



# [NC]

## NOTICIO

### XXXI



TECNOLOGÍAS EMERGENTES



EDICIÓN / ABRIL-JUNIO DE 2022

**ESTADOS NO SEPARABLES DE LUZ**  
DE LA ÓPTICA CUÁNTICA A LA ÓPTICA CLÁSICA

**INTEGRANDO REALIDAD AUMENTADA**  
A UN ROBOT COLABORATIVO

**TECNOLOGÍA DE CUARTO LIMPIO**  
Y APLICACIONES EN EL CIO

**EL FUTURO DE LOS LÁSERES**  
DE FIBRA ÓPTICA



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

# DIRECTO RIO

**DIRECTOR GENERAL**  
DR. RAFAEL ESPINOSA LUNA  
DIRECCION.GENERAL@CIO.MX

**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN**  
DR. ALEJANDRO MARTÍNEZ RÍOS  
DIRECCION.INVESTIGACION@CIO.MX

**DIRECTOR DE FORMACIÓN ACADÉMICA**  
DR. RAÚL ALFONSO VÁZQUEZ NAVA  
DIRECCION.ACADEMICA@CIO.MX

**DIRECTOR DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**  
DR. BERNARDINO BARRIENTOS GARCÍA  
DIRECCION.TECNOLOGICA@CIO.MX

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

**EDITORA EJECUTIVA**  
ELEONOR LEÓN TORRES

**EDITORES CIENTÍFICOS**  
CHARVEL MICHAEL LÓPEZ GARCÍA, NATIELY HERNÁNDEZ SEBASTIÁN, FERNANDO ARCE VEGA

**DISEÑO EDITORIAL**  
LUCERO ALVARADO RAMÍREZ

**COLABORACIONES**  
CARMELO ROSALES GUZMÁN, DANIEL TRISTÁN ESQUIVEL, EDUARDO COUTIÑO, DANIEL MALACARA DOBLADO,  
FERNANDO MARTELL, CARLOS ALBERTO PAREDES ORTA, LORENA RODRÍGUEZ ISLAS, GERARDO FLORES,  
GILBERTO ANZUETO SÁNCHEZ, RICARDO VALENZUELA GONZÁLEZ

**IMÁGENES**  
ARCHIVO FOTOGRÁFICO DEL CIO, IMAGE BANK

# EDITORIAL

## ***Apreciadas y apreciados lectores del NOTICIO:***

Vivimos tiempos de grandes cambios en todas las áreas del conocimiento humano; muchos de ellos como respuesta a retos naturales, pero otros tantos debido a la intervención humana. Las instituciones tradicionalmente se han creado con el objetivo de acotar las áreas de su investigación y desarrollo y para mayor claridad han sido nombradas con el objeto de las mismas.

El nombre del Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO) puede indicar que el objeto de su ser y quehacer es la óptica. El grueso de la población directamente la relaciona con la optometría, lo cual es retroalimentado por su logo, que consta de lentes convergentes y divergentes, por las que un haz de luz es transmitido a lo largo de su eje óptico. El hecho de acompañar su nombre como Asociación Civil, también remite a conceptualizarla como institución ajena a compromisos del orden federal. La realidad, es que el CIO es un Centro que nació teniendo como tema de su desarrollo central el proveer de soluciones a la instrumentación en donde intervienen lentes, recubrimientos y su interacción con la luz (diseño e ingeniería óptica). A medida que el Centro ha venido creciendo, se han incorporando nuevas líneas de investigación y desarrollo tecnológico alrededor de la óptica, en las que se han formado especialistas a nivel Maestría y Doctorado, pero en donde también han sido fuertemente influenciados en su formación especialistas externos en los niveles de licenciatura hasta posgrado (en un número posterior se hablará de dicho tema).

Como ha sido citado en otras ocasiones, el CIO es una institución en la que todo su presupuesto proviene del orden federal, es asociación civil y cuenta con personalidad jurídica y patrimonio propios, con autonomía de decisión técnica, operativa y administrativa. A la vez, es una entidad paraestatal asimilada al régimen de las empresas de participación estatal ma-

yoritaria y cuenta con el carácter de Centro Público de Investigación, todo ello de acuerdo a las respectivas leyes vigentes. Por ende, todas y todos sus empleados somos servidores públicos.

El número que hoy tenemos el honor de poner a su disposición es un fiel testimonio del grado de crecimiento, madurez y competitividad que el Centro ha alcanzado con el tiempo (después de 42 años de su creación). Las contribuciones que nos aporta su propio personal, permiten situarnos como una institución en donde la óptica juega un papel de soporte a diversas disciplinas que la utilizan como herramientas de investigación y de aplicación en áreas sustantivas del quehacer humano, donde su potencial incidencia es a nivel mundial, sin importar que seamos el tercer o cuarto Centro Público de Investigación más pequeño dentro de los 26 Centros y Colegios que conformamos el Sistema Nacional de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del país.

Agradecemos enormemente el compromiso y apoyo institucional con que nos distinguen quienes ahora hacen posible la publicación de este número del NotiCIO (XXXI), así como al entusiasmo y creatividad de su Cuerpo Editorial y de Diseño.

Después de haber dado lectura a todas las contribuciones aquí presentadas, quizás ya sea tiempo de adecuar el nombre de nuestra institución a uno que mantenga un mayor tiempo de obsolescencia, que le de honor a su actual naturaleza y a su prospectiva de crecimiento, que sirva para orientar a nuestra ciudadanía a identificarnos y a consultarnos sobre las distintas opciones de solución a sus necesidades, dentro del cada vez más amplio margen de nuestras capacidades educativas, científicas, tecnológicas y de innovación, comprometidas y comprometidos siempre con el desarrollo y bienestar de nuestra sociedad, convencidas y convencidos de que EL TRABAJO TODO LO VENCE.

FRATERNALMENTE  
DR. RAFAEL ESPINOSA LUNA / DIRECTOR GENERAL DEL CIO

## 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, optoelectrónica, 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

# INDICE

**4**  
EDITORIAL

**10**  
ESTADOS NO SEPARABLES DE LUZ: DE LA ÓPTICA CUÁNTICA A LA ÓPTICA CLÁSICA

**15**  
ENCENDIDO DE LUCES COMO POR ARTE DE MAGIA

**18**  
EL USO DE LA MELANINA EN APLICACIONES ENERGÉTICAS: RETOS & OPORTUNIDADES

**24**  
TECNOLOGÍA DE CUARTO LIMPIO & APLICACIONES EN EL CIO

**33**  
DESCUBRIENDO ECUACIONES DE MANERA AUTOMÁTICA UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**36**  
LENTES ASFERICAS

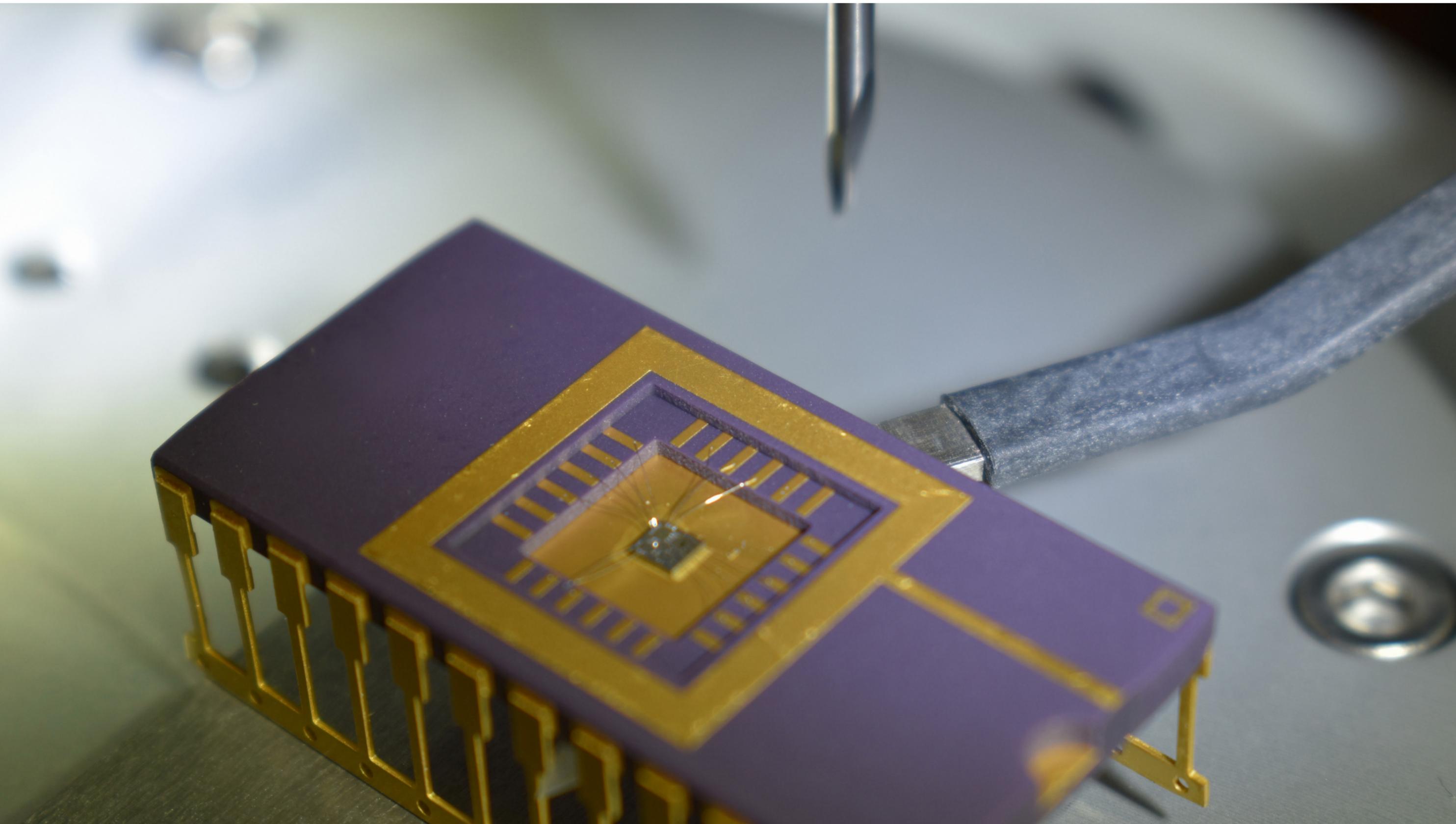
**42**  
INTEGRANDO REALIDAD AUMENTADA A UN ROBOT COLABORATIVO

**46**  
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

**53**  
EL FUTURO DE LOS LÁSERES DE FIBRA ÓPTICA

**56**  
TECNOLOGÍA DE SOFTWARE EMERGENTE PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

**64**  
CALENDARIO DE CURSOS



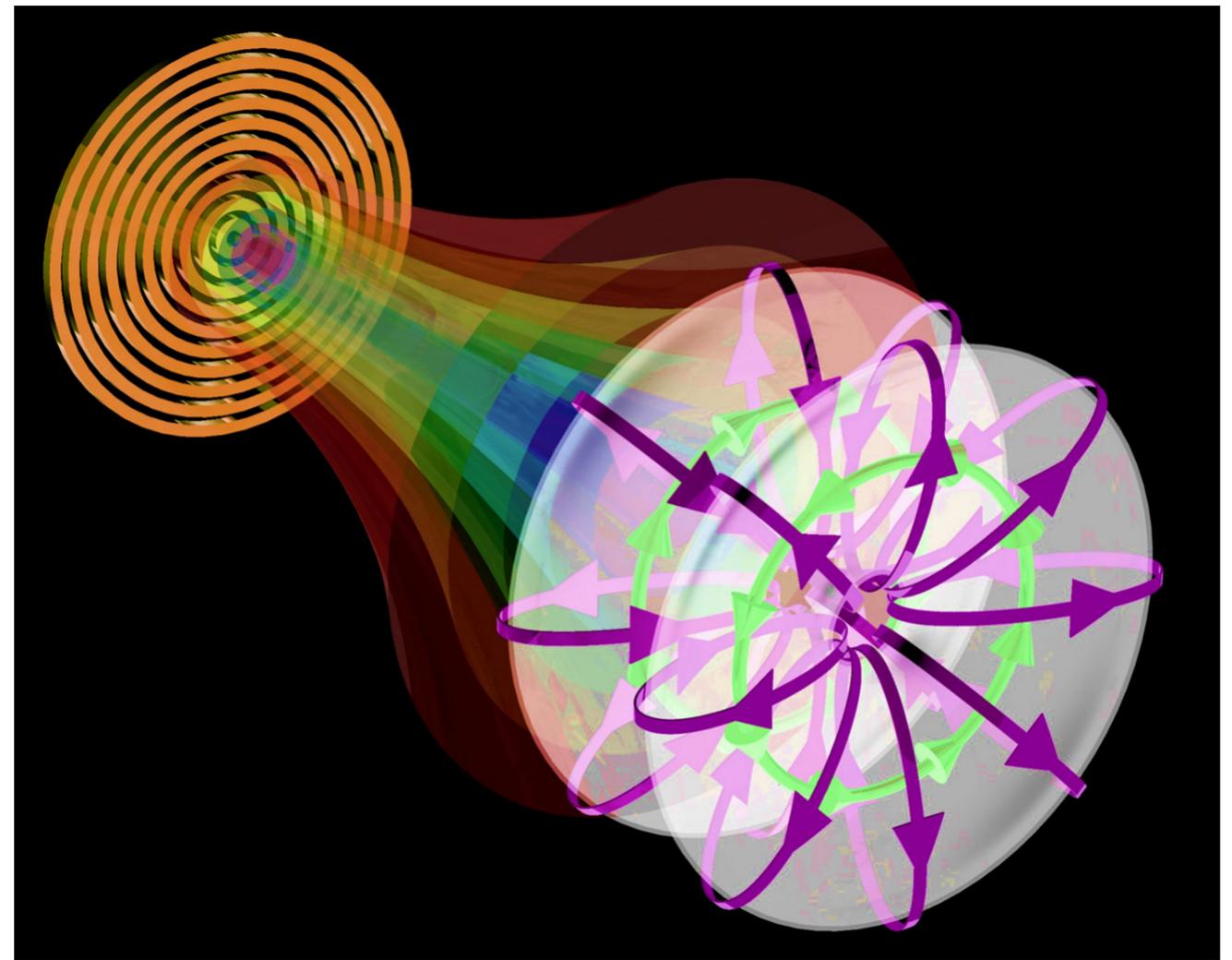
# ESTADOS NO SEPARABLES DE LUZ:

DE LA ÓPTICA CUÁNTICA A LA ÓPTICA CLÁSICA

CARMELO ROSALES

El control de los diversos grados de libertad de la luz, tales como su polarización, su forma espacial, su longitud de onda, su amplitud, su coherencia, entre otros, es de suma importancia para la óptica moderna, tanto a nivel clásico como cuántico. El control de estos grados de libertad ha permitido una gran cantidad de aplicaciones en áreas tan diversas como las telecomunicaciones, la metrología

óptica, la industria manufacturera o la medicina. En el área de las telecomunicaciones, dicho control ha proporcionado la herramienta perfecta para conectar a personas del mundo entero por medio de ondas de luz viajando por kilómetros y kilómetros de fibra óptica tendidos en el fondo de los océanos. En el área de la medicina, la cantidad de aplicaciones que se han desarrollado son innumerables, cirugías



láser, técnicas de diagnóstico y tratamiento de enfermedades, entre muchas más. En el área de la manufactura, es muy común el uso de láseres de alta potencia para cortar, soldar, marcar, taladrar, etc., todo tipo de materiales. Finalmente, en el área de la óptica cuántica el control de la forma de la luz, proporciona una herramienta poderosa para conseguir sistemas de comunicaciones con mayor seguridad.

