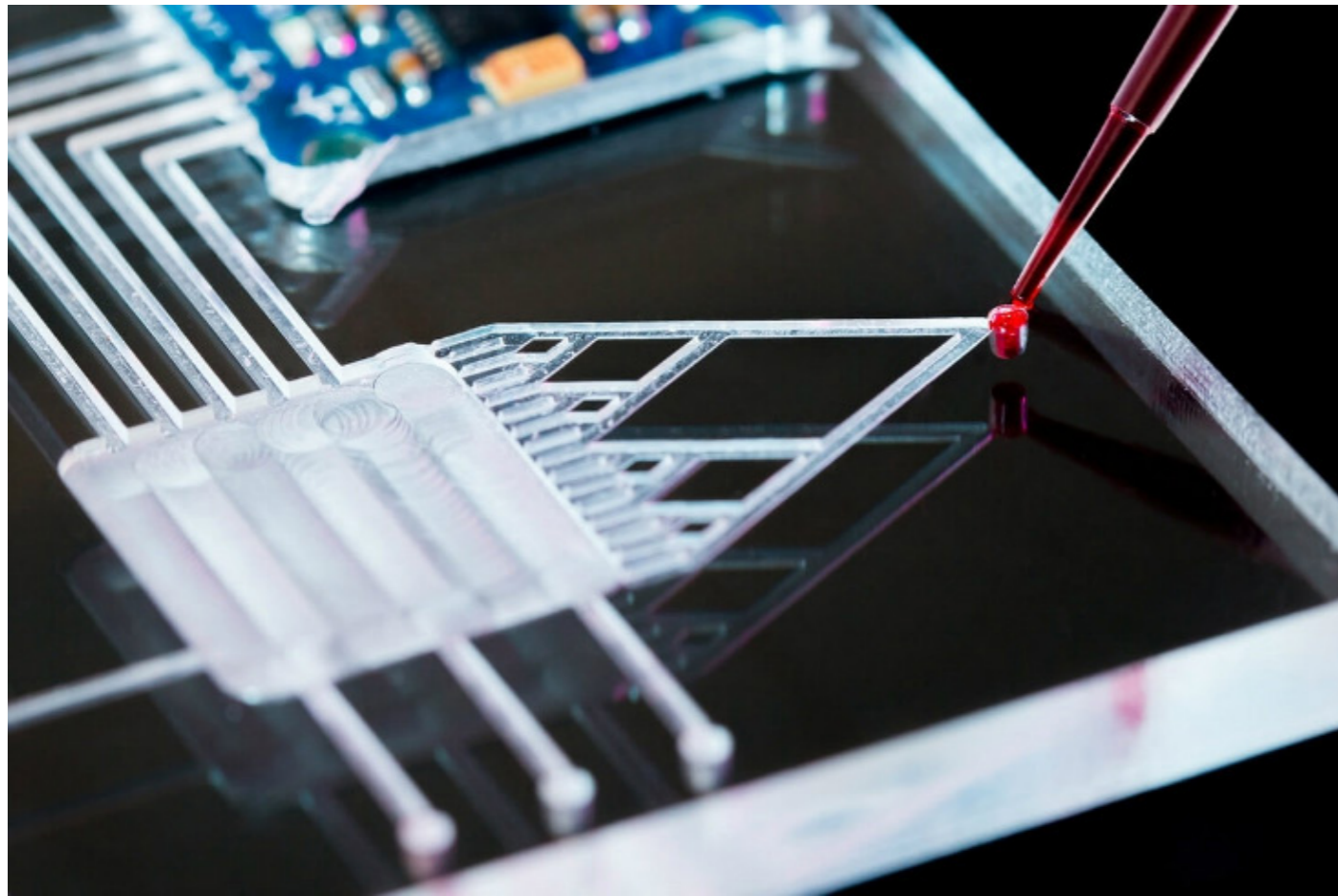
**SPIE. OSA**

**CINE CLUB**

El Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) te invita a su Cine club "Paraxial" donde proyectaremos películas relacionadas con ciencia y al finalizar tendremos un breve debate al respecto.

Informes y sugerencias: [osa\\_chapeter@cio.mx](mailto:osa_chapeter@cio.mx) [comunicacion@cio.mx](mailto:comunicacion@cio.mx)

[www.cio.mx](http://www.cio.mx)



# OPTOFLUIDOS

SERGIO CALIXTO

**Para estudiar las características de los líquidos o fluidos** se utilizan instrumentos donde se pueden almacenar o hacer fluir estos líquidos. Normalmente en un laboratorio estos instrumentos contienen mangueras y/o recipientes con dimensiones del orden de centímetros. Las necesidades actuales en investigación y análisis clínicos, por ejemplo, han demandado ins-

trumentos más pequeños por donde fluyen los líquidos en canales que tienen un ancho de 0.1 mm o 100 micras. Como referencia un cabello humano tiene un diámetro de unas 120 micras dependiendo del individuo. Debido a esto se ha creado la disciplina llamada microfluídica donde se manipulan pequeñas cantidades de fluidos en canales estrechos.

Por otro lado, en la óptica normalmente se usan elementos ópticos con dimensiones de centímetros. Los instrumentos pueden contener prismas, lentes, espejos, polarizadores, divisores de haz, guías de ondas y demás elementos. De igual forma las necesidades han demandado la fabricación de elementos ópticos pequeños con dimensiones de unos cientos de micras hasta unos milímetros. A este campo se le llama la microóptica.

Para el estudio de fluidos se utilizan termómetros, medidores de flujo y demás dispositivos. Sin embargo, en la última década se ha estado utilizando la luz para la caracterización de fluidos. Por esta razón se desarrolló un campo nuevo que comprende los microfluidos y la microóptica y se le llama el campo de los Optofluidos [1,2], que significa el estudio de los fluidos confinados en canales pequeños. Las cantidades utilizadas en optofluídica están en un rango de microlitros a picolitros. En este artículo se presenta una somera descripción del campo de los Optofluidos.

Los procesos típicos de los circuitos optofluídicos comprenden: *a) preparación de la muestra, b) inyección, c) clasificación o separación, d) reacción y e) detección*. Todos estos procesos se desarrollan en una tableta de unos centímetros de longitud. Por eso en algunas ocasiones se le llama Lab-on-a-Chip (Laboratorio en una tableta). La precisión obtenida es alta comparada con la que se obtiene con métodos tradicionales. Como el método utiliza luz la técnica es no invasiva y de alta precisión. Además, la detección con luz minimiza las perturbaciones mecánicas al flujo. Esta técnica puede manejar entre otros elementos el DNA, células, virus, tejidos y reactivos químicos.

En la *preparación* de la muestra podemos incluir su filtración, purificación y preconcentra-

ción. La filtración separa los analitos de interés y remueve las componentes innecesarias de la muestra. Se puede usar por ejemplo el ultrasonido.

Para la *introducción o inyección* de la muestra en los microcanales se usan bombas o microbombas que pueden actuar a través de procesos mecánicos (como los piezoeléctricos), neumáticos y eléctricos o magnéticos. También pueden comprender las bombas no mecánicas como las basadas en electroósmosis, electromojado, calentamiento u ópticas.

Para la *clasificación o separación* de la muestra en los circuitos optofluídicos se pueden tener válvulas o microválvulas que regulan el flujo en los canales al abrir o cerrar los canales microfluídicos para controlar la razón de flujo, dirección, o volumen, así como mezclar diferentes líquidos. Para actuar las válvulas mecánicamente se pueden usar fuerzas externas como las magnéticas, eléctricas, piezoeléctricas o térmicas.

En lo que respecta a las mezcladoras pueden ser pasivas o activas. Estas últimas pueden ser actuadas por elementos piezoeléctricos, electrodinámicos o magnetohidráulicos.

El proceso de *detección y análisis* contempla la detección por luz y es la más utilizada. Podemos mencionar por ejemplo la detección con luz ultravioleta o visible (UV/vis) por espectroscopia de absorción en donde el pico de absorción del espectro determina la composición o concentración de la muestra. También se tiene la detección por fluorescencia que muestra alta sensibilidad. En esta técnica las moléculas son excitadas con luz de una longitud de onda o color. Estas moléculas fluorescen o emiten luz que es detectada por los sensores. Antes del detector hay filtros de luz que bloquean la luz de excitación para incrementar el



parámetro de señal-a-ruido. Hay otra técnica que es la quimioluminiscencia que no requiere de una fuente de luz para trabajar.