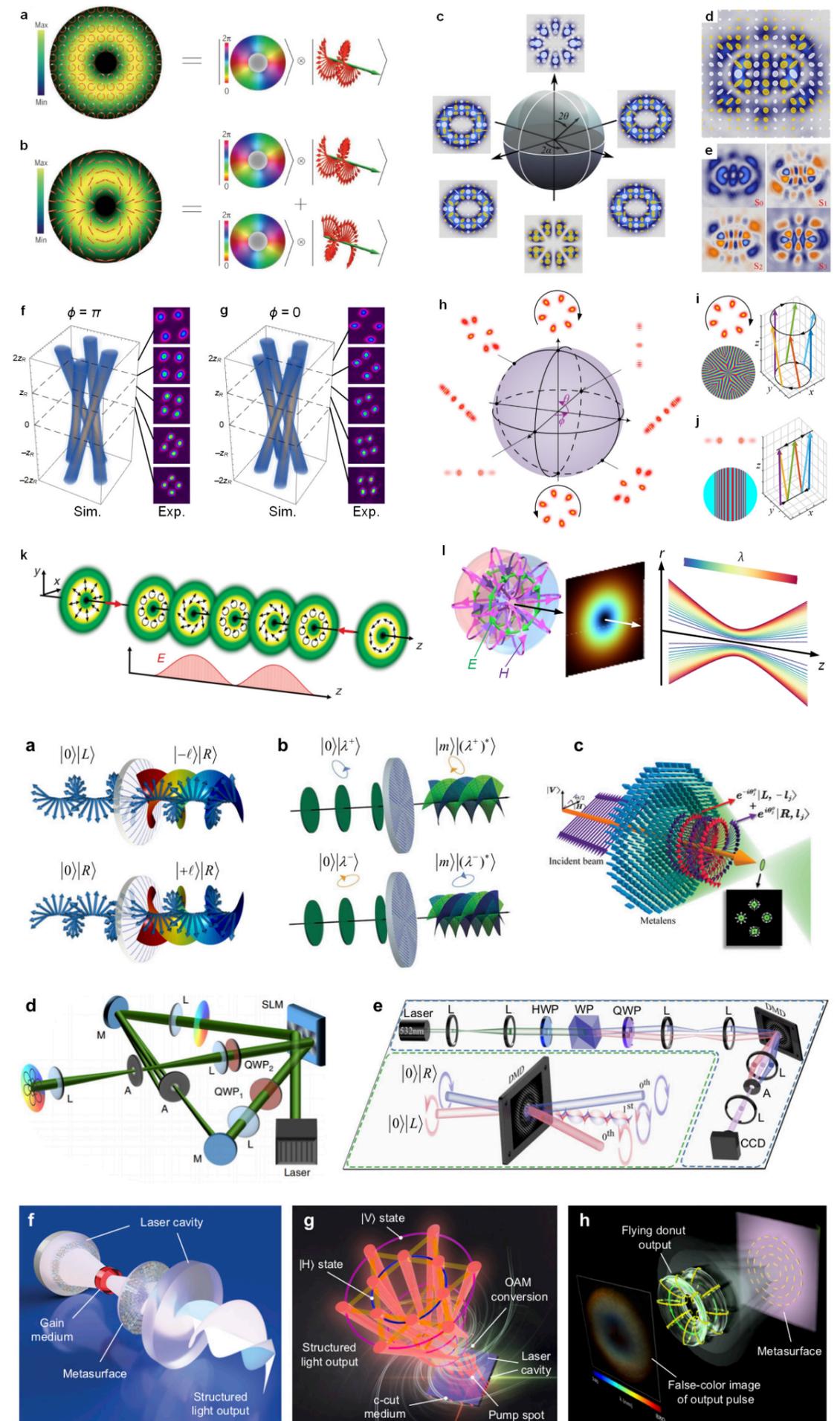
Tradicionalmente, los diversos grados de libertad de la luz siempre se han estudiado de forma independiente sin considerar el potencial que existe en la manipulación de dos o más de ellos acoplados de forma no-separable. Sin embargo, en años recientes el estudio de dichos haces, a los que se ha denominado no-separables, empezó a cobrar relevancia. De forma importante, este tipo de ha-

ces guarda una similitud relevante con los estados enredados de la mecánica cuántica, razón por la cual también se les conoce como estados clásicamente-enredados. Dicha similitud está abriendo nuevas brechas en el campo de la ciencia y la tecnología, dando lugar no solo a nuevos conceptos fundamentales sino también a nuevas aplicaciones. Un ejemplo particular de este tipo de haces, que se ha popularizado durante la última década, son los haces no-separables en sus grados de libertad espacial (relacionado con la forma del haz) y de polarización (relacionado con la oscilación del campo electromagnético de la luz). Este tipo de haces, a los que también se les conoce como vectoriales, han demostrado un potencial en crecimiento en el desarrollo de nuevas aplicaciones. El sensado remoto constituye un primer ejemplo, en donde este tipo de haces permite medir de forma simultánea la posición y velocidad de objetos distantes. Un segundo ejemplo está relacionado con la resistencia que este tipo de haces presenta a las perturbaciones ocasionadas, por ejemplo, al propagarse en condiciones adversas como tejido biológico o la turbulencia atmosférica. Dicha resistencia los convierte en un candidato ideal para aplicaciones en áreas tan diversas como las telecomunicaciones ópticas o la medicina.

De forma importante, la similitud que los haces no-separables tienen con los estados cuánticos

enredados, establecen un puente entre el mundo cuántico y el mundo clásico, permitiendo utilizar las herramientas cuánticas para describir muchas de las propiedades de los haces no-separables. Más aún, dicha similitud proporciona una plataforma de lanzamiento para el desarrollo de aplicaciones basadas completamente o de forma parcial en esta similitud, abriendo así el camino a aplicaciones casi imposibles de realizar con estados cuánticos pero mucho más sencillas estados clásicamente-enredados. Uno de los mejores ejemplos es la reciente demostración que los estados vectoriales se comportan de forma muy similar a los fotones enredados en condiciones adversas como la propagación en el espacio libre, esta demostración proporciona una herramienta útil para facilitar la implementación de sistemas de comunicaciones cuánticos de alta seguridad.

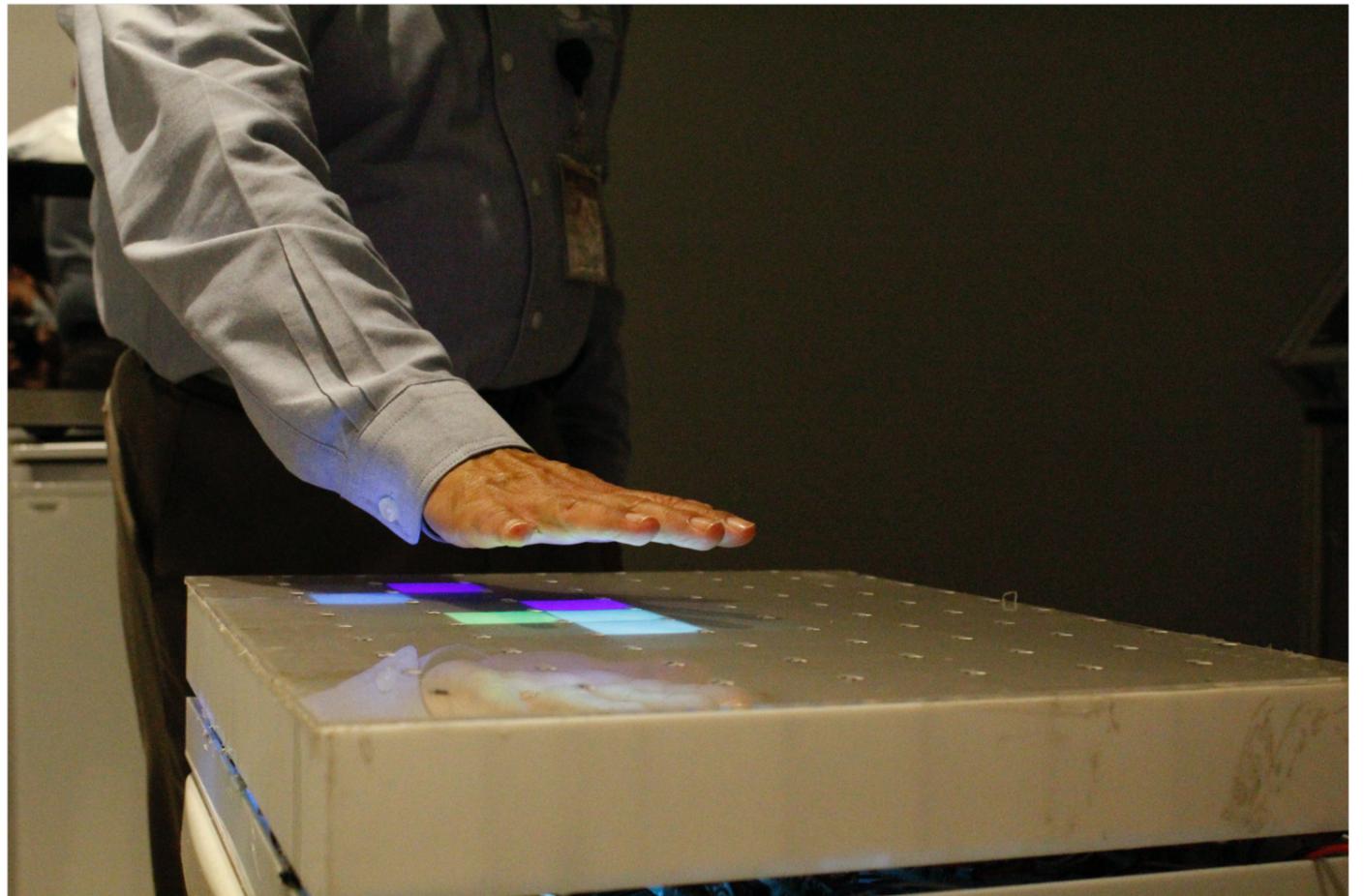
Un estudio detallado de todas las similitudes que existen entre los estados no separables o clásicamente-enredados y los estados enredados de la mecánica cuántica, así como de las diversas aplicaciones basadas en dicha similitud fue publicado recientemente en la prestigiosa revista *Laser and Photonics Reviews*, que cuenta con un factor de impacto de 13.14. Dicha publicación constituye una colaboración entre el Dr. Carmelo Rosales-Guzmán del CIO y el Dr. Yijie Shen de la universidad de Southampton en el Reino Unido. 





DANIEL TRISTÁN ESQUIVEL

# ENCENDIDO DE LUCES COMO POR ARTE DE MAGIA



A mediados del siglo pasado, alrededor de los 50's, se popularizó un proyecto llamado "Aplaudidor", consistía en encender y apagar un foco con el sonido generado por un aplauso, en otras palabras, un apagador sin necesidad de tocar físicamente algún componente. Con el avance de la electrónica, sobretodo, la creación del transistor, esta idea tuvo un boom, sentando la base para la creación de sensores, que actualmente son muy populares, llegando a ser tan complejos que ahora pueden ser activados por voz o movimiento, pudiendo distinguir una persona de otra para evitar que alguien desconocido lo active.

En 1958 el ingeniero Peppert Fush logró crear un interruptor que se activaba al acercarse un objeto o la mano, la base para esta detección fue la capacitancia de dos placas, sin embargo, había un problema, debido a los componentes que empleó, entre ellos los transistores, su dispositivo se activaba "solo", esto ocurría cuando había drásticos cambios de temperatura y fue hasta 1969 cuando

la empresa Honeywell creó un sensor con compensación de temperatura, nacían los sensores inteligentes. En este año se desarrollaron sensores basados en otro tipo de señal, la radiación infrarroja la empleó William Herschel para crear el primer sensor infrarrojo. A partir de este momento se desarrollaron sensores basados en señales luminosas, campos magnéticos, sonido, flujo de aire, entre muchas otras variables físicas.

Estos componentes han tenido un gran desarrollo debido a las ventajas que tienen con respecto a los interruptores táctiles o mecánicos, las ventajas son: duran más tiempo al no tener partes móviles, el activarlos es mucho más cómodo para las personas, especialmente con capacidades diferentes, evitan contagios de enfermedades altamente contagiosas como el COVID19, reducen el desperdicio de materiales, aumentan la seguridad de los lugares, casas o establecimientos, se pueden ubicar en lugares poco accesibles para las personas activándose de manera remota, son

base fundamental para los sistemas automatizados y robóticos.

En la actualidad los encontramos en cualquier parte, desde la habitación cuya luz se enciende cuando entramos en ella y se apaga una vez que salimos de la habitación, o las puertas de los supermercados que se abren apenas nos acercamos a ellas. En los sanitarios, los dispensadores de jabón o gel antibacterial que despachan la cantidad suficiente de jabón o gel con solo acercarse la mano o la llave del lavabo que deja salir el agua cuando acercamos las manos. En los autos modernos, nos envían alarmas audibles si estamos muy cerca de un auto, o la cajuela que podemos abrir con solo pasar el pie por debajo de la defensa trasera. Existen equipos electrónicos desde juguetes que detectan nuestra presencia y no hablan o se mueven, o televisores que se controlan por voz o con movimientos de nuestra mano, accediendo a todas sus funciones sintonizar canales, subir o bajar volumen, navegar en la red, etc., solo con el movimiento

de nuestras manos frente al televisor o indicando el comando por voz. Nuevos sistemas más avanzados han surgido basados en estos interruptores sin contacto y un ejemplo el sistema "Alexa" con el que podemos controlar todos los servicios de un lugar, en las casas inteligentes, con este sistema se puede controlar encendido y apagado de luces, televisores, cafeteras, paso del agua, gas, entre otras funciones y servicios. La industria está llena de estos interruptores para iniciar procesos, controlar los elementos del sistema productivo como robots y maquinaria al activarse estos interruptores con los materiales que están siendo procesados.

La idea que se popularizó como proyecto escolar y que parecía arte de magia, es ahora parte fundamental de los equipos, herramientas y sistemas, de nuestra vida moderna y que continúan mejorándose, las escenas de muchas películas y caricaturas futuristas de hace mucho tiempo se están haciendo realidad gracias a los interruptores sin contacto. ▀



# EL USO DE LA MELANINA EN APLICACIONES ENERGÉTICAS

RETOS & OPORTUNIDADES

EDUARDO COUTIÑO

Desde hace un poco más de una década, diversos grupos de investigación realizaron hallazgos significativos concernientes al uso de la melanina (biomolécula asociada con la pigmentación de la piel, el cabello y los ojos) en aplicaciones relacionadas con la conversión y almacenamiento de energía. En dichos estudios se exploraron las posibilidades de emplear las propiedades óxido-reductoras de la melanina en baterías biodegradables y biocompatibles, demostrando su alta aplicabilidad en dispositivos biomédicos. Por otra parte, el uso de la melanina en supercapacitores también ha sido explorado recientemente con éxito, expandiendo así el abanico de oportunidades de dicha biomolécula en el desarrollo de dispositivos de almacena-

miento de energía de última generación flexibles y amigables con el medio ambiente.

En el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., nos hemos dado a la tarea de explorar el uso de la melanina en otras áreas de oportunidades diferentes a las ya antes mencionadas, por ejemplo, su uso como agente funcionalizador de celdas fotovoltaicas, esto con la finalidad de investigar el efecto de la melanina en la estabilidad térmica y fisicoquímica de celdas solares de silicio cristalino. El proyecto, apoyado por *IDEA-GTO* y dirigido por el Dr. Eduardo de Jesús Coutiño González, se centró en el estudio de las propiedades optoelectrónicas de una melanina de origen vegetal para su potencial uso en sistemas fotovoltaicos, los cuales son

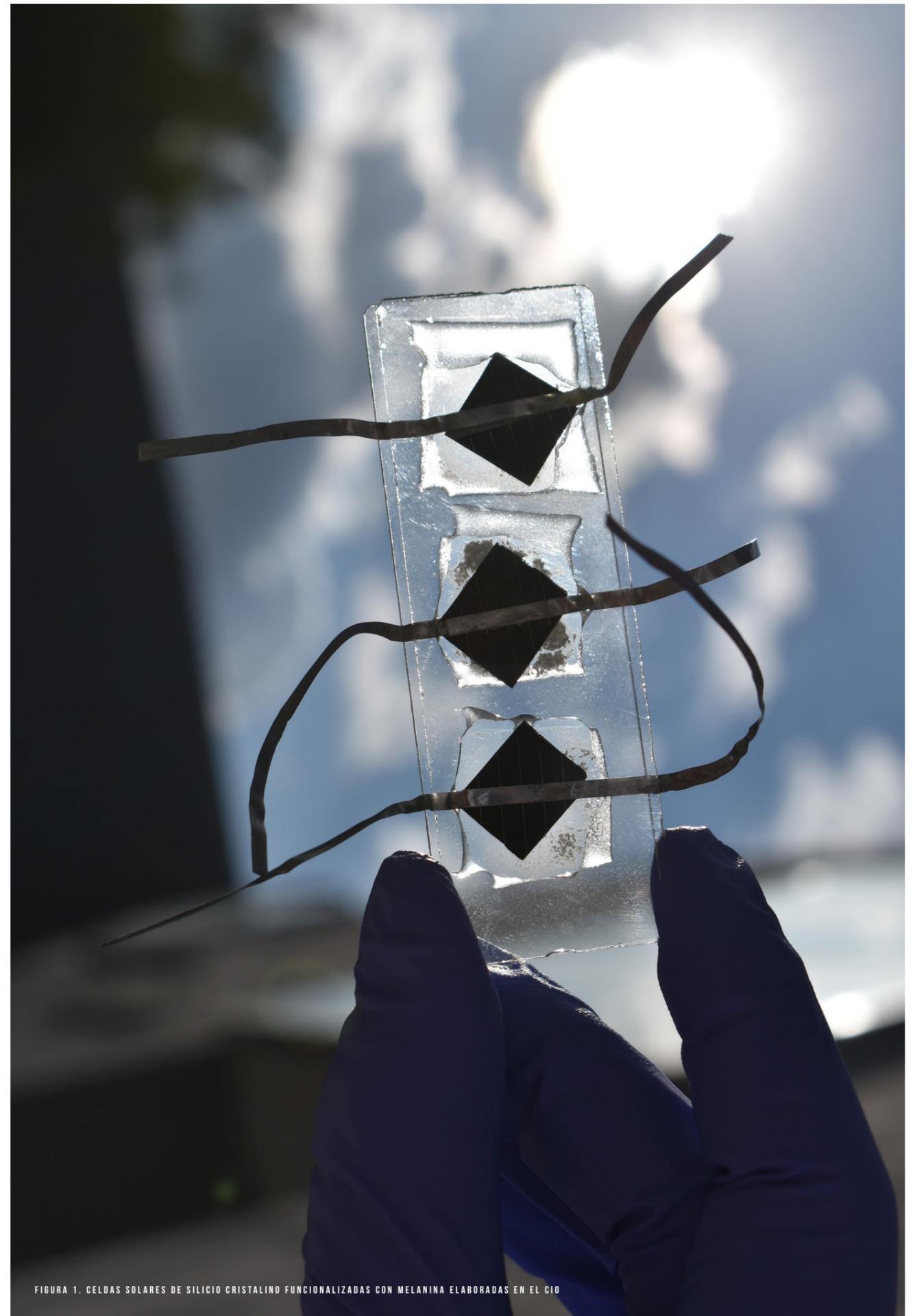
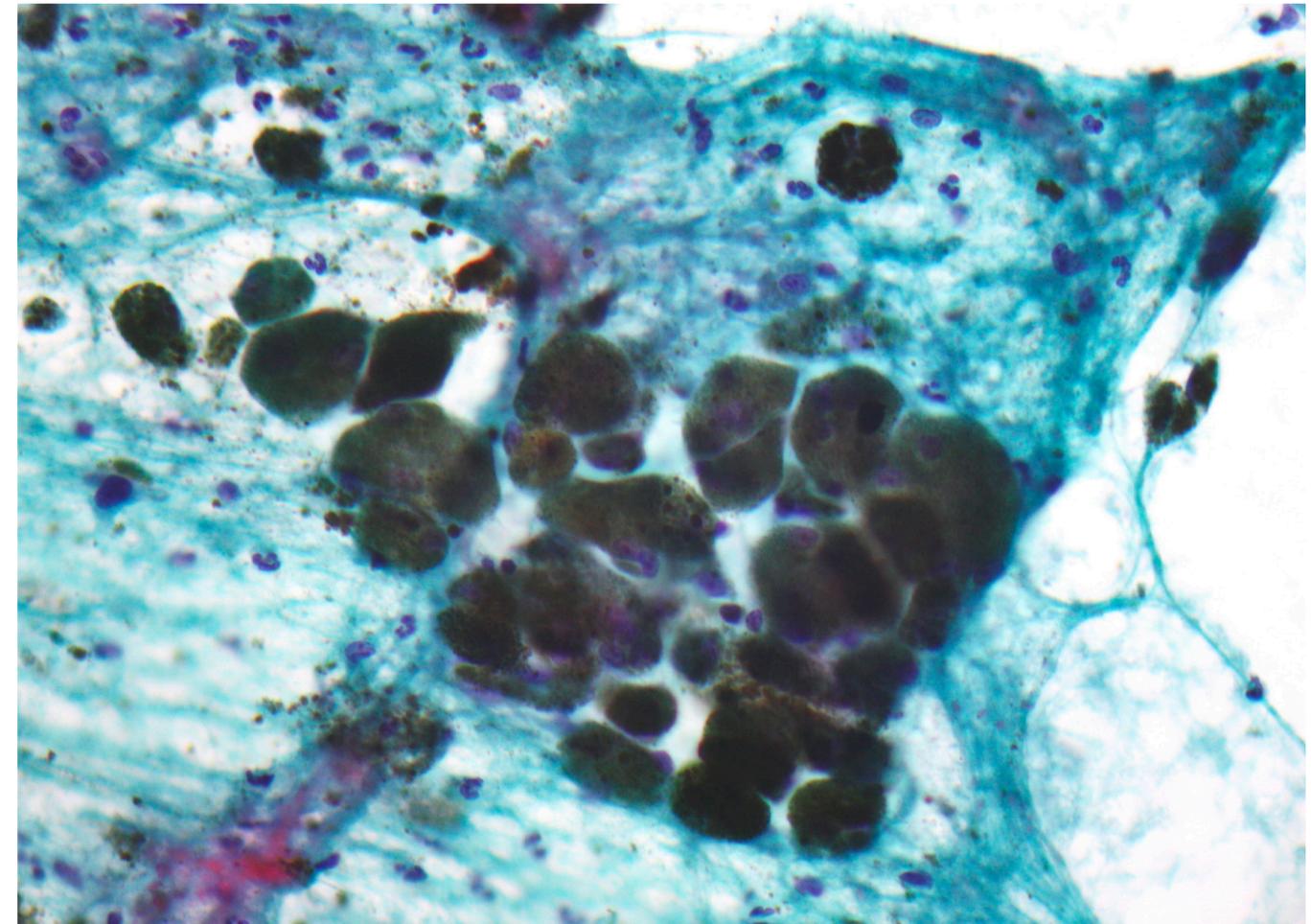


FIGURA 1. CELDAS SOLARES DE SILICIO CRISTALINO FUNCIONALIZADAS CON MELANINA ELABORADAS EN EL CIO



FIGURA 2. MELANINA PRODUCIDA POR LA EMPRESA EVOGENIA EMPLEADA EN EL PROYECTO



FUENTE: WIKIPEDIA / MELANINA PRESENTE EN EL MATERIAL OSCURO CON FORMA DE GRÁNULOS AL CENTRO DE LA IMAGEN

dispositivos de conversión de energía que transforman la energía lumínica en energía eléctrica. La melanina empleada es desarrollada por la empresa Evogenia (establecida en Irapuato, Guanajuato) a partir de cultivos sustentables, sin alteraciones genéticas y sin el uso de agroquímicos, lo que lo hace altamente rentable en comparación con melaninas de origen animal obtenidas principalmente de la tinta de moluscos.

Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que la melanina puede jugar un factor relevante en la vida útil de celdas fotovoltaicas de silicio cristalino, sin embargo, se requieren de estudios adicionales y complementarios para poder estable-

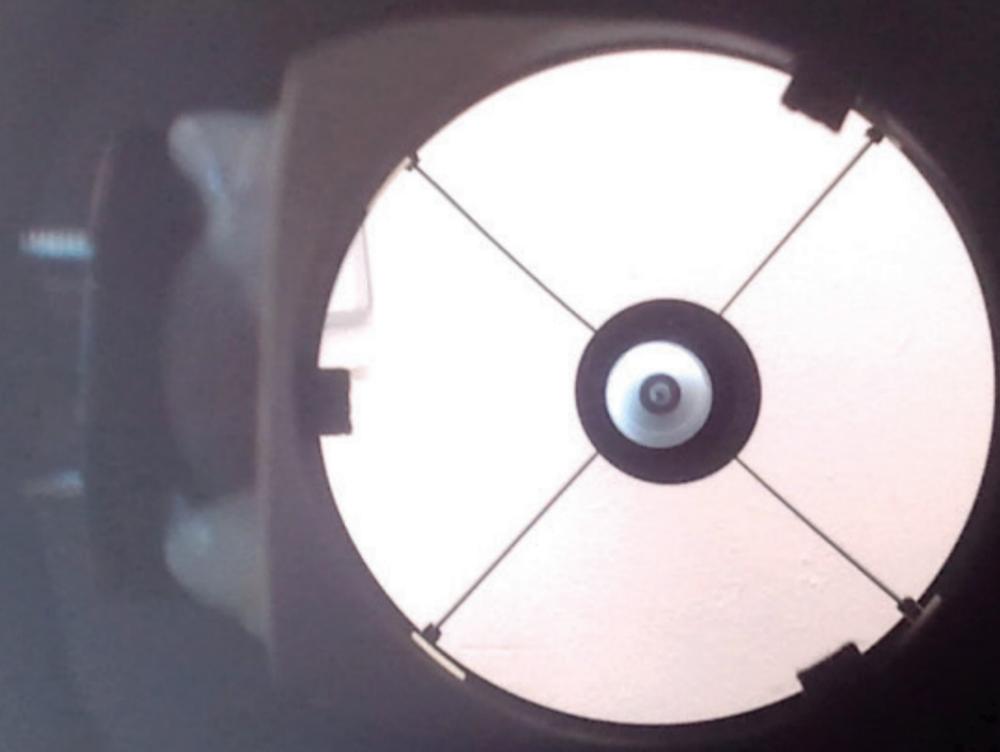
cer a ciencia cierta los mecanismos detrás de este efecto. De igual forma, todas las pruebas realizadas fueron a escala laboratorio empleando condiciones controladas (simulador solar) y en celdas de menor tamaño (1 x 1 cm), por lo que estudios de escalamientos también son necesarios para poder estudiar dichos efectos a una escala superior.

Existen otros retos adicionales relacionados con el uso de la melanina en dispositivos de almacenamiento y conversión de energía. Por ejemplo, cuestiones de reproducibilidad de las metodologías de síntesis empleadas, la procesabilidad de la biomolécula para su incorporación en películas delgadas o en materiales anódicos, por

citar algunos. El futuro de los dispositivos de almacenamiento y conversión de energía flexibles, biodegradables y amigables con el medio ambiente está muy relacionado con el desarrollo de enfoques multidisciplinarios en donde el uso de biomoléculas funcionales (tal como la melanina) cobrará más y más relevancia. ▀

#### Referencias

- 1) Kim J.Y., Wu W., Chun S.-E., Whitacre J.F., Bettinger C.J., *Biologically derived melanin electrodes in aqueous sodium-ion energy storage devices*, PNAS, 2013, 20912-20917.
- 2) Xu R., Gouda A., Caso M.F., Soavi F., Santato, C., *Melanin: a greener route to enhance energy storage under solar light*, ACS Omega, 2019, 12244-12251.



# TECNOLOGÍA DE CUARTO LIMPIO & APLICACIONES EN EL CIO

En la última década el desarrollo de dispositivos micro y nanométricos ha sido una de las tendencias más notables en una gran variedad de áreas de la investigación, principalmente en los campos de la electrónica, las comunicaciones, la óptica, la medicina y la industria automotriz. El impulso hacia la fabricación de dispositivos pequeños y compactos, está impulsado por la capacidad de ofrecer características como son: alta precisión, bajo consumo de potencia, disipación de energía reducida, bajo peso y velocidad mejorada en comparación con sus contrapartes macroscópicas.

El desarrollo de estos dispositivos requiere tecnologías de fabricación apropiadas que permitan la definición de geometrías pequeñas, control de dimensiones precisas, flexibilidad de diseño, repetibilidad, confiabilidad y alto rendimiento. La

tecnología de microelectrónica basada en salas limpias cumple con todos estos criterios. De hecho, la microelectrónica ha sido la principal tecnología de fabricación habilitadora para el desarrollo de dispositivos micro y nanométricos, lo que, proporciona una poderosa herramienta para el procesamiento por lotes y la miniaturización de dispositivos.

Tomando en cuenta las capacidades tecnológicas y científicas que ofrecen estos laboratorios, en el año 2018 el Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. (CIO) comenzó con la construcción de un Cuarto Limpio ISO 7 de 120 m<sup>2</sup>, para el desarrollo de dispositivos fotónicos, sistemas microelectromecánicos (MEMS), fluidicos y electrónica flexible; la cual, concluyó a finales del año 2019. La figura 1, muestra un esquema representativo del Cuarto Limpio.

NATIELY HERNÁNDEZ

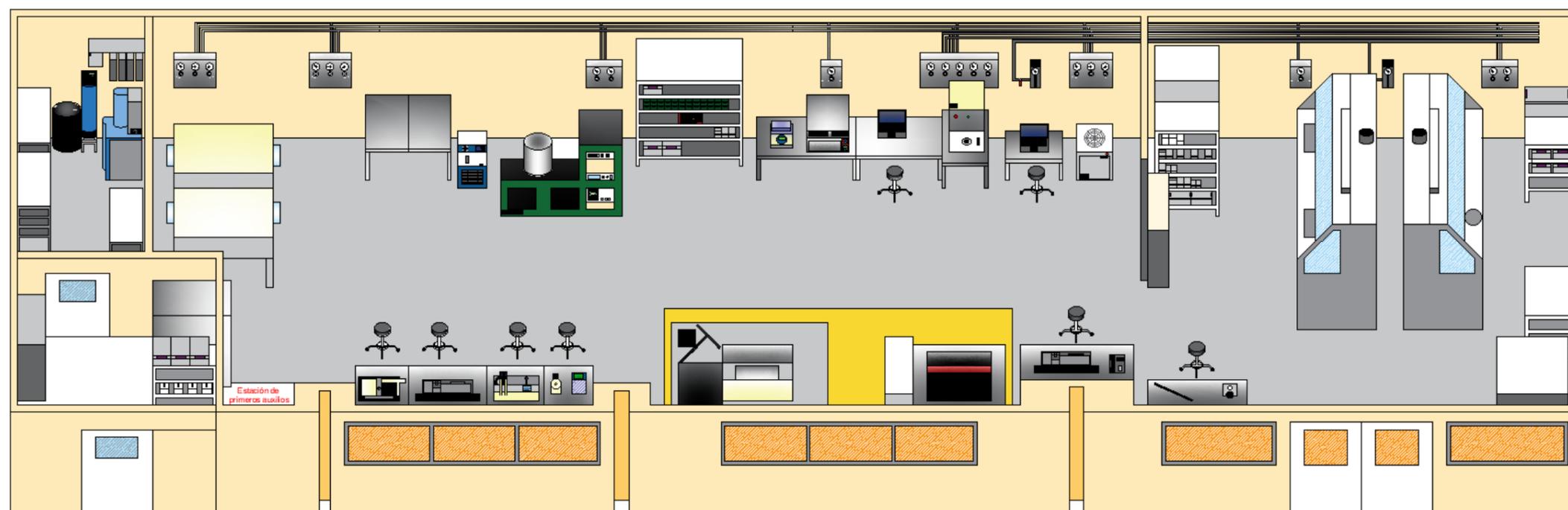


FIGURA 1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL LABORATORIO DE MICRO Y NANOLECTRÓNICA (CUARTO LIMPIO) DEL CIO

La puesta en marcha del Laboratorio de Micro y Nanoelectrónica (Cuarto Limpio) fue finalizada recientemente por un grupo de ingenieros e investigadores del CIO y liderada por la Dra. Natiely Hernández Sebastián.

Actualmente, todas las áreas del Cuarto Limpio se encuentran funcionando al 100% y, además, cuenta con dos laboratorios auxiliares de ambiente controlado para realizar procesos complementarios de caracterización eléctrica, manufactura aditiva y producción de sistemas de almacenamiento de energía. Con más de 200 m<sup>2</sup>, este laboratorio proporciona una amplia plataforma de herramientas para respaldar la mayoría de los requisitos de fabricación y procesamiento en nano y micro electrónica, incluyendo: fotolitografía, depósito de películas delgadas, grabado químico húmedo y seco, oxidación térmica, limpieza de sustratos y posprocesamiento, junto con una amplia gama de capacidades de caracterización e inspección, ver *figura 2*.

Con esta infraestructura, las instalaciones del laboratorio dan soporte a una gran variedad de actividades de investigación y desarrollo tecnológico de vanguardia que incluyen, por ejemplo: (i) la fabricación de dispositivos médicos, entre ellos: un arreglo de microelectrodos para la estimulación eléctrica de cerebros de rata y un sensor de presión inalámbrico implantable para el monitoreo continuo de la presión ventricular; (ii) dispositivos industriales, incluyendo: un sensor de flujo de aire y un sensor de CO<sub>2</sub>; (iii) sistemas de almacenamiento y generación de energía, como son: baterías de litio de tipo botón y paneles solares; (iv) dispositivos ópticos, entre los cuales destacan: retículas de rifle, miras ópticas, gonioscopios y hologramas, así como (v) servicios de impresión 3D, ver *figura 3*.

FIGURA 2. CUARTO LIMPIO EN FUNCIONAMIENTO



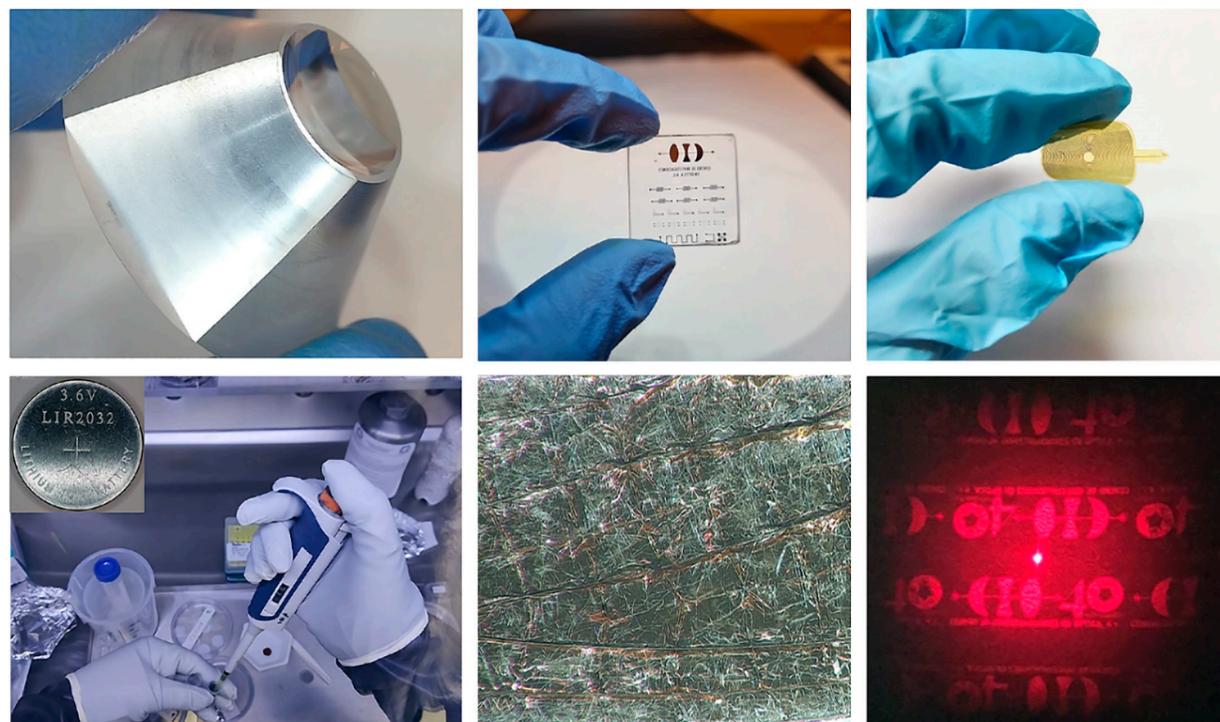


FIGURA 3. PROTOTIPOS FABRICADOS EN EL CUARTO LIMPIO DEL CIO: GONIoscopio, SENSOR DE FLUJO, SENSOR DE PRESIÓN INALÁMBRICO, BATERÍAS DE LITIO, RECUBRIMIENTOS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS Y HOLOGRAMAS.