Entre los métodos que usan estas técnicas optofluídicas está la citometría de flujo que es una manera de medir algunas características de las células, incluyendo su tipo y tamaño, la presencia de DNA y RNA y sus proteínas.

### **Elementos básicos optofluídicos**

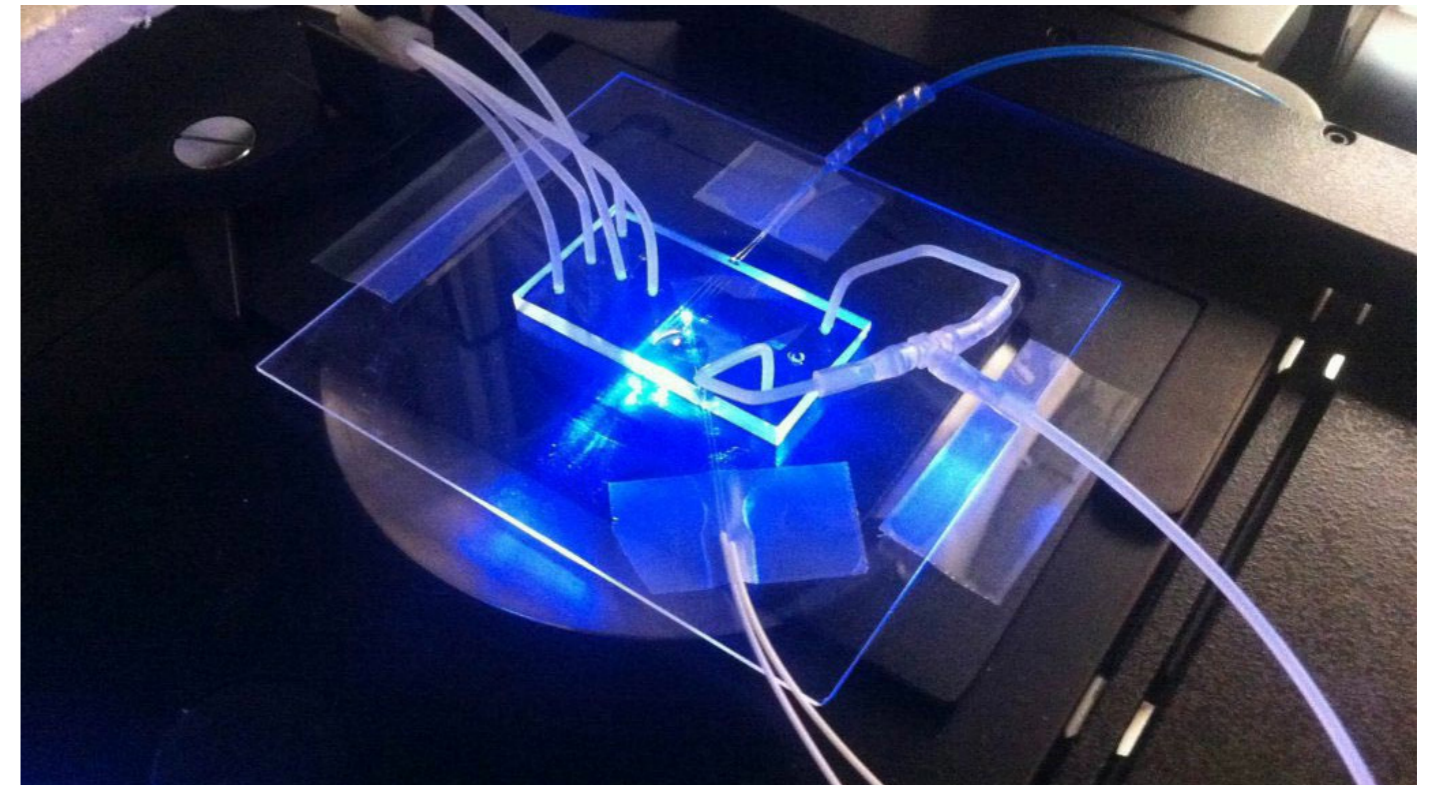
El desarrollo de elementos optofluídicos que forman un dispositivo es muy variado. A continuación, exponemos solo algunos elementos sencillos ya que el espacio para este artículo es limitado. Para mayor información el lector puede consultar las referencias [1].

Un elemento fundamental que contempla el uso de líquidos es la lente. Esta puede cambiar su distancia focal y por lo tanto las dimensiones de la imagen formada por ella o enfocar en mayor o menor grado un haz de luz. La lente puede estar construida en uno de sus extremos por una superficie plana de vidrio y otra fabricada con una membrana delgada flexible. Estas superficies, junto con un anillo que las sostiene, formaran una cavidad cilíndrica. A través de orificios en el anillo se puede introducir algún líquido en la cavidad y, si aplicamos una presión, la membrana se deformará formando una superficie que es parte de una esfera. La membrana se puede arquear hacia afuera o hacia adentro al aplicar presión positiva o negativa, produciendo una estructura convexa o cóncava. A este proceso en el cual se cambia la distancia focal de la lente se le llama "sintonización". Cuando la luz pasa a través de la membrana se formará una imagen o se enfocará la luz. Cuanto mayor es la presión más se deformará la membrana y la dis-

tancia focal de la lente será menor. La variación de la presión se puede hacer con una bomba externa y un regulador de presión o con una bomba interna. En este último caso, se puede usar una bomba electromagnética para controlar la deformación de la membrana. Otra forma de cambiar la distancia focal de la lente será poner una membrana con perfil esférico y cambiar los líquidos por otros que muestren diferentes índices de refracción.

Otro tipo de lente sintonizable opera bajo la manipulación de la interfase entre dos líquidos inmiscibles (agua-aceite, por ejemplo). En este caso la membrana ya no es necesaria para contener los fluidos. A escala microscópica, el comportamiento de la interface entre los fluidos inmiscibles es dominada por tensión interfacial, y por lo tanto su forma es cercana a una superficie esférica. Cuando se usan dos líquidos con diferentes índices de refracción, la luz puede ser desviada y llevada al punto focal cuando pasa por la interfase de los fluidos. Hay varios mecanismos que han sido desarrollados para cambiar la distancia focal de la lente. Entre estos mecanismos el más popular es el de electromojado. En este método se modifica la propiedad de mojado de superficies hidrofóbicas al aplicar un campo eléctrico. Bajo este principio se han desarrollado lentes comerciales que ahora son utilizadas en los teléfonos celulares [3]. Son lentes que no tienen elementos ópticos que se mueven entre sí. Solo se modifica la curvatura de la superficie mediante campos eléctricos. Bajo este mismo principio de electromojado se han construido espejos usando mercurio como líquido y microprismas usando una solución salina.

Otro elemento optofluídico es un prisma hueco. Este es fabricado en silicona. El tamaño de los prismas puede ser tan chico como milímetros o frac-



*Microscopio Optofluídico.*

ciones de ellos. Cuando la luz lo atraviesa esta mostrará una desviación angular que será función del índice de refracción del líquido dentro del prisma.

### **Microscopio Optofluídico [4]**

Un instrumento optofluídico más sofisticado es el microscopio optofluídico que trabaja sin lentes. Ahora en este artículo solo se presentan brevemente sus partes y funcionamiento básico. El lector podrá tener más información consultando la referencia. Las componentes de este microscopio son las siguientes. Se comenzará a describir el microscopio por la parte superior donde hay una fuente de luz blanca. Después de ella hay un canal hecho de silicona de 30 micras de ancho, 15 micras de alto y algunos milímetros de largo. Por este canal pasarán los microorganismos, inmersos en algún líquido, que se estudiarán. En la referencia consultada se usaron microorganismos *Caenorhabditis Elegans* (*C. Elegans*) en su estado larvario con una longitud de unas 350 micras. Debajo de

este canal hay una plantilla de aluminio de unos 90 nanómetros de espesor. En la plantilla hay una sucesión de agujeros de 600 nm de diámetro separados 5 micras entre sí. Ellos no están alineados sino que están desplazados 300 nm uno con respecto al otro. Debajo de la plantilla hay un detector CCD que es una matriz de " $n \times n$ " sensores separados 5 micras. A medida que va pasando la *C. elegans* va modificando la transmisión de la luz que es medida por cada sensor del CCD. Estos valores de intensidad son almacenados en una computadora. Se puede arreglar esta información de tal forma que se muestre una imagen. Con este método no se necesitan lentes para formar una imagen como con el microscopio común. Si por el canal se hace fluir un líquido que contenga larvas se pueden obtener imágenes de unas 40 *C. elegans* por minuto. El límite de resolución del microscopio optofluídico es de 490 nanómetros, un poco menor que el de un microscopio normal con objetivo de 40 X. Si se desea tener una resolución más alta se deben

usar agujeros en la plantilla de menor diámetro. Es de hacer notar que el microscopio optofluídico tiene un tamaño comparable al de una moneda. Contrasta con un microscopio normal que tiene dimensiones de decenas de centímetros.