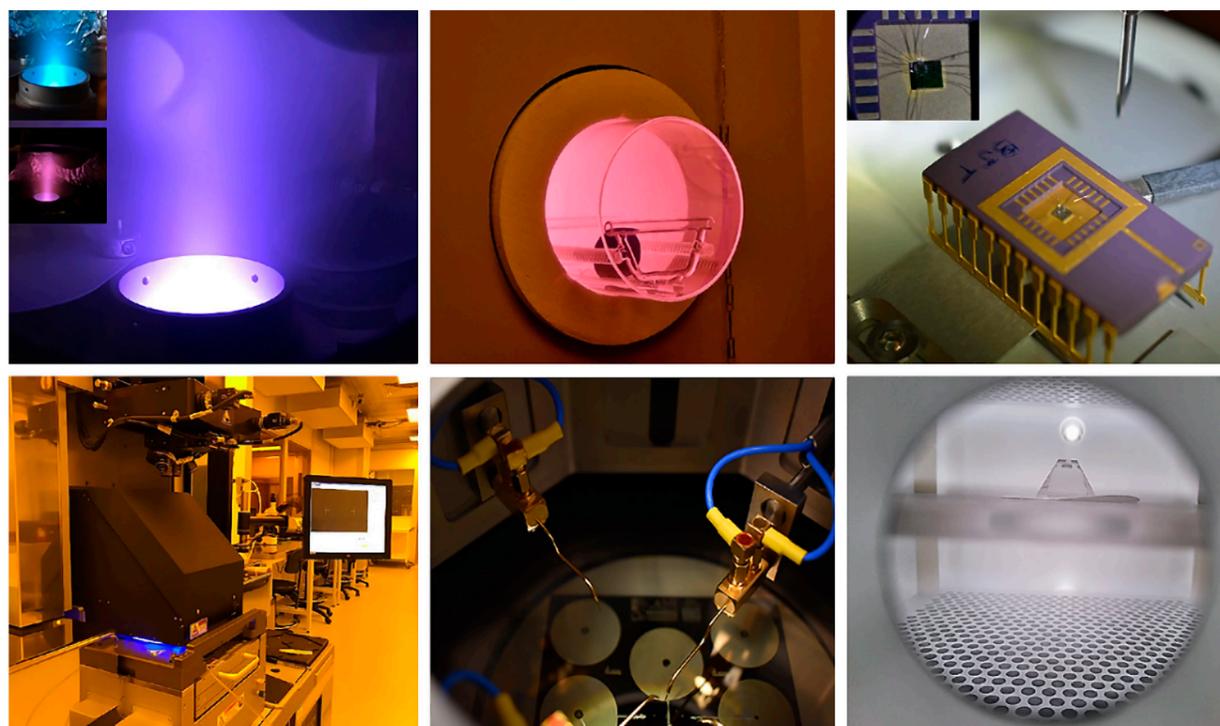


FIGURA 4. PROCESOS DE FABRICACIÓN REALIZADOS CON LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL CUARTO LIMPIO: SPUTTERING, HORNOS TUBULARES, ALAMBRADORA DE CHIPS, ALINEADORA DE MASCARILLAS, ESTACIÓN DE PRUEBAS Y GRABADO IÓNICO REACTIVO.

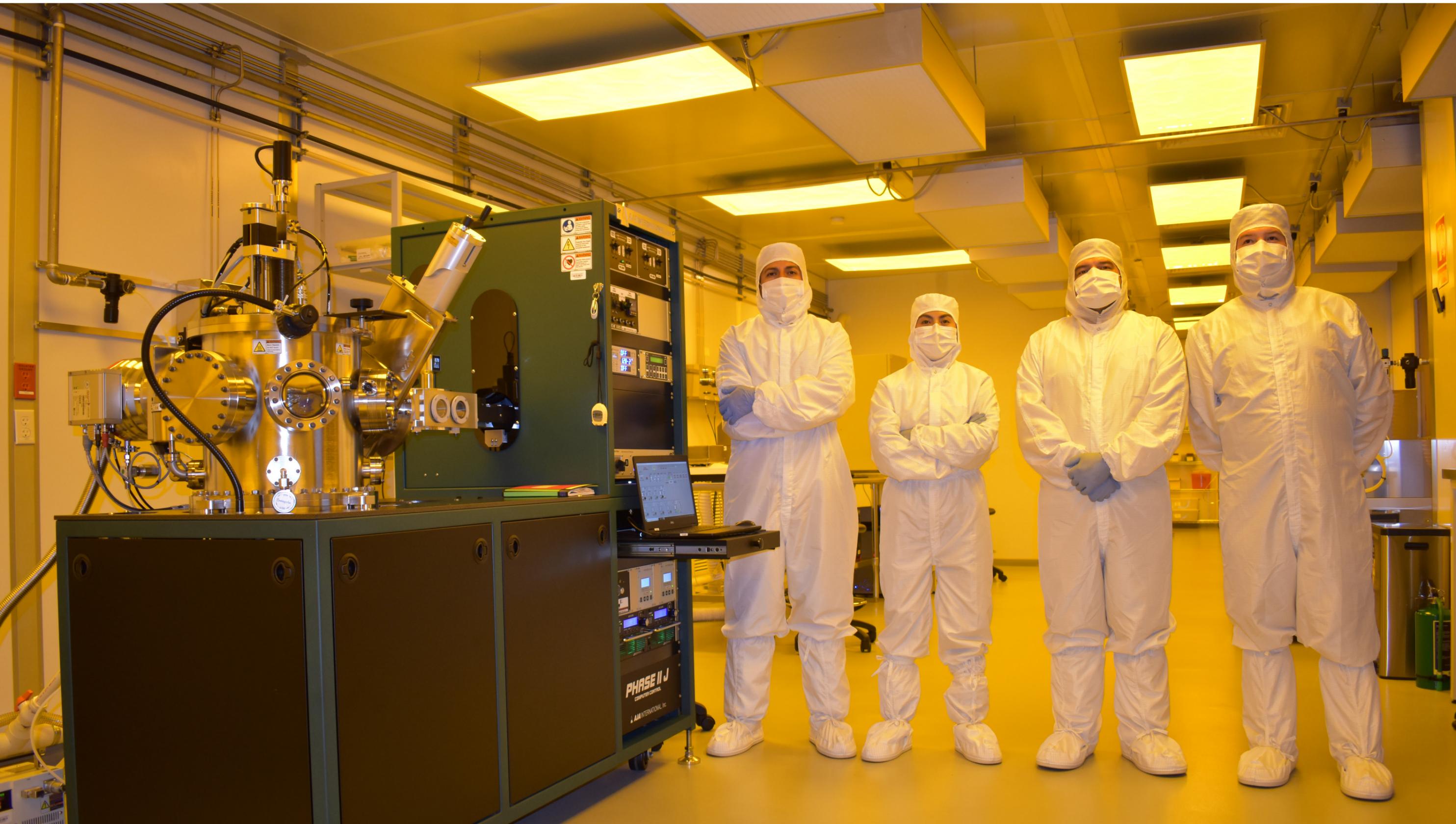
El laboratorio, se encuentra dividido en 8 áreas, cada una dedicada a un conjunto de proceso de fabricación relacionados:

1. Área de fotolitografía: incluye un escritor de mascarillas, una alineadora semiautomática y dos sistemas crosslinkers ultravioleta.
2. Área de depósito: está formada por un sistema de pulverización catódica, un equipo de depósito de capa atómica (ALD) y un sistema Spin-coater.
3. Área de grabado seco: consiste de un sistema de plasma de grabado de iones reactivos (RIE).
4. Área de hornos: incluye dos hornos tubulares, un hot-plate y un horno de secado al vacío.
5. Área de limpieza: consiste de dos campanas de extracción, un limpiador ultrasónico, tres hot-plate, un limpiador UV-Ozono y un sistema de limpieza por aspersion.
6. Área de inspección: está formada por un microscopio trinocular y un microscopio digital de alta resolución.
7. Área de posprocesamiento: incluye una sierra de hilo de diamante, una alambadora semiautomática de chips y dos glove-box.
8. Área de caracterización: está formada por un elipsómetro espectroscópico, una estación de pruebas y un analizador de parámetros.

Las actividades del laboratorio están respaldadas por la combinación única de experiencia en nano y microfabricación, proporcionada por nuestro equipo de trabajo, el cual está compuesto por personal experto en las áreas de microelectrónica, ciencia de los materiales, semiconductores y manufactura aditiva. A partir de esta experiencia y el entorno de trabajo en equipo, el laboratorio no solo apoya la investigación multidisciplinaria en los diferentes departamentos académicos dentro del CIO, sino, además, ofrece servicios a otras instituciones y a la industria. ■

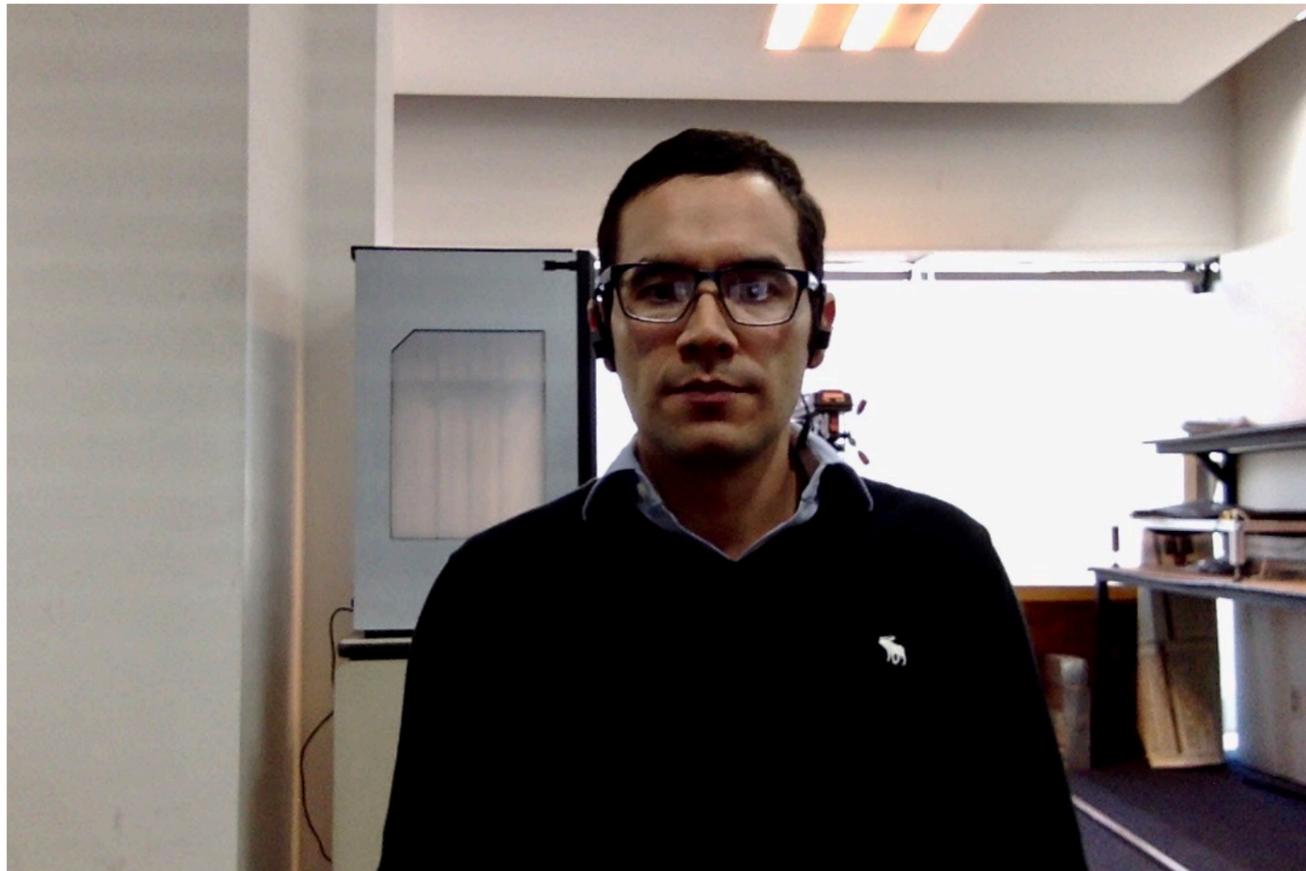


FIGURA 4. PERSONAL DEL LABORATORIO: DRA. NATIELY H. SEBASTIÁN, DR. FRANCISCO M. MORALES, DR. FABIÁN A. VARGAS, DR. ALFREDO B. LARA, ING. FABRICIO G. MUÑOZ (DE IZQUIERDA A DERECHA).



PHASE II J  
COMPUTER CONTROL  
AM INTERNATIONAL, INC.

---

 FERNANDO ARCE


# DESCUBRIENDO ECUACIONES

DE MANERA AUTOMÁTICA UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La mayoría de las ecuaciones matemáticas, físicas y químicas que conocemos han sido elaboradas por seres humanos con base en su experiencia, intuición y conocimiento del tema. Sin embargo, generar estas proposiciones usualmente requiere años de arduo trabajo debido a la increíble complejidad que el proceso demanda.

Por ejemplo, tenemos el caso de Johannes Kepler quien estudió las observaciones astronómicas descritas por Tycho Brahe. Kepler, tras años de investigación, observación y muchos intentos fallidos tratando de adaptar los datos, inició una revolución científica al descubrir un modelo matemático que describe el movimiento de los planetas alrededor del sol.

Con el crecimiento constante de las bases de datos, la creación de sistemas de cómputo cada vez más potentes, y nuevas técnicas de inteligencia artificial, se ha tratado de automatizar el trabajo que llevó a cabo Johannes Kepler para encontrar

un modelo matemático que describa la información observada.

La tarea de encontrar una ecuación, fórmula o modelo de manera automática a partir de los datos recolectados es el objetivo principal de regresión simbólica. Específicamente hablando, regresión simbólica intenta encontrar una función  $f$  que relaciona las variables de entrada  $\{x_1, \dots, x_n\}$  con su correspondiente etiqueta  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ . Por su parte, regresión simbólica ha sido abordada con una gran variedad de técnicas; por ejemplo, programación genética<sup>1-3</sup> y regresión dispersa<sup>4-6</sup>, siendo programación genética el método más gratificante<sup>3,7</sup>.

En los métodos de regresión tradicionales los algoritmos optimizan los parámetros para una arquitectura de entrada-salida específica. Por ejemplo regresión lineal, la cual supone una relación lineal entre los patrones de entrada y las etiquetas. Otro ejemplo podría ser una red neuronal

artificial, la cual es un método no lineal que presenta conexiones entre sus capas de entrada, ocultas y de salida con diferentes funciones de activación (por ejemplo, funciones ReLU y softmax). De manera contraria, en regresión simbólica no hay una suposición a priori sobre la expresión simbólica requerida. En su lugar, los usuarios especifican un conjunto de variables y expresiones matemáticas, por ejemplo, variables independientes y dependientes, operadores matemáticos, constantes, funciones analíticas. Enseguida, el algoritmo explora el espacio de búsqueda compuesto por estas expresiones primitivas para descubrir la solución más adecuada.

A su vez, la programación genética fue introducida originalmente por Koza<sup>8</sup> en 1994 como una aplicación particular de los algoritmos genéticos<sup>9</sup>. La idea principal es desarrollar una población inicial de individuos, generados de manera aleatoria, siguiendo la teoría de la evolución de Darwin para descubrir la solución o el individuo más apto después de un número determinado de generaciones.

Mientras que la programación genética usa cromosomas con estructuras de árboles, los algoritmos genéticos emplean dígitos binarios. Cada árbol constituye una posible solución para una tarea específica, y la forma en que se generan, evolucionan y seleccionan es exclusiva de programación genética, ya que imita la forma en que la naturaleza lleva a cabo el proceso de evolución. La Figura 1 muestra el procedimiento por el cual se puede llegar a una solución usando programación genética para regresión simbólica.

En colaboración con investigadores del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Centro de Investigación y de estudios Avanzados (CINVESTAV)

hemos utilizado estas técnicas de inteligencia artificial y desarrollado otras nuevas basadas en descenso de gradiente para:

- Encontrar nuevas ecuaciones para calcular el número de Euler en imágenes.

- Encontrar nuevas ecuaciones más sencillas para calcular el área, perímetro y perímetro de contacto en imágenes, disminuyendo el costo computacional.

- Encontrar de manera automática la ecuación para calcular las constantes cinéticas de unión de tres proteínas modelo, H-IgG, PSA y Anti-RBD a partir de variables medidas.

- Para hacer modelos biomédicos predictivos relacionados con COVID-19, en colaboración con especialistas del IMSS. 

#### Referencias

1. Dominic P, Leahy D, Willis M. GPTIPS: An Open Source Genetic Programming Toolbox For Multigene Symbolic Regression. *Lect Notes Eng Comput Sci*. 2010;2180.
2. Dubcáková R. Eureka: software review. *Genet Program Evolvable Mach*. 2010;12:173-178.
3. Wang Y, Wagner N, Rondinelli JM. Symbolic regression in materials science. *MRS Commun*. 2019;9(3):793-805. doi:10.1557/mrc.2019.85
4. McConaghy T. FFX: Fast, Scalable, Deterministic Symbolic Regression Technology. In: Riolo R, Vladislavleva E, Moore JH, eds. *Genetic Programming Theory and Practice IX*. Springer New York; 2011:235-260. doi:10.1007/978-1-4614-1770-5\_13
5. Brunton SL, Proctor JL, Kutz JN. Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems. *Proc Natl Acad Sci*. 2016;113(15):3932-3937. doi:10.1073/pnas.1517384113
6. Quade M, Abel M, Nathan Kutz J, Brunton SL. Sparse identification of nonlinear dynamics for rapid model recovery. *Chaos An Interdiscip J Nonlinear Sci*. 2018;28(6):63116. doi:10.1063/1.5027470
7. Udrescu S-M, Tegmark M. AI Feynman: A physics-inspired method for symbolic regression. *Sci Adv*. 2020;6(16):eaay2631. doi:10.1126/sciadv.aay2631
8. Koza J. Genetic programming as a means for programming computers by natural selection. *Stat Comput*. 1994;4(2). doi:10.1007/bf00175355
9. L. S. L. FG. Real-Time Thresholding with Euler Numbers. *Pattern Recogn Lett*. 2003;24(9-10):1533-1544. doi:10.1016/S0167-8655(02)00392-6

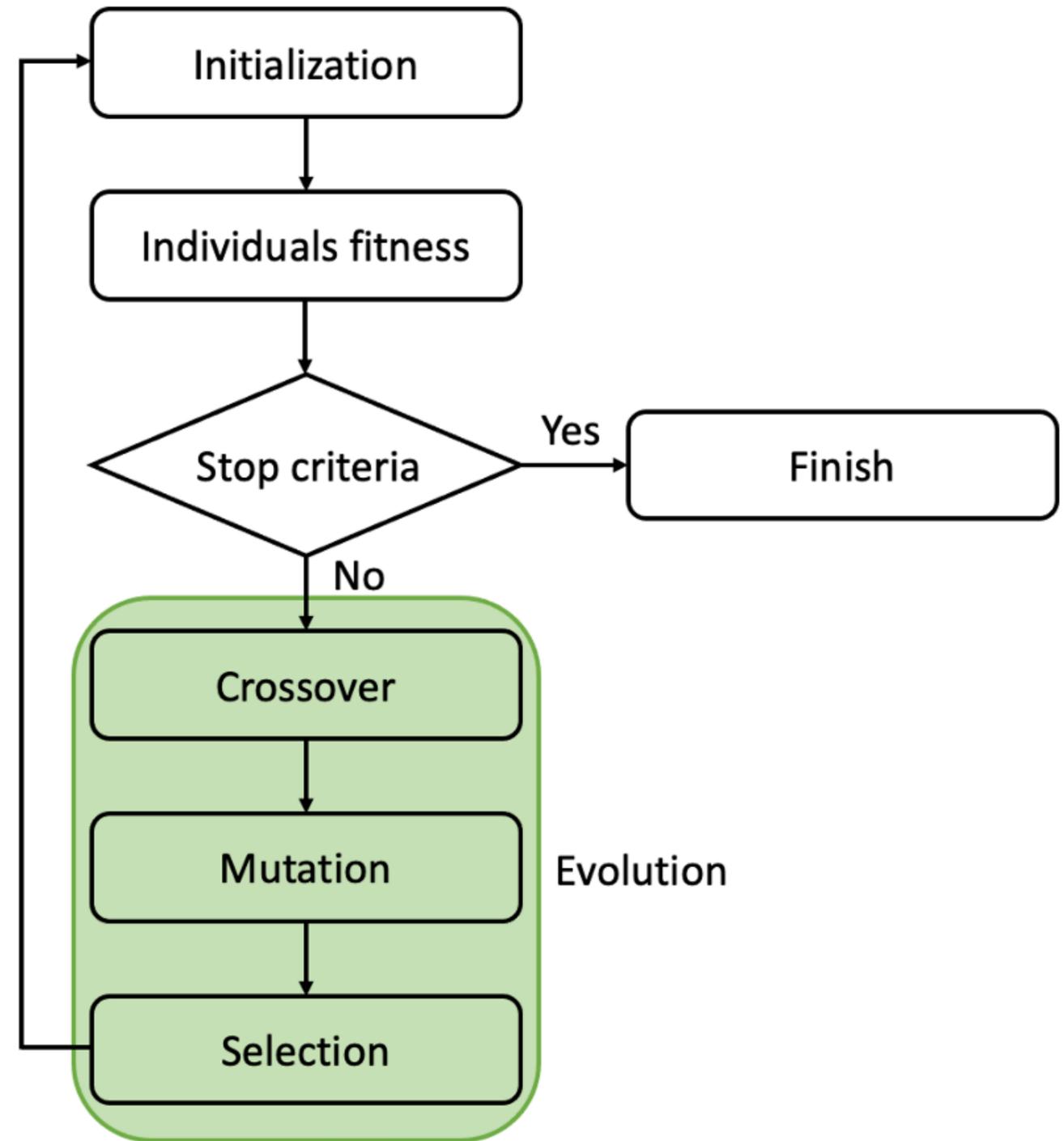


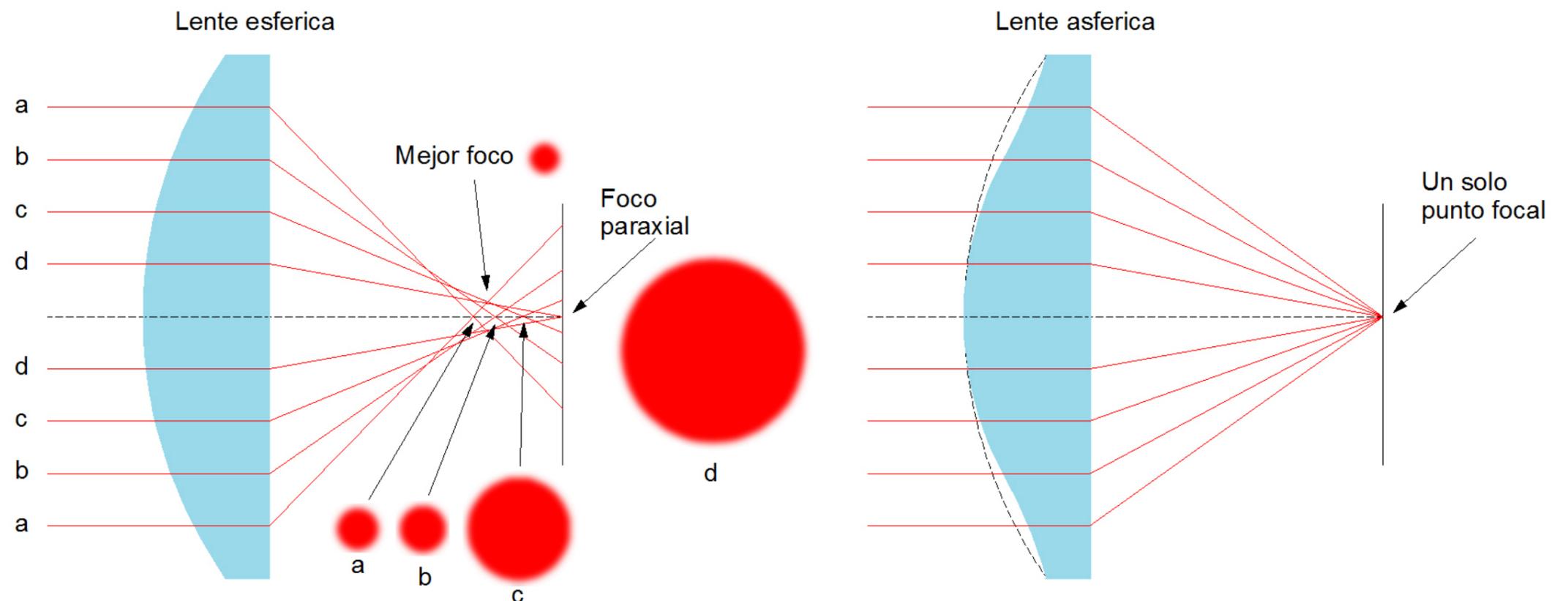
FIGURA 1. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN GENÉTICA UTILIZADO PARA ENCONTRAR EXPRESIONES SIMBÓLICAS

# LENTES ASFERICAS

DANIEL MALAGARA

Una lente esférica son las que tienen una o dos de sus superficies con una forma diferente a la de una esfera o cilindro regular. Estas superficies, que vienen en una variedad de formas, se utilizan para corregir la aberración esférica y mejorar la calidad de la imagen. La aberración esférica es un tipo de defecto que ocurre cuando la luz pasa a través de una lente. Dependiendo de qué tan cerca del borde entre en la lente, la luz se enfoca a diferentes distancias, creando una imagen borrosa. En comparación, las lentes esféricas enfocan la luz en un solo punto, independientemente de dónde entre la luz, para reducir o eliminar por completo la borrosidad de la imagen, tal como se muestra en la *Figura 1*.

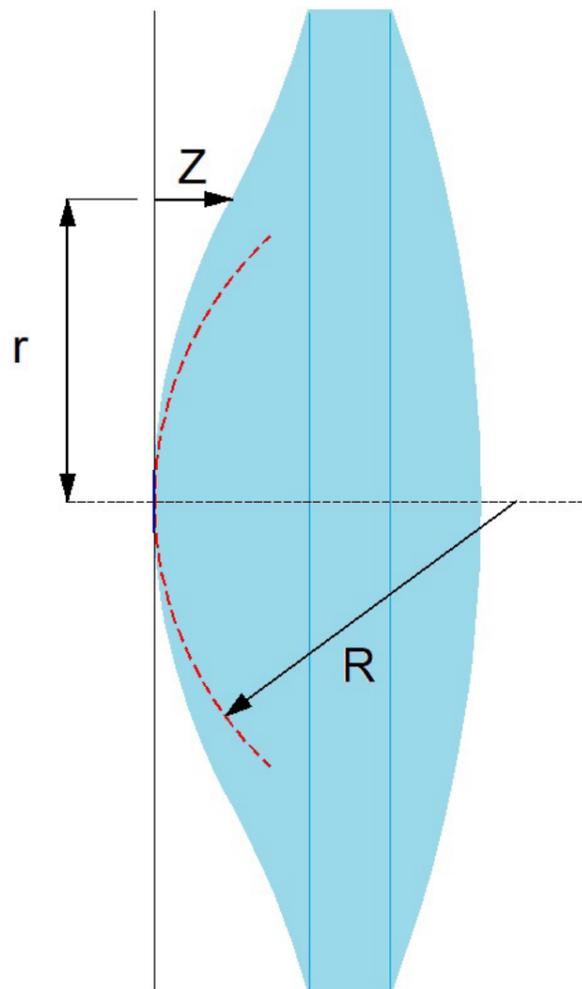
Además de reducir la aberración esférica, las lentes asféricas también corrigen otras distorsiones de la imagen, como es el astigmatismo. Las lentes asféricas se han utilizado durante muchos años para reducir la aberración esférica y mejorar el rendimiento de los sistemas ópticos, pero el alto



costo y su dificultad para probarlas hizo muy complicado su uso en aplicaciones de la vida real en el pasado. Eso sustituye el grupo de lentes esféricas con la ventaja de reducir el peso y mejorar el rendimiento del sistema óptico.

El perfil de la lente asférica muestra una desviación suave de la curvatura en los bordes con respecto a una superficie esférica, tal y como se

FIGURA 2



muestra en la *Figura 2*. Se considera como una superficie de forma libre.

Las lentes asféricas reducen los defectos visuales y producen imágenes más claras, lo que las hace ideales para muchas aplicaciones. Las lentes asféricas grandes se encuentran en el diseño de telescopios y cámaras, mientras que las lentes asféricas más pequeñas se pueden encontrar en redes de fibra óptica, dispositivos láser y equipos quirúrgicos. En ambos casos se encuentran los siguientes beneficios:

**Mayor precisión:** Al reducir la aberración esférica y enfocar la luz en un solo punto, las lentes asféricas producen imágenes más claras, lo que las hace ideales para aplicaciones que requieren alta precisión, como enfocar diodos láser;

**Mayor tamaño de apertura:** Las lentes asféricas permiten aumentar el tamaño de apertura numérica de una lente sin reducir la calidad de la imagen, lo cual es perfecto para aplicaciones que requieren un alto rendimiento de luz;

**Eficiencia mejorada:** Una lente asférica puede corregir aberraciones que requerirían múltiples lentes esféricas para corregir. Esta capacidad significa que una sola lente asférica puede reemplazar un complicado sistema de múltiples lentes, lo que lleva a ensamblajes más pequeños, livianos, eficientes y menos costosos.

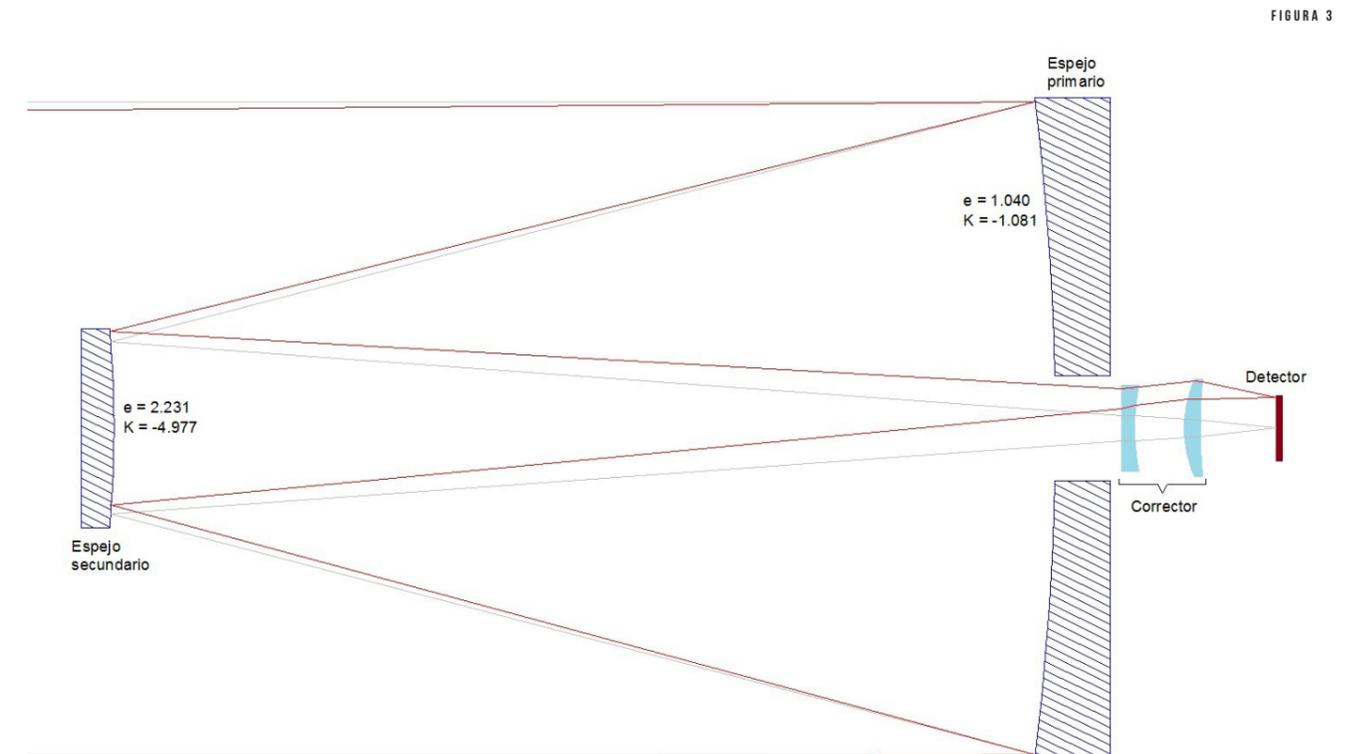
En el CIO se han diseñado varios instrumentos, entre los cuales se encuentran el “Diseño y Construcción de un Oftalmoscopio de Visión Indirecta”. En este instrumento se diseñó la lente asférica. Se tiene un proyecto apoyado por IDEA GTO “Desarrollo de una cámara de fondo de ojo como dispositivo de punto de atención para prevención de ceguera”. Este instrumento utiliza como objetivo una lente asférica. Pero no solo existen las len-

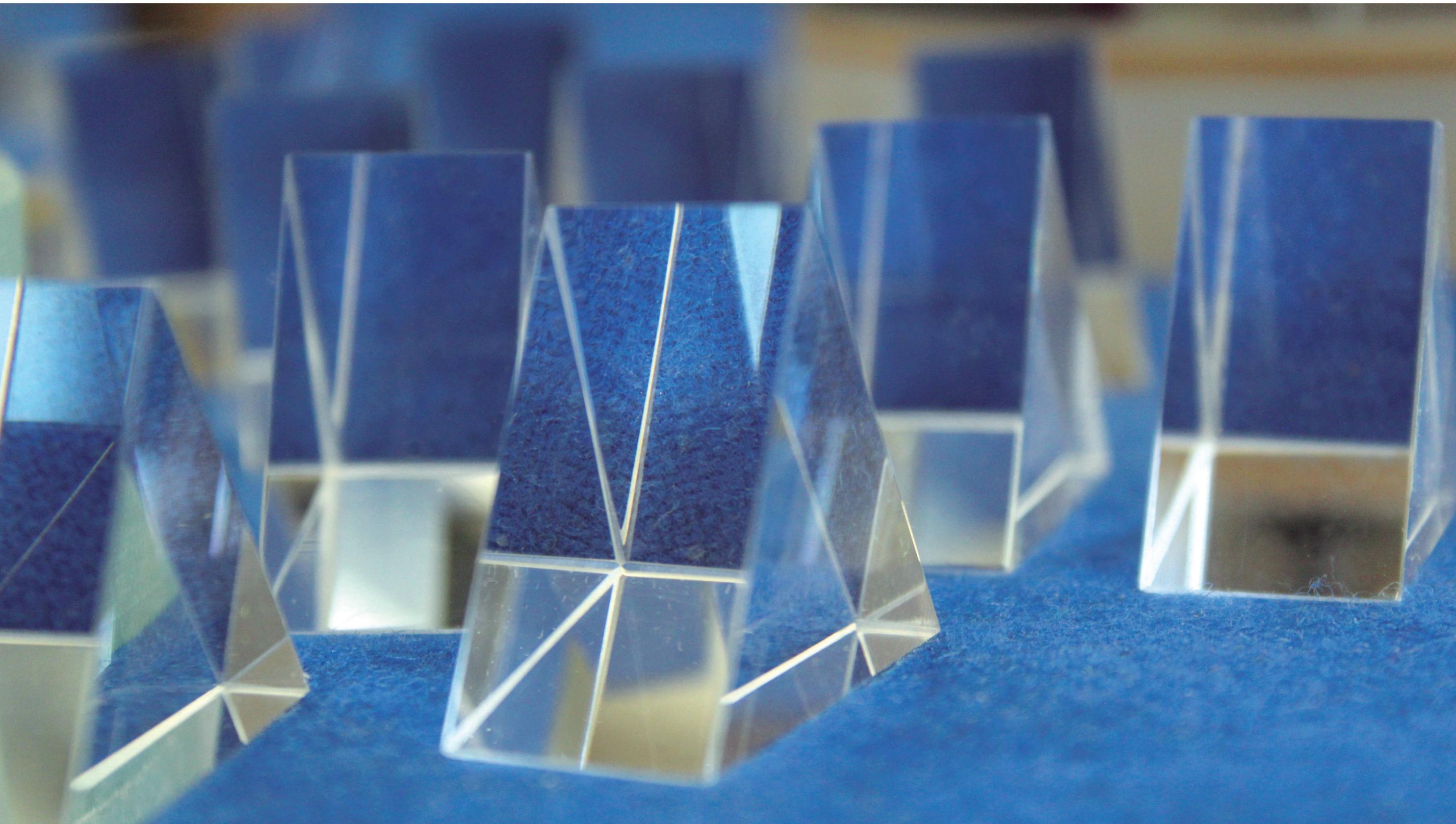
tes asféricas, también los espejos pueden ser con una superficie asférica. En próximos meses se fabricará un telescopio Ritchey-Chretien F/6. Este telescopio tiene 2 superficies asféricas, el espejo primario tendrá una excentricidad de 1.040 y el espejo secundario una excentricidad de 2.231.