### **Lentes intraoculares**

A través de millones de años los ojos de los seres vivos han evolucionado en diseños ópticos altamente eficaces que en muchas áreas críticas son superiores a los dispositivos fabricados por el ser humano. Las lentes fluídicas representan un paso adelante hacia los bio-sistemas formadores de imágenes. Es interesante preguntarse porque la naturaleza ha seleccionado las lentes que pueden variar la curvatura de sus superficies para la acomodación de la visión, en vez de que se varié la distancia entre ellas y la retina. Se entiende por “acomodación” a la acción que desarrolla el ojo cuando enfoca un objeto lejano después de enfocar un objeto cercano o viceversa. El concepto de cambiar la distancia focal al cambiar la distancia entre las lentes de un sistema óptico ha sido usado por casi todos los sistemas diseñados por humanos.

El cristalino de los ojos humanos es transparente con forma de lente que puede ser sintonizada. La lente puede cambiar la curvatura de sus superficies mediante los músculos ciliares. La acomodación, que es la habilidad de enfocar objetos lejanos o cercanos, es posible gracias a que el cristalino cambia su forma. Cuando un paciente tiene catarata su cristalino se vuelve opaco y finalmente obstruye la transmisión de la luz. El tratamiento más frecuente es remover la lente de su bolsa capsular y reemplazarlo con una lente sintética llamada lente intraocular. Si bien los pacientes vuelven a mostrar buena visión después de la operación,

pierden su capacidad de acomodación. Se han hecho esfuerzos para restituir la acomodación en la visión humana. Estos esfuerzos tienen métodos en los cuales se mueve axialmente el cristalino. Este sistema o mecanismo es menos eficiente que el mostrado por los seres vivos donde se deforma la lente por los músculos ciliares. Los resultados obtenidos son malos ya que han dado acomodaciones de solo 2 dioptrías mientras que el ojo de los adultos tiene una acomodación de 7 dioptrías. Esto demuestra que el movimiento axial es inferior o menos eficiente que el de cambiar la forma de la lente. Las investigaciones para colocar una lente intraocular fluídica han seguido desarrollándose. Se hizo un experimento para evaluar el desempeño de una lente intraocular fluídica. Se fabricó un modelo de ojo humano que tenía una lente intraocular plano convexa. Cuando se cambió la curvatura de la lente se obtuvo una imagen buena. Se obtuvo una acomodación de 8 dioptrías. Este ojo artificial mostró una agudeza visual de 20/20 o mejor. Además, con el estudio se concluyó que los mismos músculos ciliares pueden producir una fuerza suficiente de 0.08 N para accionar la lente optofluídica. En un futuro se espera mejorar estas lentes intraoculares fluídicas mediante el desarrollo de nuevos materiales y así existirá la promesa de restaurar la agudeza visual y rango de acomodación de la visión y porque no, tener una visión superhumana.

En las últimas décadas se han utilizado dispositivos optofluídicos en un amplio rango de aplicaciones como en análisis químicos e investigación biológica y biomédica [5, 6]. Ejemplos específicos incluyen detección de analitos para diagnósticos clínicos, plataformas para secuencia genómica, estudios químicos para descubrimiento o desarrollo de drogas, estudios forenses, pruebas del medio

ambiente, síntesis química, para estudio de biología celular, e ingeniería de tejidos por mencionar solo algunas aplicaciones.

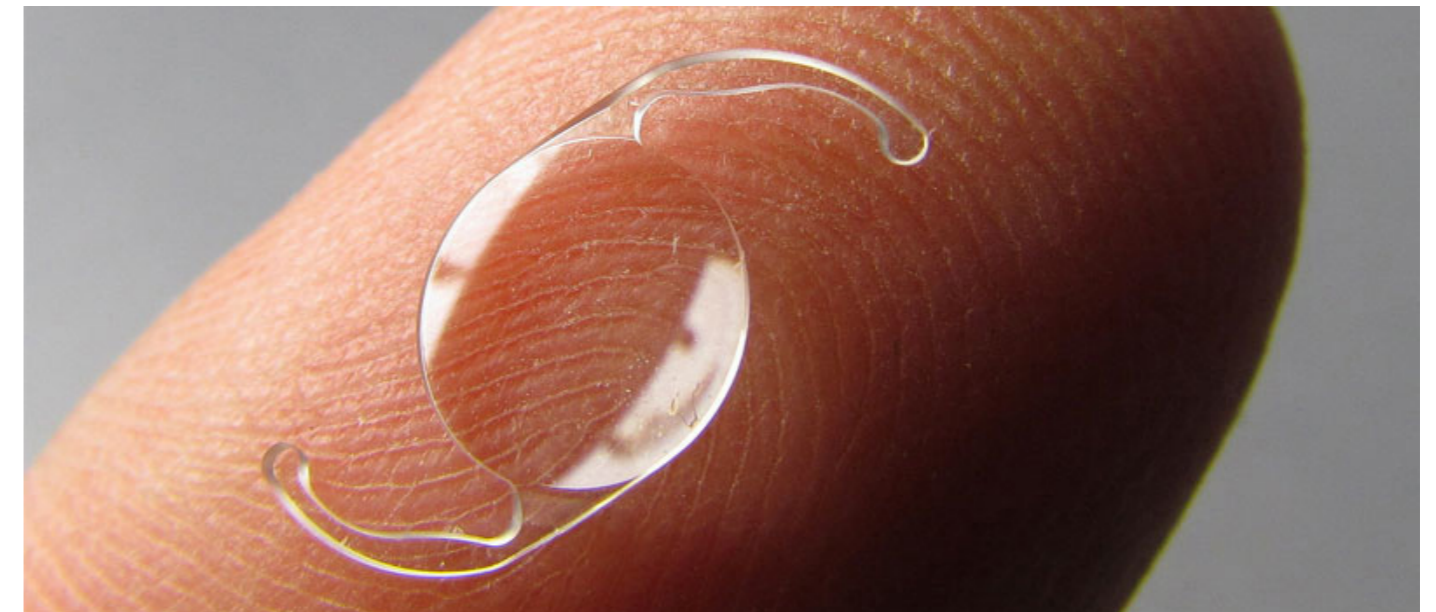
En el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) se han desarrollado microelementos ópticos y optofluídicos. Ambos se han utilizado para proponer prototipos de refractómetros, higrómetros, espectroscopios, escáneres, medidores de presión, temperatura, concentraciones en soluciones, pH y otros. En lo que respecta a refractómetros han tenido como base tubos capilares, rejillas de difracción sólidas, y lentes y rejillas de difracción sintonizables. Los espectroscopios y escáneres se han desarrollado teniendo fundamentalmente microlentes y microprismas sintonizables. Los medidores de presión usan microlentes sintonizables que forman imágenes que son estudiadas por computadora. Los medidores de temperatura tienen prismas sintonizables y están basados en el cambio de índice de refracción con la temperatura,

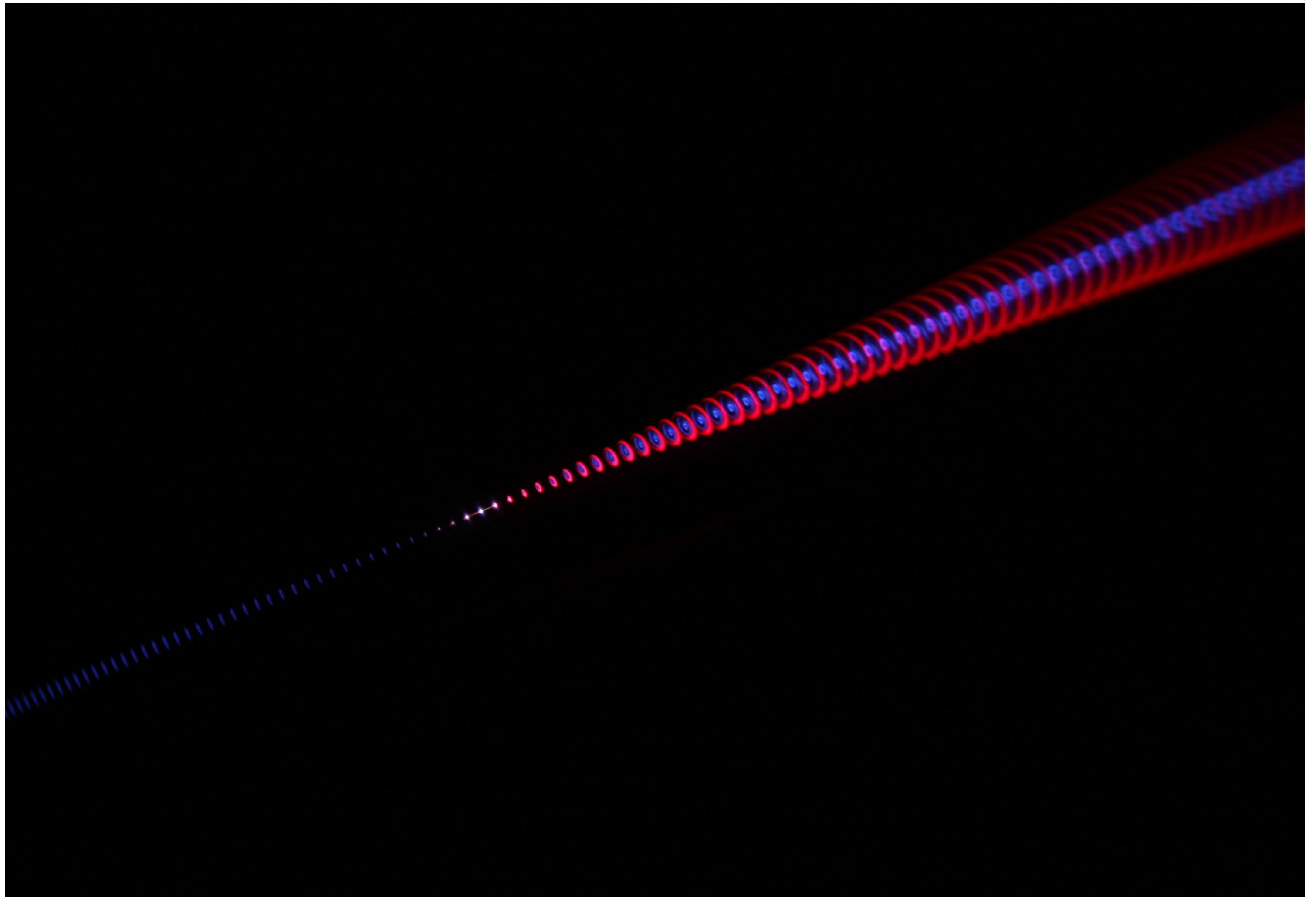
los medidores de concentración de solutos tienen como base la polarización de la luz. Los higrómetros tienen como elementos sensores capas delgadas de biopolímeros de unas decenas de micras de grosor. Algunas de estas capas pueden ser también utilizadas para medir pH.

### **Referencias**

- 1 Aaron R. Hawkins, Holger Schmidt, Eds., 2010, “Handbook of Optofluidics,” CRC Press.
- 2 C. Monat, P. Domachuk, and B.J. Eggleton, 2007, “Integrated optofluidics: A new river of light,” *Nature Photonics* 1:106-114.
- 3 [www.varioptic.com](http://www.varioptic.com)
- 4 X. Heng, D. Erickson, I. Ryan Baugh, Z. Yaqooh, P.W. Sternberg, D. Psaltis and C. Yang, “Optofluidic microscopy – a method for implementing a high resolution optical microscope on a chip,” *Lab on a chip*, 2006, 6, 1274 – 1276.
- 5 *Journal, Lab on a chip, devices and applications at the micro and nanoscale, Royal society of chemistry.*
- 6 *Journal, Microfluidics and nanofluidics, Springer.* ■

Lente intraocular.





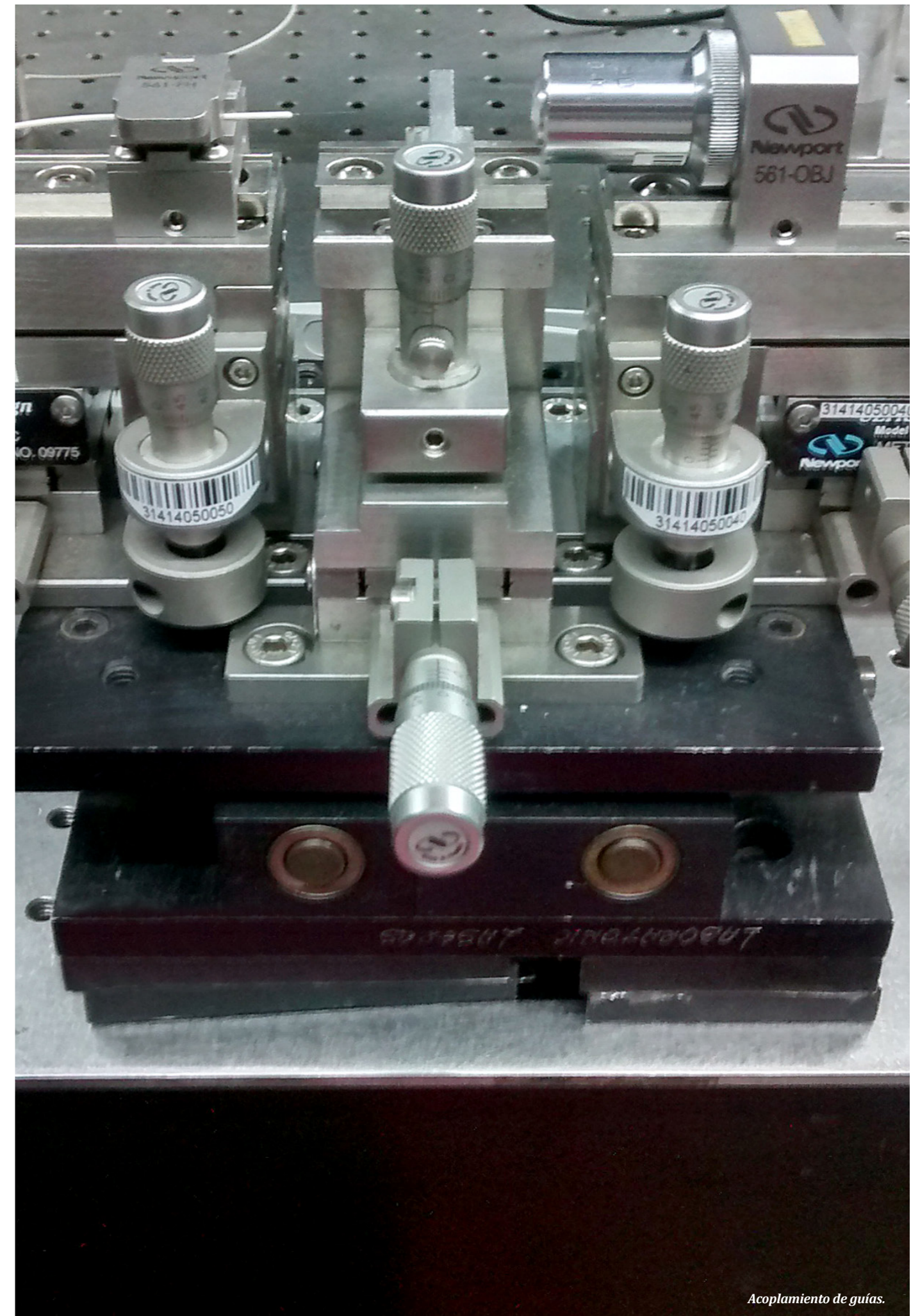
# BIOSENSORES ÓPTICOS

para diagnosis médica

VERÓNICA VÁZQUEZ

**La necesidad de hacer aparatos** cada vez más pequeños y veloces ha llevado al desarrollo de dispositivos integrados, cuyo uso se ha incrementado en diversos campos como comunicaciones, iluminación, almacenamiento de información y diagnosis médica. En particular, los dispositivos ópticos integrados tienen varias ventajas sobre los electrónicos como por ejemplo velocidad, ancho de banda e inmunidad a factores externos como humedad y corrosión. El elemento básico de construcción de estos dispositivos se conoce como guía de onda óptica, la cual es un canal con un grosor menor al de un cabello que confina y conduce la luz de tal manera que, debido a este volumen tan pequeño, se pueden conseguir altas densidades de energía para aplicaciones como láseres y amplificadores compactos.