Lo interesante de este proyecto es que se fabricarán los espejos y además se les hará las

pruebas en el CIO. El diseño óptico de este telescopio estuvo a cargo de Daniel Malacara Doblado y Zacarías Malacara Hernández y se muestra en la *Figura 3*.

Además, se harán las pruebas de estas superficies con métodos diversos, principalmente la prueba de Hartmann, la prueba de Ronchi y el compensador de Offner. ▀





# INTEGRANDO REALIDAD AUMENTADA

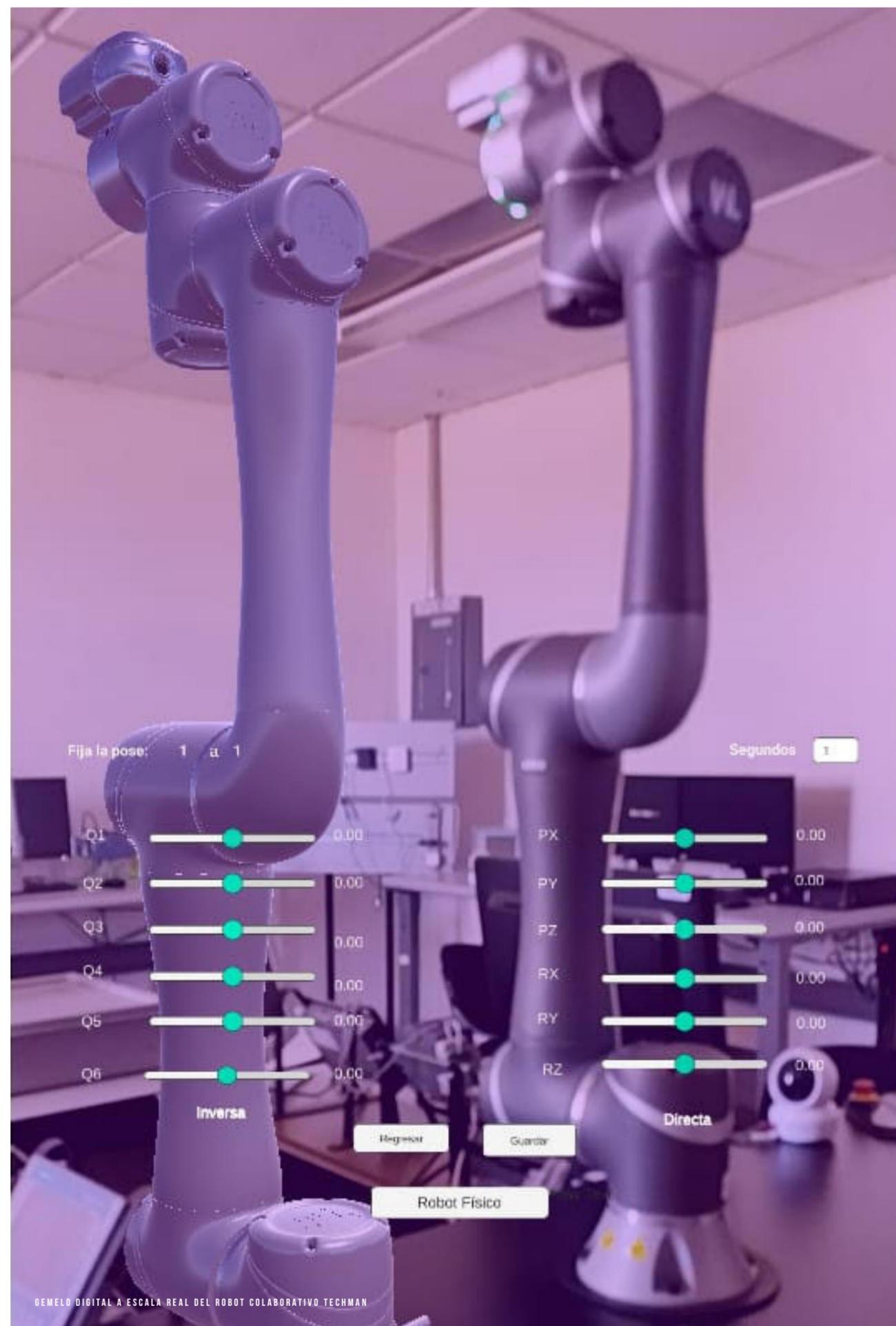
A UN ROBOT COLABORATIVO

FERNANDO MARTELL · CARLOS ALBERTO PAREDES · LORENA RODRÍGUEZ

Los robots colaborativos se refieren a la categoría de robots que pueden interactuar de manera segura con los operadores en líneas de producción. Los brazos robóticos realizan las tareas repetitivas, de precisión o que requieran aplicar fuerza, mientras que las personas se enfocan a las tareas más complejas, por ejemplo, se puede usar un manipulador colaborativo para apretar tuercas de tornillos, mientras que el ser humano coloca la tuerca en la rosca del tornillo, el manipulador realiza el movimiento de torsión y atornillado mediante el control y la detección híbridos de fuerza y posición. A diferencia de los robots convencionales, los cobots no están confinados a celdas de manufactura

y no requieren de mallas de seguridad, los cobots dependen en gran medida de sensores alrededor del robot para detectar la presencia humana. La colaboración humano-robot más útil ocurre en las industrias de ensamble, clasificación y empaque de productos y otros procesos donde los humanos interactúan deliberadamente con los cobots para realizar las tareas.

En los procesos de automatización industrial, tener la información de manera inmediata permite a los usuarios tomar decisiones de manera más rápida y acertada que desencadenan en mejor productividad. La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que permite a los usuarios visuali-



GEMELO DIGITAL A ESCALA REAL DEL ROBOT COLABORATIVO TECHMAN

zar parte del mundo real a través de un dispositivo tecnológico con información gráfica añadida por éste, así mismo requiere de modelos virtuales de los sistemas físicos para superponer información en tiempo real; esto permite a los usuarios crear y utilizar simulaciones del entorno utilizando sus teléfonos inteligentes o tabletas. Aplicar RA en la robótica permite diseñar, optimizar y validar entornos de manera virtual y de esta manera se puede determinar si cierta configuración o programación del robot puede ayudar a mejorar la productividad. La RA beneficia la validación de programas de robots al proporcionar al usuario una herramienta

visual en 3D para una detección más fácil de las colisiones que el robot pueda presentar y asegurar el espacio de trabajo, de esta forma, los programas de robots validados pueden ser reutilizados siempre que se mantenga el espacio de trabajo, lo que ayuda a reducir el tiempo de programación.

En CIO cuenta con robots colaborativos en los cuales se realizan pruebas de concepto y proyectos de tesis. Actualmente se ha desarrollado un sistema que incorpora la realidad aumentada en un gemelo virtual del robot colaborativo TechMan® TM5-900, donde el resultado es un cobot virtual (gemelo digital) a escala real, que se puede mani-



pular de forma remota desde la aplicación móvil y ver gráficamente los movimientos del robot que el usuario quiere generar, y al mismo tiempo hacerlo funcionar en tiempo real en un espacio de trabajo seguro. Esto evitará accidentes con el robot físico, ya que las rutinas generadas por el usuario se pueden ver y reproducir desde diferentes perspectivas y ver claramente cuando el robot colisiona. Por otra parte, el tener sistema funcionando en tiempo real, significa que la información de la base de datos siempre va a estar actualizada y sincronizada, de manera que es posible supervisar y monitorear el funcionamiento del robot. El gemelo virtual con

su base de visualización mejorada en RA puede ejecutarse en dispositivos móviles con acceso local o remoto. La RA en este proyecto permitió un entorno más seguro para la programación, ya que los usuarios pueden diseñar y probar las rutinas del cobot TechMan sin necesidad de estar presencialmente. El proyecto desarrollado amplía el potencial uso de los laboratorios virtuales del CIO y los consolida como una plataforma adecuada para la capacitación y entrenamiento en robótica. Este trabajo es un ejemplo de las capacidades con las que cuenta y puede desarrollar nuestro Centro en este tipo de tecnologías emergentes de la Industria 4.0. ■



# AGRICULTURA DE PRECISIÓN

GERARDO FLORES

En la agricultura, la gran mayoría de las tareas exigidas son repetitivas y agotadoras para el ser humano. Por ejemplo: la inspección de los frutos, la cosecha, la aplicación de plaguicidas y la supervisión de los cultivos. Esta diversidad de tareas y el inherente error humano implican problemas relacionados con la ineficacia de los materiales, el daño involuntario a los cultivos, el desperdicio de recursos o incluso la pérdida parcial de la producción. Para proponer soluciones prácticas a estos problemas, en los últimos años ha crecido la investigación en sistemas para la *agricultura de precisión*.

La agricultura de precisión es un proceso que gestiona la información del cultivo usando tecnología como robótica, procesamiento de imágenes, inteligencia artificial, y sensores, cuyo objetivo es mejorar la productividad agrícola. En este sentido, la implementación de un sistema de agricultura de precisión de bajo coste que proporcione información fiable es un tema de interés para el sector agrícola y la comunidad científica. Esto es especialmente cierto para los países en desarrollo, donde esta tecnología

está fuera del alcance de la mayoría de los agricultores, incluso como servicio de terceros.

A continuación, se presentan 3 investigaciones desarrolladas en el Laboratorio de Percepción y Robótica [LAPyR] del CIO en el tema de agricultura de precisión de bajo costo, que han tenido como objetivo concretar las investigaciones en desarrollos tecnológicos con un TRL 7 o superior, pues han sido probados de manera eficiente en ambientes reales.

## **Agri-Q: Un sistema aéreo no tripulado**

Un multirrotor desarrollado y construido en el laboratorio se encarga de recoger imágenes a través del sistema multispectral (también constituido en el laboratorio), en una zona de vegetación determinada, mientras que el software desarrollado procesa las imágenes y extrae información relacionada a la salud de la vegetación a partir de las imágenes captadas. El sistema completo: el dron, el sistema multispectral, y el software conforma un sistema aéreo no tripulado llamado Agri-Q, el cual se muestra en la *Ilustración 1*.



ILUSTRACIÓN 1. FIGURA ARRIBA: AGRIQ EQUIPADO CON SUS PRINCIPALES COMPONENTES: (1) SISTEMA MULTIESPECTRAL COMPUESTO POR DOS CÁMARAS DE BAJO COSTE MODIFICADAS Y UN MICROORDENADOR; (2) CONTROLADOR DE VUELO; (3) GPS; (4) MOTORES SIN ESCOBILLAS; Y (5) BATERÍA LI-PO. FIGURA ABAJO: AGRIQ DURANTE UN VUELO DE EXPLORACIÓN EN UN CAMPO DE MAÍZ EN GUANAJUATO.

Una vez que el dron multirrotor navega de manera autónoma y ordenada con algoritmos de control y navegación previamente cargados en el autopiloto, las imágenes capturadas por el sistema multispectral se descargan a un ordenador, y el software desarrollado calcula diversos índices de vegetación y mapas útiles para el agricultor. En la *Ilustración 2* se muestran mapas de clorofila, biomasa, e índices MCARI (*Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index 1*) y LAI

(*Leaf Area Index*). Estos índices de vegetación sirven como indicadores del estado de salud entre las regiones de vegetación. Éstos son solo 4 ejemplos de mapas de información, pero es posible obtener algunas decenas de ellos. Esta información es plasmada en un mapa con coordenadas GPS de tal forma que el agricultor puede tomar decisiones en cuanto al tratamiento o mantenimiento del cultivo, cuidando los recursos de una manera cercana a la óptima.

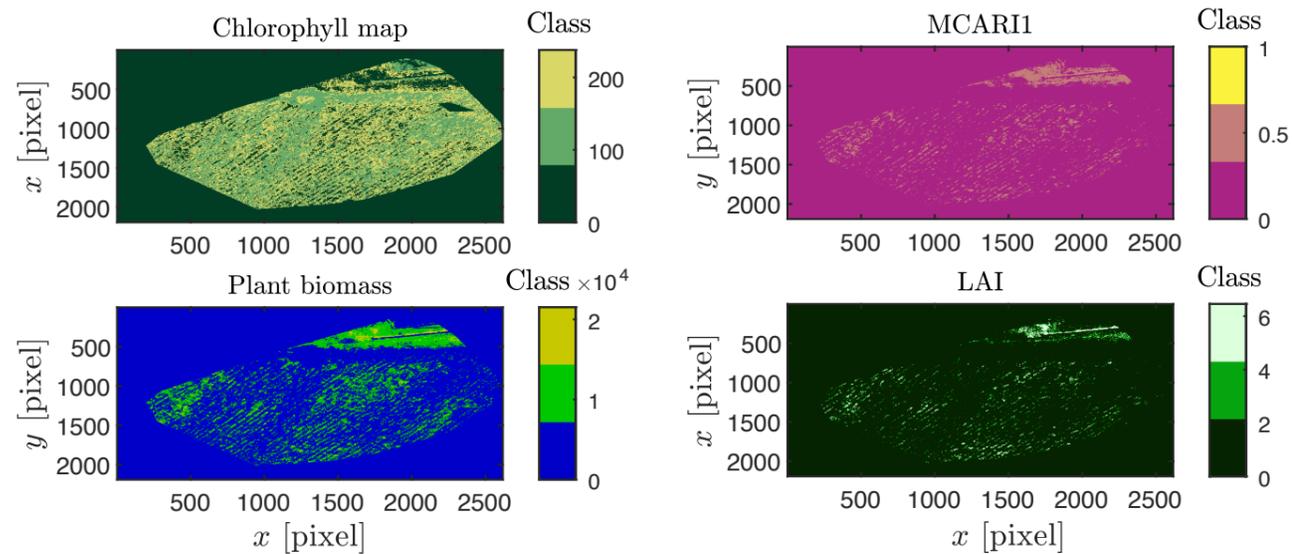


ILUSTRACIÓN 2. ÍNDICES DE MAPA DE VEGETACIÓN CALCULADOS CON EL SISTEMA AGRÍCO DEL CULTIVO DE MAÍZ MOSTRADO EN LA ILUSTRACIÓN 1.

### Clasificación de malas hierbas a partir de imágenes de campos de maíz usando aprendizaje y profundo

La discriminación de los cultivos y las malas hierbas en entornos naturales de campo sigue siendo un reto para la aplicación de prácticas agrícolas automáticas. Esto es debido a que este tipo de hier-

bas consume, e incluso llega a dañar, a los cultivos. Utilizando imágenes aéreas de una cámara RGB se clasificaron malezas de hoja estrecha (NLW) y malezas de hoja ancha (BLW). Las imágenes se capturaron en condiciones naturales de campo, en diferentes ubicaciones y etapas de crecimiento de las plantas. La extracción de las regiones de inte-

rés (ROI) se lleva a cabo empleando el análisis de componentes conectados (CCA), mientras que la clasificación de las ROI se basa en redes neuronales convolucionales (CNN). El método de procesamiento de imágenes para clasificación de malezas en etapas tempranas de crecimiento y en entornos naturales de campos de maíz obtuvo una precisión del 97% en la detección de malezas. En la *Ilustración 3* se observan los pasos en el algoritmo de

procesamiento de imágenes desarrollado. Un reto para esta investigación es generar suficientes bases de datos con variadas especies de malezas, a fin de conseguir una mejor detección en ambientes variados.