En el Laboratorio de Óptica Integrada del CIO se trabaja en el diseño, fabricación y caracterización de guías de onda ópticas. Una de las aplicaciones que nos interesa es el desarrollo de sensores para detectar sustancias biológicas. Pensemos en la molestia de tener que ir a un laboratorio clínico para la toma de una muestra de sangre, se requieren varios mililitros para el análisis y normalmente hay que esperar algunas horas para obtener los resultados; después hay que llevarlos al médico para que realice un diagnóstico y se comience con algún tratamiento. Un sensor óptico integrado podría ser capaz de detectar inmediatamente nuestros niveles de glucosa, colesterol, triglicéridos, etc. con solo una gota de sangre (o incluso una partecita de esa gota) desde la comodidad de nuestra casa y enviar los resultados por internet al médico para que



Acoplamiento de guías.



Glucómetro portátil.

realice el diagnóstico. Incluso para evitar la punción, la prueba se puede realizar con una muestra de saliva, lo cual es beneficioso para pacientes con diabetes quienes deben revisar sus niveles de glucosa varias veces al día.

Ya existen comercialmente dispositivos portátiles para detectar la glucosa a partir de una gota de sangre, los cuales funcionan mediante métodos electroquímicos (figura 1). En un sensor óptico integrado se utilizan las propiedades de la luz como intensidad, fase o frecuencia. La luz se propaga a través de las guías mencionadas que pueden tener secciones rectas y otras curvas. Otro elemento que debe estar presente es una capa delgada de material sensible, la cual está en contacto con el canal de luz y provee la sensibilidad necesaria al dispositivo de tal manera que al depositar una pequeñísima cantidad de muestra, alguna de las propiedades de la luz cambia y podemos relacionar dicho cambio con la cantidad

de muestra presente en la medición. Como candidatos de estas membranas sensibles, en el CIO se han probado nanopartículas de oro y grafeno con mejores resultados para este último, ya que dicho material forma una lámina súper delgada de átomos de carbono en dos dimensiones e interactúa con las sustancias biológicas que se depositan sobre ella.

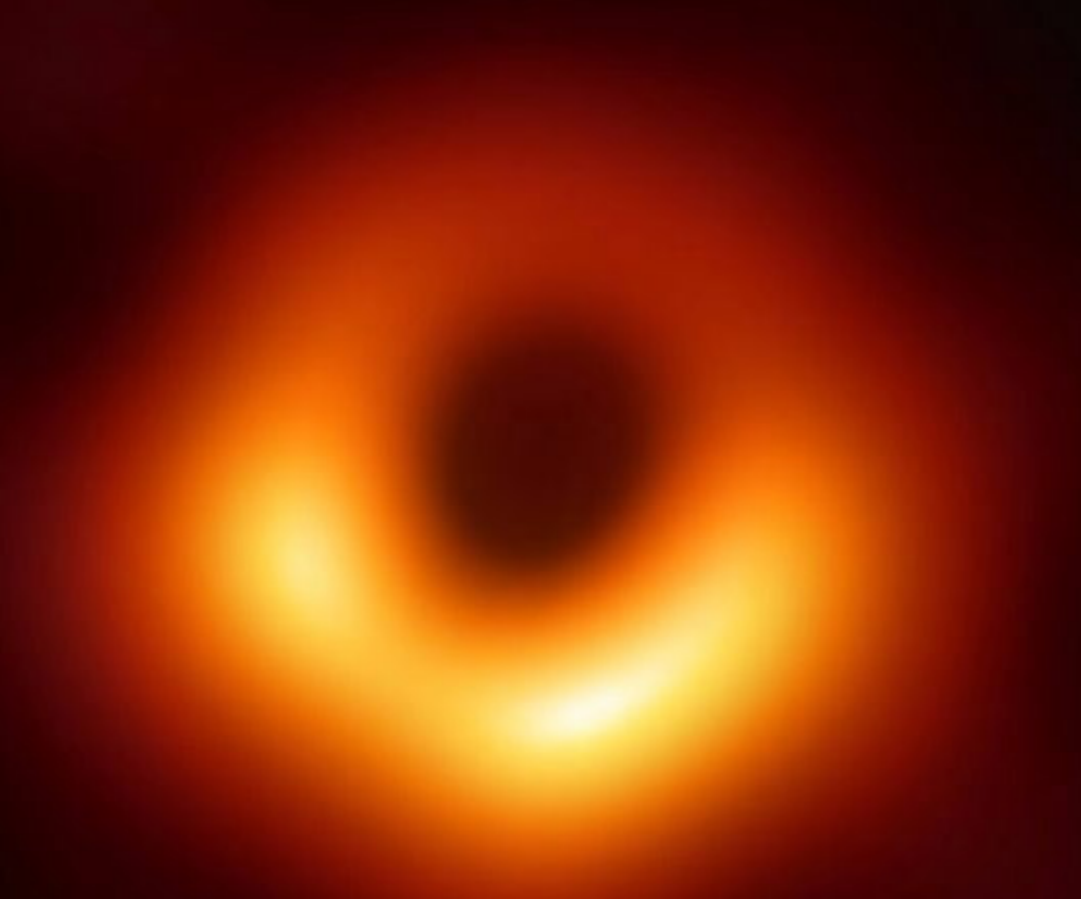
El sensor óptico también puede funcionar como un dispositivo del tipo Point of Care, en el que se pueden realizar pruebas médicas in situ con diagnósticos eficaces y en etapa temprana, lo cual permitiría tener un mejor cuidado de la salud física y emocional del paciente. El desarrollo de sensores ópticos integrados tendrá un fuerte impacto en el ámbito social, ya que podrían ser usados por personas de escasos recursos o en lugares de difícil acceso para el diagnóstico de enfermedades crónico-degenerativas como diabetes, hipertensión y cáncer. ■

# CLUB DE CIENCIAS DEL CIO



JUEGA + DESCUBRE + CREA





PRIMERA OBSERVACIÓN DE UN  
**AGUJERO NEGRO**

VICENTE ABOITES

**Se ha mostrado la primera imagen de un agujero negro.** Esto se logró utilizando una red mundial de telescopios llamada “Event Horizon Telescope Collaboration” (EHT). De este modo se capturó la imagen de un agujero negro supermasivo que se encuentra en el centro de la galaxia Messier 87 localizada a 55 millones de años luz de la tierra y con una masa de 6,500 millones de veces la masa del Sol.

Sabemos que los científicos usan diferentes conceptos para interpretar qué es precisamente un agujero negro. El Dr. E. Curiel, investigador de las Universidades de Harvard en Estados Unidos y de Munich en Alemania, en su artículo “The many definitions of a black hole” (las variadas definiciones de un agujero negro) publicado en la prestigiosa revista *Nature Astronomy*, 2019; 3 (1) discute este asunto. Uno de los aspectos más interesantes del trabajo del Dr. Curiel es su énfasis en el hecho de que un agujero negro es un concepto o entidad que se consideró inaccesible a la observación y a la experimentación. Al menos no del mismo modo en que, por ejemplo, una polea lo es. Todo trabajo en este tema supone de antemano que los agujeros negros existen y es inevitable cierto grado de especulación dentro del campo de la física teórica. Esto a su vez tiene el problema de que cada científico aborda el tema de los agujeros negros desde su particular especialidad o subdisciplina de la física como la óptica, la física cuántica y desde luego, la astrofísica, utilizando el lenguaje y conceptos de su área teórica específica. Esto es de acuerdo al Dr. Curiel lo que hace a la investigación en agujeros negros fascinante; la interrelación de lenguajes particulares para abordar aristas científicas, metafísicas y metodológicas.