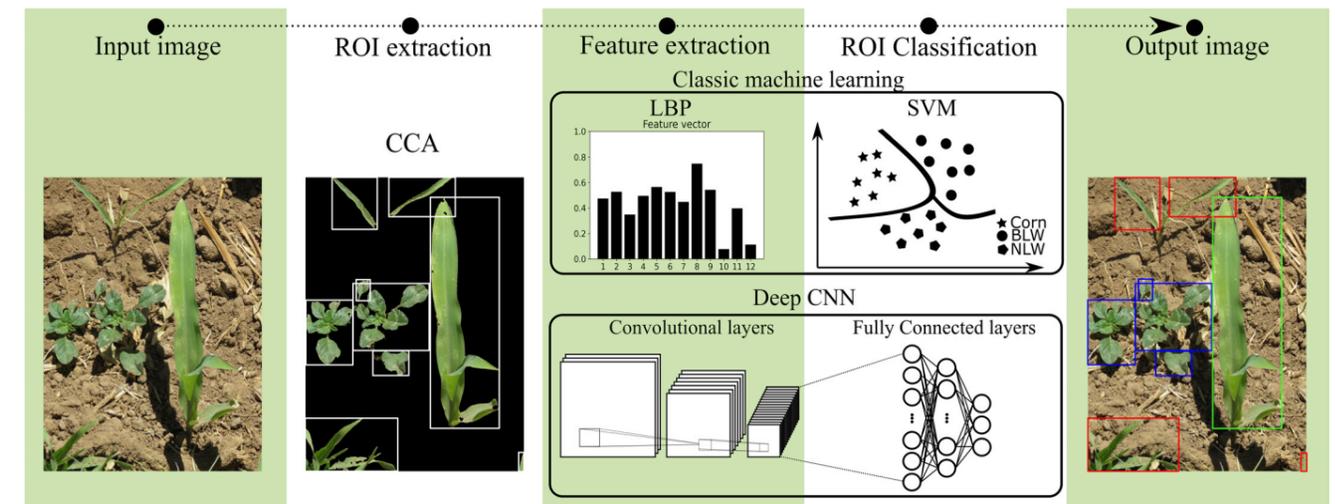


ILUSTRACIÓN 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS MALAS HIERBAS EN CAMPOS DE MAÍZ REALES (RECUADRO VERDE: CULTIVO, RECUADRO ROJO: NLW (MALEZA COMÚN DE HOJA ESTRECHA) Y CUADRO AZUL: BLW (MALEZAS DE HOJA ANCHA)).

### Robot para la detección de fresas y la estimación de su madurez

Tener un conocimiento completo de un campo de cultivo de fresas es útil para tomar decisiones cruciales y optimizar la producción de fresas. Para ello, se presenta un robot autónomo tipo rover que detecta las fresas y estima su madurez en un campo de

cultivo a través de información visual utilizando una cámara estéreo; esto se puede ver en la *Ilustración 4*. Para la detección y clasificación de fresas, acorde a su estado de madurez, se diseña e implementa un algoritmo que utiliza técnicas de procesamiento de imágenes con aprendizaje profundo. Además, se construye un mapa de fresas para proporcionar al

agricultor información sobre el estado de crecimiento de la fruta, la salud e incluso una estimación de la producción. Es importante mencionar que en México los cultivos de fresa son como aquel de la *Ilustración 4*. Esto dificulta la detección de la fresa; en cambio, existen plantaciones de fresa en los países desarrollados donde éstas se cultivan en ambientes controlados donde algún robot puede identificar las fresas de manera simple. En nuestro caso, el robot y el algoritmo de visión están diseñados para trabajar en las plantaciones de fresa de la región de Guanajuato, donde se presentan terrenos irregulares, espacios estrechos, y fondos escarpados.

Se realizaron experimentos en un campo de cultivo natural, mostrando resultados satisfactorios. El presente sistema consigue un 72% de fresas detectadas de la cantidad total, a una media de 23 cuadros por segundo, mejorando el estado de arte en cultivos del tipo mostrado en la *Ilustración 4*.

Existen importantes retos en esta investigación, como son detectar las fresas ocultas por la planta, determinar un rango variado de estados de madurez, y desarrollar un robot móvil manipulador capaz de cosechar la fresa. Actualmente, en el laboratorio se trabaja en aquellas direcciones.

### Conclusiones

Existe un inmenso trabajo de investigación por hacerse en la agricultura de precisión. Uno de los problemas más fuertes es la falta de *data sets* que representen la gran variedad de frutos, plantas, y cultivos en la diversidad de escenarios y condiciones existentes. Además, el problema de la autonomía de los robots es un problema abierto en general para la teoría de control. Los temas anteriores son de particular importancia en los procesos agrícolas que requieren cosecha de diversos frutos. El tema más avanzado actualmente está en la medición de variables ambientales, sin embargo, hace falta reducir los costos en este tipo de dispositivos y que sean alcanzables especialmente para los países en desarrollo. En el CIO se desarrollan colaboraciones en esta dirección con el Plant AI + Biophysics Lab de la Universidad de California en Davis a fin de conseguir desarrollos en la frontera de la ciencia y tecnología.

En cuanto a las investigaciones en el tema de agricultura de precisión, es de notar que en el año 2021 se tienen alrededor de 2700 publicaciones en el tema de agricultura de precisión con *machine learning*, y se estima que para el 2025 se tengan solo en ese año alrededor de 10,000 publicaciones. Esto indica la creciente demanda en investigación científica y tecnológica en esta temática. ▀

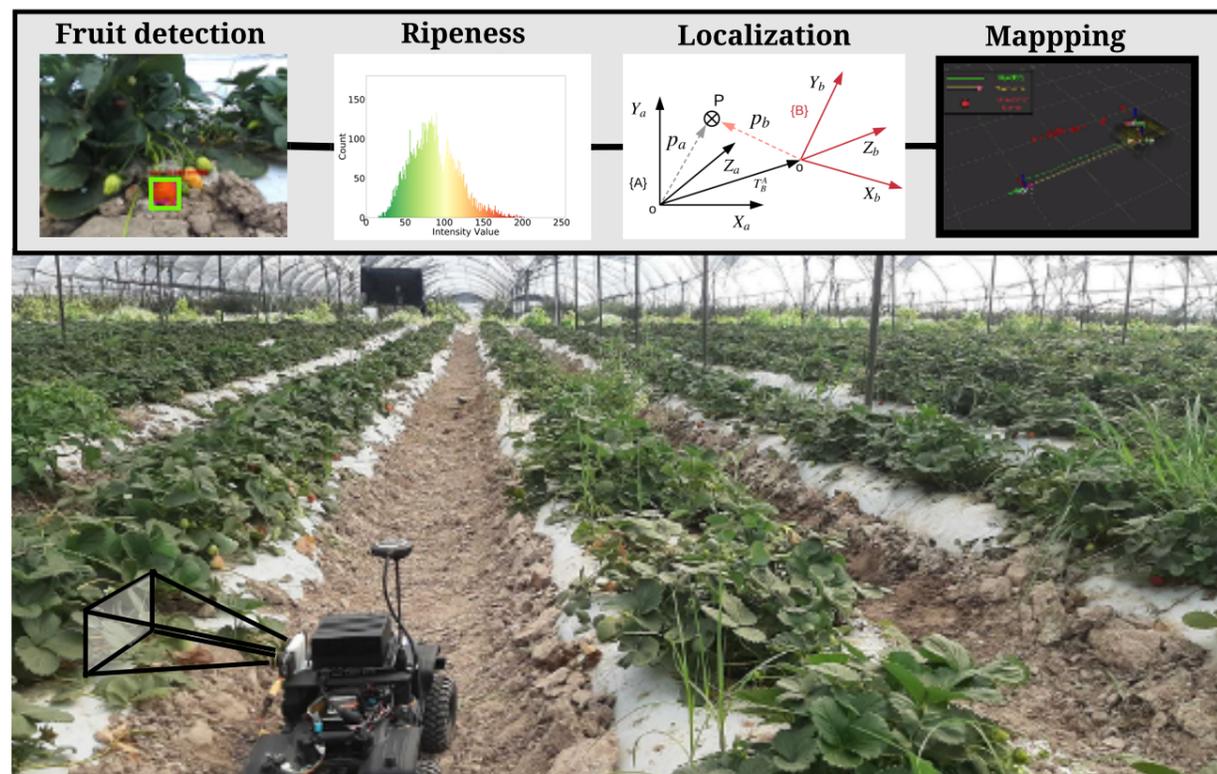


ILUSTRACIÓN 4. EL ROVER CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO EN UN CAMPO DE CULTIVO DE FRESAS EN PÉNJAMO GUANAJUATO. EL ROVER ESTÁ DOTADO DE UN ORDENADOR Y DE UN PAR ESTEREOSCÓPICO ENCARGADO DE CAPTAR IMÁGENES DE LAS PLANTAS DE FRESA. DETECTA LAS FRESAS, DETERMINA SU MADUREZ, LAS LOCALIZA Y OBTIENE TAMBIÉN UN MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS FRESAS EN EL ESPACIO.

#### Grupo de Investigación:

Gerardo Flores

Luis Valentín

Andrés Montes de Oca

Francisco Garibaldi

Gesem Gudiño

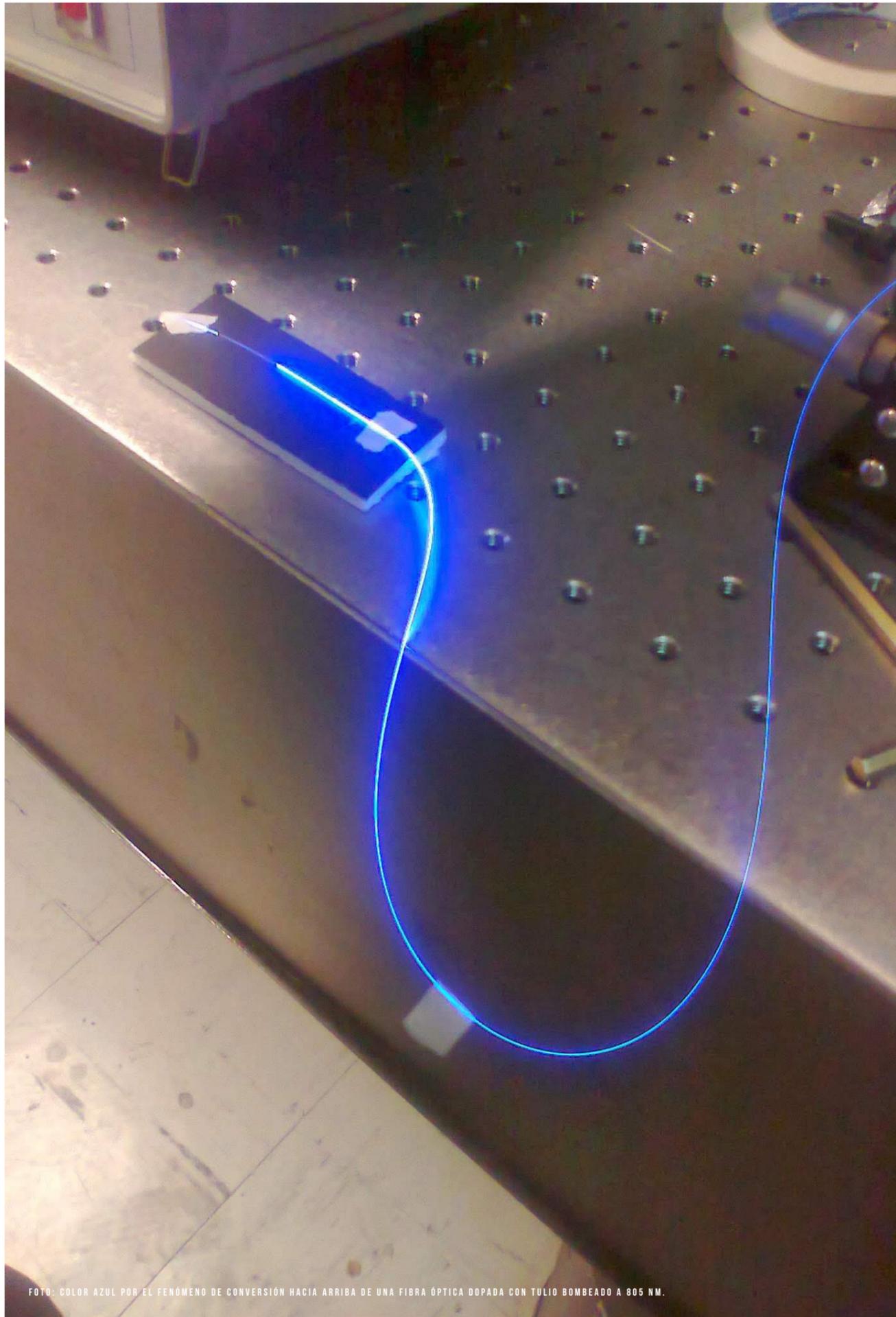


FOTO: COLOR AZUL POR EL FENÓMENO DE CONVERSIÓN HACIA ARRIBA DE UNA FIBRA ÓPTICA DOPADA CON TULIO BOMBEADO A 805 NM.

# EL FUTURO DE LOS LÁSERES DE FIBRA ÓPTICA

GILBERTO ANZUETO

Los láseres de fibra óptica son un tipo de láseres que han tenido un alto crecimiento en el mercado por sus aplicaciones en manufactura, tratamientos médicos, sin olvidar la contribución de los amplificadores de Erblio en comunicaciones ópticas. En el CIO se han estudiado y demostrado, teórica y experimentalmente, láseres de fibra óptica dopados con tierras raras (Erblio, Iterbio, Tulio, Holmio) y usando efectos no lineales ópticos como el efecto Raman estimulado, en el visible e infrarrojo (IR) cercano, en onda continua como pulsados, con operación eficiente primordialmente en las longitudes de onda de  $1 \mu\text{m}$ ,  $1.55 \mu\text{m}$  y recientemente en  $2 \mu\text{m}$ ; uno de ellos ofreciendo mediana potencia ( $\sim 200 \text{ W}$ ).

El objetivo de desarrollar estos láseres ha sido principalmente estudiar su dinámica y física, generación de pulsos (cortos, solitones, de ruido), efectos no lineales, conversión fotónica, sintonización y manipulación espectral empleando filtros ópticos todo-fibra hechos en casa y sensores.

De acuerdo con el interesante documento: “*Fiber Lasers Global Market Report 2022*” [1] (se puede solicitar una copia en internet) se espera que el mercado de láseres de fibras ópticas crezca de 2970 millones en 2021 a 3350 millones de dólares en 2022. El crecimiento en las industrias automovilística y electrónica, da como resultado un crecimiento importante del mercado de los láseres de fibra, ya que son instrumentos indispensables para sostener este crecimiento. Los láseres de fibra se utilizan para etiquetar, cortar y soldar piezas en automóviles, facilita los cortes pequeños y complejos en piezas de automóviles y para dispositivos electrónicos.

Empresas como *Laserline, Trumpfy Coherent* están desarrollando láseres de fibra especialmente enfocados a la industria automotriz. El reporte también indica que nuevas tecnologías como el láser de fibra óptica de alta potencia, diodos láser y láseres azules, se han introducido en el mercado dirigido a la soldadura. El láser azul tiene mayor potencia y brillo en comparación con el láser ordinario de 800 nm, y cuenta con la ventaja de no generar exceso de calor. Estas nuevas tecnologías aportan una mayor precisión al soldar y cortar materiales.

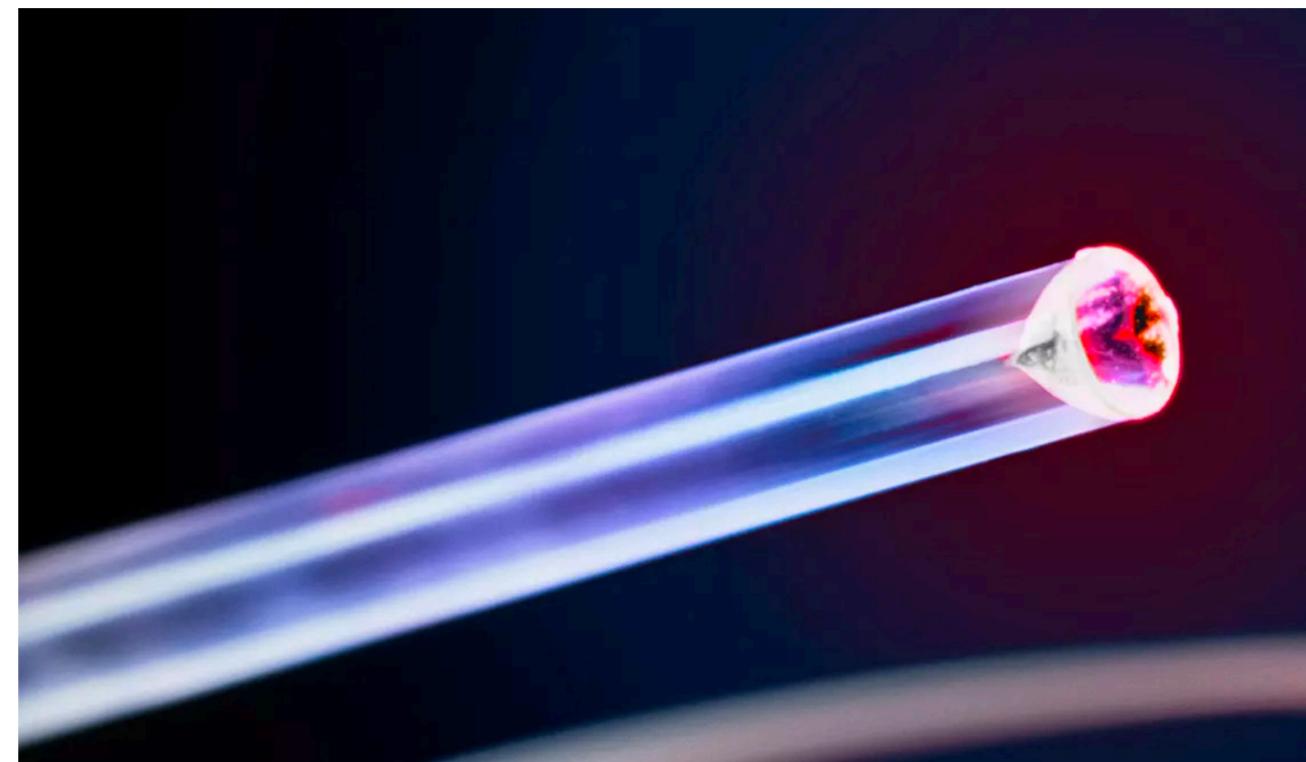
En cuanto a investigación, los esfuerzos se concentrarán, entre otros temas, en explorar nuevas regiones en longitud de onda hacia el medio IR, para ello la necesidad de nuevos materiales ópticos como dopantes, configuraciones de cavidades láser, diferentes geometrías de fibra óptica y transiciones energéticas de tierras raras ahora en el mediano IR, para explorarlos en aplicaciones como medicina, espectroscopía de alta precisión, sensado de gases, entre otras.