Sabemos que un agujero negro es una región de espacio-tiempo con tan intensos campos gravitacionales que nada, incluyendo partículas y radiación electromagnética, puede escapar de allí. La teoría general de la relatividad de Albert Einstein publicada en 1915 predice que una masa suficientemente grande puede deformar el espacio-tiempo y formar un agujero negro. La región límite a partir de la cual nada puede escapar se llama “horizonte de eventos” y es en esta región en donde se emite la llamada “radiación de Hawking”. Un año después de que Einstein publica su teoría de la relatividad Karl Schwarzschild en 1916 encontró soluciones a las ecuaciones de Einstein describiendo los agujeros negros. En su momento se consideró que solo era una curiosidad matemática sin embargo el descubrimiento de las estrellas

de neutrones a finales de la década de los sesentas despertó el interés por el estudio de objetos compactos colapsados sugiriendo que los agujeros negros no eran solamente una curiosidad matemática sino también una posibilidad astrofísica real. La teoría predice que después de que un agujero negro se forma sigue creciendo a partir de la masa que absorbe de los objetos que se encuentran en su alrededor. Se sabe que en el centro de cada galaxia hay un agujero negro supermasivo. A pesar de que su interior es invisible la existencia de un agujero negro puede inferirse a partir de su inte-

racción con objetos cercanos, de hecho la materia que cae en un agujero negro es acelerada y calentada, emitiendo por tanto radiación y formando unos de los objetos más brillantes del universo. Gracias al trabajo de colaboración astronómica mundial, tenemos ahora por primera vez la oportunidad de observar un agujero negro. ▀

#### Referencias

*Nature Astronomy*, 2019, (3) 1

*Periódico AM*, Febrero 16, 2019



# ILUSIONES ÓPTICAS

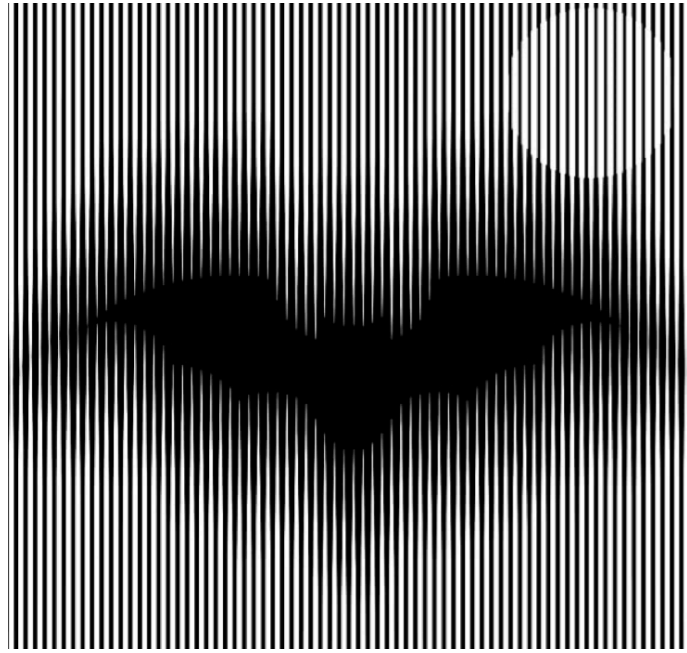
VICENTE ABOITES

**Las llamadas “ilusiones ópticas”** son precisamente eso, o dicho de otro modo: confusiones perceptuales dirigidas al sentido de la vista. Estas ilusiones nos dicen mucho sobre la forma como nuestro cerebro interpreta la información visual que recibe. No olvidemos que todo lo que decimos “ver” no es sino una reconstrucción que realiza nuestro cerebro a partir de la información adquirida a través del sentido de la vista. Los especialistas consideran que el ser humano interpreta el ochenta por ciento de la realidad, esto implica que solo vemos el mundo en un veinte por ciento pues el resto es interpretado por nosotros. Las ilusiones ópticas nos muestran que lo que vemos a través del sentido de la vista no es objetivo sino resultado de un proceso en el cual el cerebro puede sustancialmente modificar la interpretación de la información recibida por la vista.

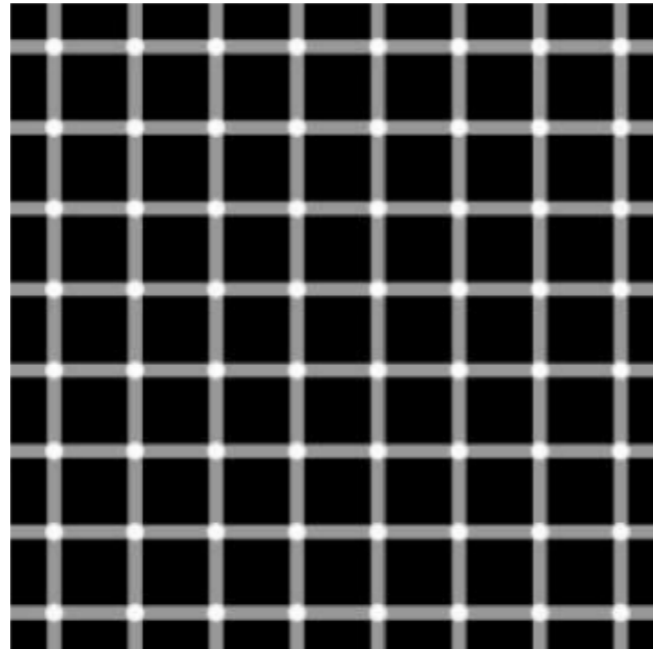
En este sentido lo que llamamos realidad es de hecho producto de nuestra interpretación. Las ilusiones ópticas pueden causar confusión en la forma, dimensión, color y perspectiva. Algunos ejemplos ilustrativos son los siguientes:



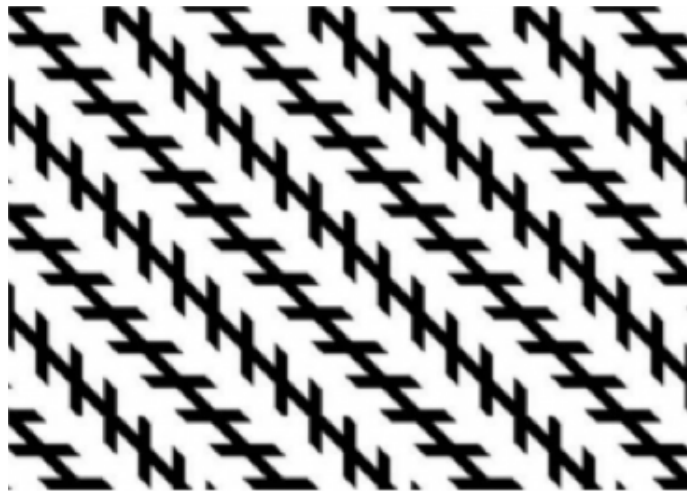




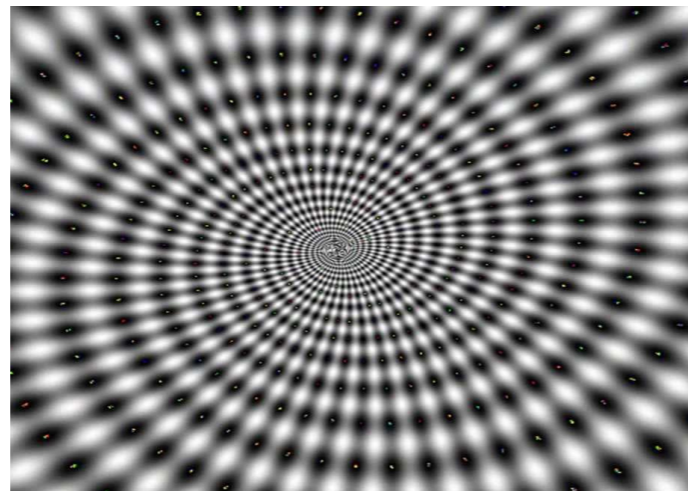
En este caso la imagen estática pareciera que está moviéndose.




En las intersecciones de los cuadros no hay puntos negros.



Las líneas diagonales en realidad son paralelas.



El espiral no tiene movimiento.

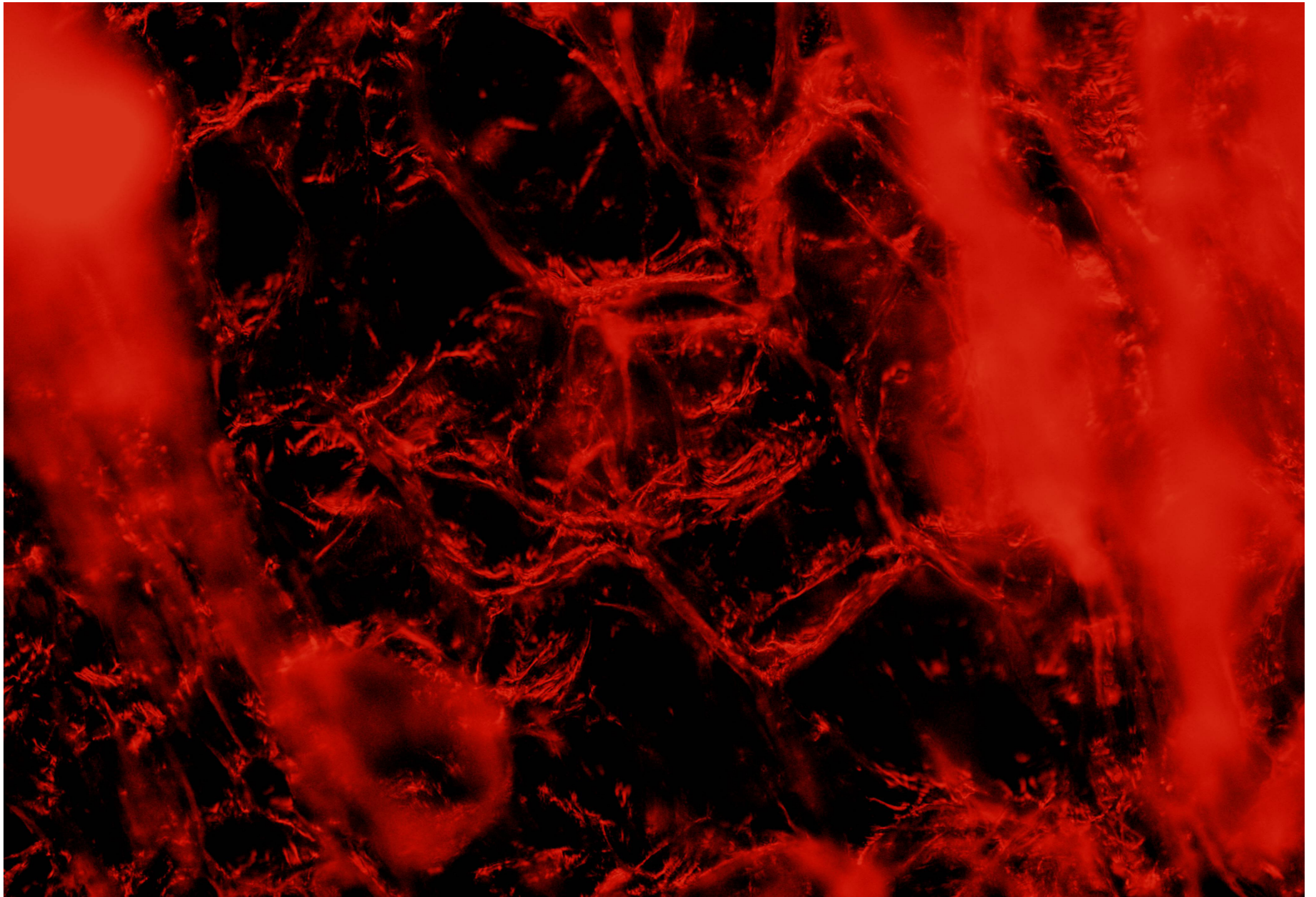
Muchos sitios web están dedicados a explorar el tema de las ilusiones ópticas, allí se pueden encontrar muchos más ejemplos fascinantes. 

# CLUB CIO DE ASTRONOMÍA



ÚLTIMO JUEVES DE CADA MES  
MÁS INFORMACIÓN EN REDES SOCIALES

Loma del Bosque #115, Col. Lomas del Campestre Tel. 4414200 Ext. 129



# PUBLICACIONES RECIENTES



## 1. AUTORES

Ulises R. Meza (Estudiante CIO), Bernardo S. Mendoza (CIO),  
W. Luis Mochán

## TÍTULO

"Second-harmonic generation in nanostructured metamaterials"

## REVISTA

Physical Review B

## EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

Los metamateriales son un medio o materia estructurada artificialmente que presentan propiedades electromagnéticas no encontradas en ninguna otra materia o material de la naturaleza; las propiedades adquiridas de estos son debido a las características de la estructura artificial en sí, más que debido a sus constituyentes elementales. En un metamaterial nanoestructurado, se combinan dos tipos de materiales "normales" que interactúan en formas geométricas diseñadas a placer para provocar una interacción electromagnética que conlleve al metamaterial a superar sus propiedades ópticas cuando se comparan con materiales estándares encontrados en la naturaleza. El término nanoestructurado se refiere a que el tamaño de los materiales combinados, tienen dimensiones de unos cuantos nanómetros ( $1 \times 10^{-9}$  metros, 100 mil veces más delgado que el grosor promedio de un cabello humano). Cuando a un metamaterial nanoestructurado se le realiza una inclusión geométrica, se modifican sus propiedades ópticas. Estas inclusiones se refieren a una modificación geométrica controlada representada por provocar un boquete en la estructura del metamaterial. Las inclusiones pueden ser centrosimétricas o modificar su geometría para que no lo sean. En este artículo, los autores presentan una teoría en la cual pueden calcular la geometría de un sistema de este tipo a partir de su polarización no lineal, mediante algoritmos numéricos. De esta forma, los autores demuestran que es posible utilizar inclusiones geométricas en ciertos metamateriales nanoestructurados para controlar ciertas propiedades ópticas del mismo. Aplicaciones potenciales estarían enfocadas, por ejemplo, a mejorar la multiplexación de datos en fibras ópticas estándares utilizadas para comunicaciones ópticas.

PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.125408>

## 2. AUTORES

Sergio Calixto (CIO), Valeria Piazza (CIO), Virginia Francisca  
Marañón-Ruiz

## TÍTULO

"Stimuli-responsive systems in optical humidity-detection devices"

## REVISTA

Materials

## EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

La medición de la humedad relativa (HR) en el ambiente es importante para diversas aplicaciones de la actividad humana como lo son la realización de ciertos experimentos de laboratorio en ambientes controlados. Muchos dispositivos diseñados para este fin son electrónicos lo que implica que, bajo ciertas atmosferas de gases explosivos, es altamente riesgoso su uso. Como alternativa se han sugerido materiales poliméricos definidos como sistemas de estímulo-respuesta. Estos presentan cambios cuando son sujetos a parámetros externos como el PH, temperatura, solventes, radiación, campos electromagnéticos y algunos detonadores químicos como la glucosa. Es entonces que un estímulo específico puede disparar cambios contundentes o graduales que se generan dependiendo de los niveles específicos del estímulo; estos cambios son reversibles. Es por esto que los estudios de nuevos polímeros con propiedades dinámicas, han sido ampliamente explorados. En este trabajo, los autores proponen el uso de materiales tipo estímulo-respuesta poliméricos para detectar niveles de HR, siendo su principal característica el ser hidrofílicos (fácilmente estimulados por humedad). Como principio de funcionamiento, estos polímeros hidrofílicos absorben moléculas de agua que quedan atrapadas en la red molecular de la película polimérica. El resultado es un engrosamiento de la película polimérica, lo que cambia alguna de sus propiedades ópticas como lo es el índice de refracción. Utilizando el principio de funcionamiento de una rejilla de difracción, los cambios en la película pueden ser detectados, ya que una fina rejilla de difracción puede ser grabada sobre la superficie de la película polimérica, lo que se traduce en que las intensidades de los patrones de difracción de una luz incidente sobre este material cambiarán con respecto al engrosamiento de la misma. A partir de este principio, es posible obtener una gráfica que relacione la intensidad de los patrones de difracción como función de la HR.

PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.3390/ma12020327>

## 3. AUTORES

Aarón de Jesús Palacios-Rodríguez (Estancia CIO), Mauricio Flores-Moreno (CIO), Laura Edith Castellano, Ramón Carriles (CIO), Iraís Quintero-Ortega, Mario Murguía-Pérez, Guillermo Cruz, Juan Vargas-Mancilla, Arturo Vega-González, Birzabith Mendoza-Novelo

## TÍTULO

"Effect of varying the crosslinking degree of a pericardial implant with oligourethane on the repair of a rat full-thickness abdominal wall defect"

## REVISTA

Journal of Biomaterials Applications

## EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En el estudio de implantes biológicos en ingeniería de tejidos, la estabilidad y bioactividad de estos son controlados a partir del proceso conocido como entrecruzamiento de colágeno. El entrecruzamiento de colágeno en biomateriales, es fundamental para incrementar la estabilidad y reducir la degradación de, por ejemplo, un implante de tejido. En este trabajo, los autores proponen una metodología útil para controlar el nivel de entrecruzamiento de colágeno en implantes enfocados a reconstruir defectos en la pared abdominal de ratas de laboratorio. El método se basa en la utilización de oligouretanos en estos implantes entrecruzados. El estudio sigue la evolución de implantes abdominales a partir de tejido de pericardio bovino, el cual se procesa para obtener al menos dos grados de entrecruzamiento, al ser injertados en la pared abdominal defectuosa de ratas de laboratorio. El seguimiento ha demostrado que posterior al implante, la biodegradación ha sido retardada. También se proporciona un estudio imagenológico de las fibras de colágeno de los implantes utilizando metodologías basadas en la generación de segundo armónico del colágeno. Estos resultados sugieren que controlar el grado de entrecruzamiento en implantes modificados con oligouretanos, puede ser una estrategia exitosa para balancear la biodegradación y remodelación en la reparación quirúrgica de tejidos suaves.

## PARA UNA CONSULTA DETALLADA

<https://doi.org/10.1177/0885328218817890>

## 4. AUTORES

Manuel Servín (CIO), Moises Padilla (CIO), Ivan Choque (Estudiante CIO), Sotero Ordoñez (Estudiante CIO)

## TÍTULO

"Phase-stepping algorithms for synchronous demodulation of nonlinear phase-shifted fringes"

## REVISTA

Optics Express

## EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En metrología óptica, los algoritmos síncronos basados en el desplazamiento controlado de la información de fase de interferogramas, estiman la medición de fase en términos de franjas de interferencia moduladas por una portadora con respecto a una referencia lineal. La señal portadora lineal de un interferograma, es obtenida a partir de dispositivos de retroalimentación, de lazo cerrado o bien mediante dispositivos piezo-eléctricos de microdesplazamiento. Cuando se analiza el espectro de Fourier de estas portadoras lineales, es constituido por deltas de Dirac exclusivamente. En el caso de la existencia de desplazamientos de fase no lineales o no controlados, el espectro de Fourier de esta portadora resulta en un ensanchamiento del espectro. En el proceso de lidiar con este problema, se utilizan precisamente algoritmos síncronos de desplazamiento de fase controlado para demodular interferogramas con pasos de fase no lineales. El costo es la presencia de un término conocido como pistón espurio, el cual erróneamente se interpreta como un cambio físico real en un objeto caracterizado con interferometría. En este trabajo, los autores delimitan matemáticamente el origen de este término espurio y proponen el diseño de algoritmos de desplazamiento de fase síncronos no lineales para lidiar con este problema.

## PARA UNA CONSULTA MÁS DETALLADA

<https://doi.org/10.1364/OE.27.005824>

## 5. AUTORES

Bogdan Opanchuk, Laura Rosales-Zárate (CIO), Margaret D. Reid, Peter D. Drummond

## TÍTULO

"Robustness of quantum Fourier transform interferometry"

## REVISTA

Optics Letters

## EXTRACTO DE LA PUBLICACIÓN

En este trabajo, los autores analizan el efecto de la decoherencia y ruido existente en la interferometría cuántica a partir del análisis de su transformada de Fourier. La decoherencia cuántica explica el proceso de como un estado cuántico entrelazado puede dar lugar a un estado físico clásico (no entrelazado), es decir, en qué momento un sistema físico ya no presenta efectos cuánticos y exhibe un comportamiento clásico. El método de "muestreo de bosones" es una técnica empleada para analizar redes fotónicas lineales. El análisis se basa en el muestreo de bosones en una red fotónica, utilizada para medir gradientes de fase óptica a partir de correlaciones cuánticas de alto orden. Este tipo de metrología contemporánea, es robusta inclusive a cambios de fase óptica debido a la decoherencia intrínseca del sistema cuántico.

## PARA UNA CONSULTA MÁS DETALLADA

<https://doi.org/10.1364/OL.44.000343>





“Trabajando para el ÉXITO de nuestros Clientes”

## OFRECEMOS CURSOS A LA MEDIDA, ADECUADOS A LAS NECESIDADES DE SU EMPRESA

CURSOS	FECHA	SEDE	DURACIÓN
ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (MSA 4 <sup>º</sup> . EDICIÓN)	4 y 5 Mayo	LEÓN	16 hrs
BÁSICO DE ILUMINACIÓN	13 Junio	AGUASCALIENTES	8 hrs
COLORIMETRÍA BÁSICO	26 y 27 Junio	AGUASCALIENTES	16 hrs
MICROSCOPIA ÓPTICA	20, 21 y 22 Agosto	LEÓN	24 hrs
FORMULACIÓN DE COLOR TEXTIL A NIVEL LABORATORIO	28 y 29 Agosto	AGUASCALIENTES	16 hrs
SISTEMAS LÁSER EN LA INDUSTRIA	19 Septiembre	AGUASCALIENTES	5 hrs
TALLER DE CALIBRACIÓN EN METROLOGÍA DIMENSIONAL	24, 25 y 26 Septiembre	LEÓN	24 hrs
TALLER DE FIBRA ÓPTICA CON APLICACIÓN A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	30 y 31 Mayo	LEÓN	16 hrs
ADMINISTRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN CUBRIENDO EL REQUERIMIENTO 7.6 DE LAS NORMAS ISO 9001-ISO/TS16949	29 y 30 Octubre	LEÓN	16 hrs
COLORIMETRÍA BÁSICO	6 y 7 Noviembre	AGUASCALIENTES	16 hrs

## TAMBIÉN CONTAMOS CON CURSOS ESPECIALIZADOS

- ✓ HOLOGRAFÍA DIGITAL (MAPAS DE VIBRACIÓN)
- ✓ TECNOLOGÍA EN INFRARROJO
- ✓ TALLER DE FABRICACIÓN ÓPTICA
- ✓ TECNOLOGÍA LÁSER
- ✓ ÓPTICA BÁSICA
- ✓ METROLOGÍA ÓPTICA
- ✓ PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

### INFORMES

capacitacion@cio.mx

Loma del Bosque 115 · Col. Lomas del Campestre · León, Guanajuato, México · Tel. (477) 441 42 00 Ext. 157



# COMITÉ DE ÉTICA



La familia es la célula en la que nacen los derechos y obligaciones de cada miembro, el bienestar y la integración, donde se observa o no la equidad y la igualdad entre los integrantes, valores que serán trasladados más tarde a diferentes contextos de la sociedad.

SI TÚ NOS EDUCAS IGUAL  
SEREMOS IGUALES



Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.

¡NO TE CALLES!

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, OIC o bien consulta en el INMUJERES: 01 (55) 5322-6030 o al correo: [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)



¿Qué es el acoso cibernético o ciberacoso? es el uso de medios de comunicación digitales para acosar a una persona o grupo de personas, mediante ataques personales, divulgación de información confidencial o falsa entre otros medios. Es decir, se considera *ciberacoso*, a todo aquello que se realice a través de los dispositivos electrónicos de comunicación con el fin intencionado de dañar o agredir a una persona o a un grupo.



Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.

¡NO TE CALLES!

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, OIC o bien consulta en el INMUJERES: 01 (55) 5322-6030 o al correo: [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN ÓPTICA, A.C.