El material extensivamente utilizado para construir fibras ópticas es el vidrio de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), por sus propiedades intrínsecas, y se cuenta

con una tecnología madura. En nuestro conocimiento, el láser más reciente, construido con este material y con la longitud de onda más larga es de alrededor de  $4.5 \mu\text{m}$  [2], con una potencia máxima de salida de 500 mW logrado con una fibra de núcleo hueco rellena con gas Bromuro de Hidrógeno (HBr) (*Gas fiber laser*). Este láser fue bombeado con un arreglo de diodos láser y un amplificador de fibra óptica dopada con Tulio y gracias a las transiciones energéticas del gas se alcanzó esta longitud de onda. El uso de otros materiales huésped para las tierras raras tales como los vidrios fluorados, entre ellos el ZBLAN, vidrios calcogenuros y vidrios teluritos, ha permitido progresivamente extender el desarrollo de láseres hacia parte del medio IR[3]; sin embargo, comparado con el vidrio sílice, estas fibras tienen el umbral de daño óptico más bajo, por consiguiente, el escalamiento en potencia por ahora es limitado; además que la tecnología para el manejo de estas fibras: llámese empalmes, fabricación de dispositivos necesarios para construir cavidades láser, acopladores, combinadores de haz, moduladores, sintonizadores, interruptores y hasta espejos, es aún una limitación por la poca disponibilidad comercial y representa un área de oportunidad tecnológica.

Finalmente, con el uso de técnicas de aprendizaje profundo, aprendizaje de máquina, control adaptivo y algoritmos genéricos se abre la posibilidad de nuevos diseños de láseres operados con control robusto; y además realizar tareas útiles, por ejemplo: optimizar un láser de amarre de modos, caracterizar y analizar la gran cantidad de datos que ofrece sus complejos regímenes de operación [4].

El CIO, dada su larga tradición en investigación en láseres de fibra óptica, se enfrentará con esmero a los nuevos retos científicos y tecnológicos, demandas actuales y por venir. 



#### Referencias:

- [1] <https://www.thebusinessresearchcompany.com/press-release/fiber-lasers-market-2022>
- [2] Zhou, Z., Wang, Z., Huang, W., Cui, Y., Li, H., Wang, M., ... & Wang, Y. (2022). Towards high-power mid-IR light source tunable from 3.8 to 4.5  $\mu\text{m}$  by HBr-filled hollow-core silica fibers. *Light: Science & Applications*, 11(1), 1-13.
- [3] Jackson, S. D., & Jain, R. K. (2020). Fiber-based sources of coherent MIR radiation: key advances and future prospects. *Optics Express*, 28(21), 30964-31019.
- [4] Kuprikov, E., Kokhanovskiy, A., Serebrennikov, K., & Turitsyn, S. (2022). Deep reinforcement learning for self-tuning laser source of dissipative solitons. *Scientific Reports*, 12(1), 1-9.



# TECNOLOGÍA DE SOFTWARE EMERGENTE

PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS



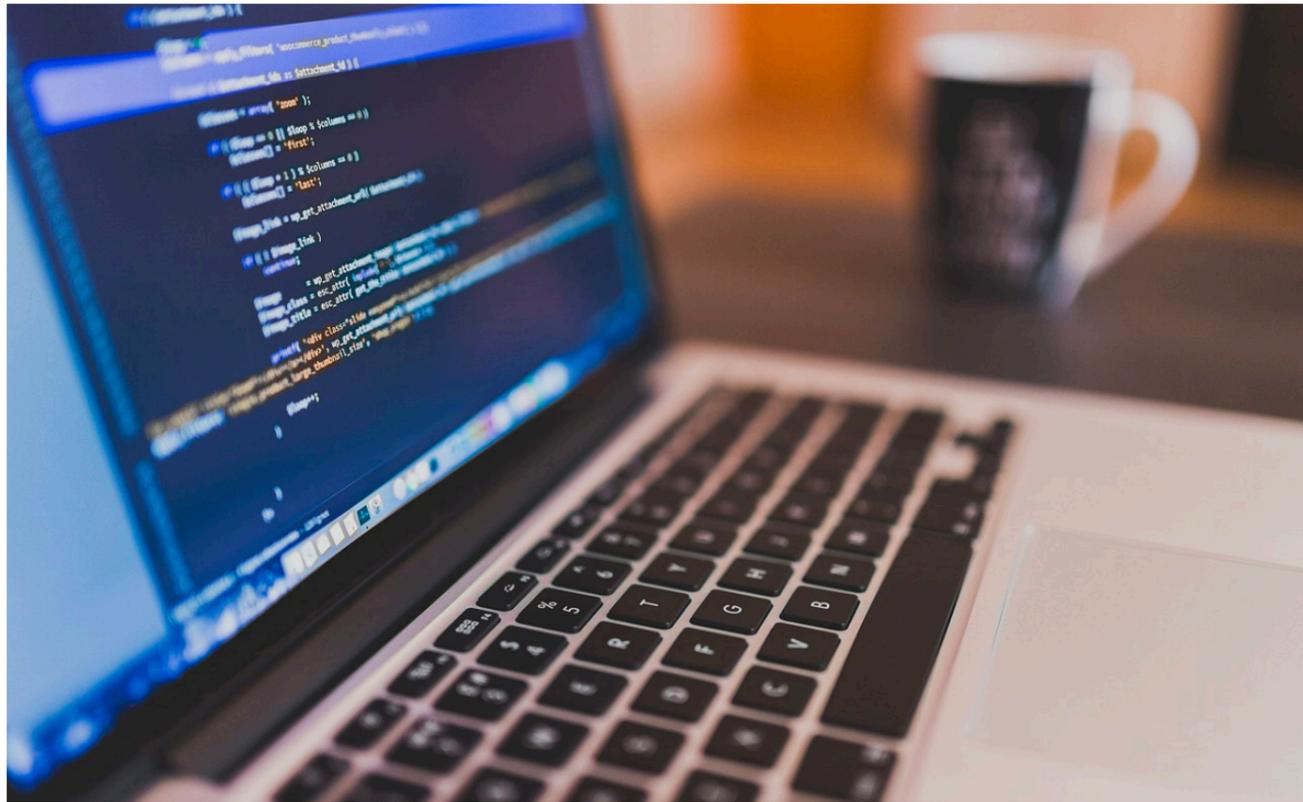
RICARDO VALENZUELA

En las últimas décadas, la gestión de proyectos ha evolucionado de una forma sin precedentes, el Project Management Institute (PMI), nació al final de la década de 1960, actualmente cuenta con alrededor de tres millones de miembros a nivel global y en México se constituyó el capítulo del PMI Chapter México en 1996; el objetivo de esta institución ha sido desde entonces recuperar las mejores prácticas globales en la gestión de proyectos, las cuales están difundidas a través del Project Management Book of Knowledge, (PMBOK). Todo este esfuerzo ha sido muy importante para promover la homologación de prácticas que ayuden a

mejorar la efectividad a la hora de desarrollar proyectos en cualquier ámbito, esto bajo la metodología tradicional de los proyectos que tiene como supuesto que existe claridad en los objetivos del proyecto y los entregables necesarios para conseguir dichos objetivos.

La metodología tradicional se fundamenta en que el ciclo de vida de los proyectos consta de una etapa de inicio, otra de planeación, una de ejecución y finalmente una etapa de cierre, así como también, que a lo largo de la vida del proyecto se establecen procesos de monitoreo y se llevan a cabo acciones de control para evitar desviaciones





significativas con respecto al plan, ver Ilustración 1. Bajo esta perspectiva de trabajo, las etapas del ciclo de vida de los proyectos viven procesos que toman entradas y generan salidas que son insumo para los procesos de las subsecuentes etapas. Esta metodología es reconocida por sus procesos y herramientas. Bajo esta metodología, una vez constituido el plan de dirección del proyecto, los cambios son evitados y el cliente no tiene participación durante el proceso de desarrollo.

Sin embargo, en la década de los 80's y 90's las industrias de alta tecnología como la del desarrollo de software y un entorno con creciente velocidad de desarrollo tecnológico provocaron que se debatiera sobre si la mejor forma de administrar proyectos era este esquema tradicional. Desde entonces han surgido otros esquemas de dirección de proyectos con una visión más flexible, denominados esquemas de trabajo ágil de gestión de proyectos, o también AGILE.

Entonces bajo este nuevo esquema de trabajo se privilegia la colaboración con el cliente, también, se da la bienvenida al cambio incluso durante la etapa de ejecución del proyecto, la comunicación y trabajo en equipo de la gente o miembros del equipo se convierte en fundamento para la buena consecución de los objetivos, en fin, trae consigo un cambio cultural importante.

En este contexto de los proyectos, la expansión de la metodología tradicional a la metodología Agile también impactó el software que se ha utilizado para apoyar la gestión de los proyectos como el Microsoft Project, el cuál en su última versión profesional muestra herramientas para Agile. Muchas organizaciones conocen Ms Project y también es muy común que se utilicen las hojas de cálculo de Excel para apoyo. Sin embargo, actualmente existe una oferta importante de software que promueve la colaboración de equipos de trabajo, la compartición de información, el seguimiento a través de la técnica

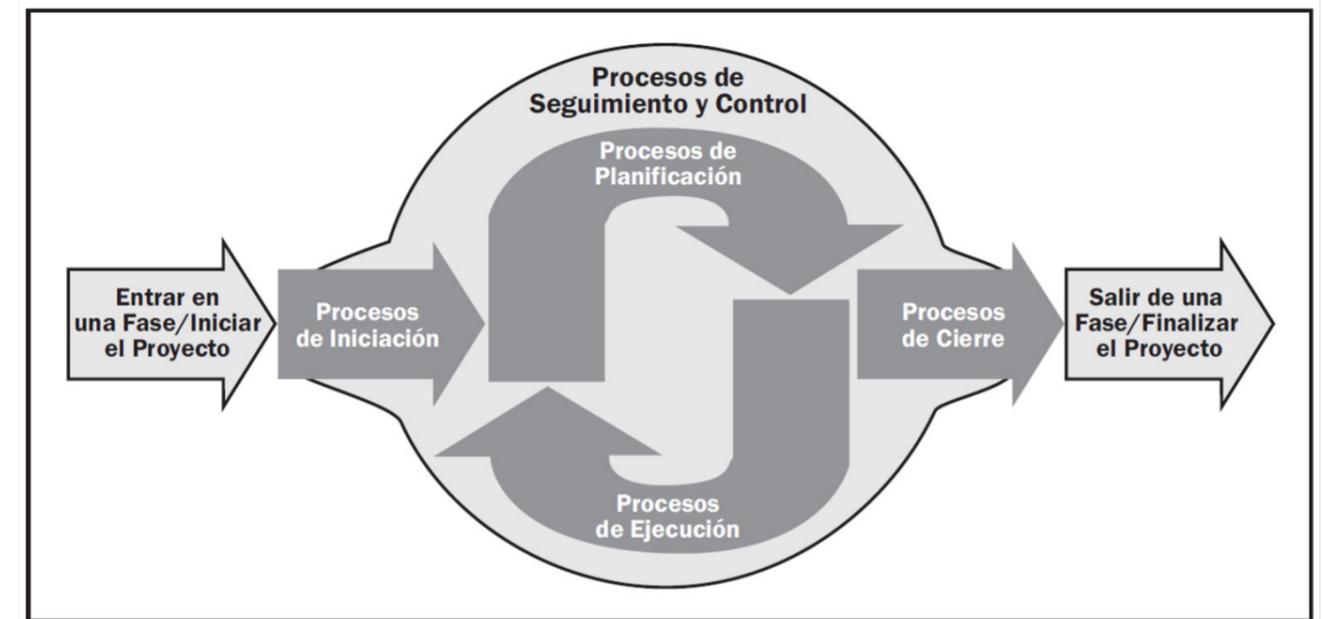


ILUSTRACIÓN 1. GRUPOS DE PROCESOS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI), 2008)

ca Agile ya sea bajo el esquema normal o Lean, etc., han surgido un sin número de aplicaciones online en las que se desarrolla y prueba software de forma concurrente e incluso paralela. Un ejemplo de la diversidad de Apps son las denominadas tablas periódicas de Microsoft Office (<https://www.thewindowsclub.com/office-365-periodic-table>), así como otras marcas como Google.

En este sentido, el software para la dirección de proyectos ha incrementado su oferta, hoy es fácil encontrar aplicaciones, como Teams, que proporcionan apoyo a la comunicación de los equipos de trabajo; y herramientas, como Planner, que apoyan a la coordinación, a través de tableros visuales, para la consecución de las tareas y la integración de los componentes del proyecto. Otros ejemplos de aplicaciones que no son de Microsoft son: Slack, el cuál sirve para crear un espacio de trabajo virtual para el equipo de trabajo; otra herramienta es Trello, que ayuda a la organización

a través de la elaboración de listas de tareas con estatus de progreso; también, Asana, es una herramienta que permite crear, visualizar y rastrear proyectos y tareas del equipo bajo un ambiente online; entre otras opciones.

En conclusión, desde una perspectiva particular, el software de apoyo a la dirección de proyectos es una tecnología emergente debido a que la filosofía de la gestión de proyectos está emigrando de un esquema de trabajo tradicional a un Agile, en donde había ya aplicaciones como Microsoft Project que automatizaba las herramientas como el Diagrama de Gantt, el Presupuesto, etc., pero ahora en esta nueva era, se requieren herramientas que promuevan la colaboración y proporcionen mayor facilidad de uso, así como visibilidad de las tareas y su progreso. ■

#### Bibliografía

Project Management Institute (PMI). (2008). *Guía de los Fundamentos para la Dirección del Proyecto (Guía del PMBOK)*. Newtown Square, Pennsylvania: PMI.



CAMPAÑA PROMOVIDA POR  
EL COMITÉ DE ÉTICA Y DE PREVENCIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS DEL CIO  
**(CEPCI)**

# DATOS ABIERTOS

## LOS DATOS ABIERTOS SON:

Datos digitales que son puestos a disposición con las características técnicas y jurídicas necesarias para que puedan ser usados, reutilizados y redistribuidos libremente por cualquier persona, en cualquier momento y en cualquier lugar.

Puedes consultar los del CIO en:  
[https://cio.mx/transparencia\\_focalizada.php#contentdatos](https://cio.mx/transparencia_focalizada.php#contentdatos)



WWW.CIO.MX

## PROGRAMA NACIONAL PARA LA IGUALDAD ENTRE MUJERES Y HOMBRES



### PROIGUALDAD 2020-2024

#### ¿QUÉ ES?

El comité de Proigualdad del CIO emana del Programa Nacional para la Igualdad entre Mujeres y Hombres 2020-2024 para generar mecanismos que logren la igualdad sustantiva entre Mujeres y Hombres, promuevan el empoderamiento de las mujeres y luchen con la discriminación de género.

**En el Comité de Proigualdad del CIO, nos coordinamos y trabajamos para aplicar la igualdad entre mujeres y hombres**

#### OBJETIVOS PRIORITARIOS

El PROIGUALDAD articula su Política Nacional para la Igualdad entre Mujeres y Hombres a partir de la consecución de seis objetivos prioritarios:



#### Objetivo prioritario 1

Potenciar la autonomía económica de las mujeres para cerrar brechas históricas de desigualdad.



#### Objetivo prioritario 2

Generar las condiciones para reconocer, reducir y redistribuir los trabajos domésticos y de cuidados de las personas entre las familias, el Estado, la comunidad y el sector privado.



#### Objetivo prioritario 3

Mejorar las condiciones para que mujeres, niñas y adolescentes accedan al bienestar y la salud sin discriminación desde una perspectiva de derechos.



#### Objetivo prioritario 4

Combatir los tipos y modalidades de violencia contra las mujeres, niñas y adolescentes, preservando su dignidad e integridad.



#### Objetivo prioritario 5

Posicionar la participación igualitaria de las mujeres en la toma de decisiones en los ámbitos político, social, comunitario y privado.



#### Objetivo prioritario 6

Construir entornos seguros y en paz para las mujeres, niñas y adolescentes.

#### ¿QUIÉNES LO INTEGRAN?

Investigadoras(es), Ingenieras(os), Técnicas (os) y Administrativas (os) del Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.

**¡Únete al Comité de Proigualdad del CIO!**



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONACYT  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Contacto: [proigualdad@cio.mx](mailto:proigualdad@cio.mx)

**CALENDARIO DE CURSOS 2022**

ONLINE / PRESENCIAL

Innovemos juntos el futuro...

direccion.tecnologica@cio.mx      www.cio.mx



No.	Curso	Hrs	Fecha
<b>AGOSTO</b>			
46	PLCs en la industria	32	9, 10 y 11
47	Proceso de fabricación de espejos y prismas	24	16, 17 y 18
48	Microscopía óptica práctica	24	23, 24 y 25
49	Sistemas fotovoltaicos	16	23, 24 y 25
50	Máquinas herramientas CNC (Control numérico computarizado)	32	22 al 26
51	Formulación de color en textiles a nivel laboratorio	16	30 y 31
<b>SEPTIEMBRE</b>			
52	Instrumentación virtual	30	5 al 8
53	Diseño y fabricación de películas antirreflejantes	24	20, 21 y 22
54	Protecciones eléctricas para sistemas fotovoltaicos	8	24
54	Sistemas láser en la industria	8	30
<b>OCTUBRE</b>			
55	Estimación de incertidumbre	16	4 y 5
57	Microscopía electrónica de barrido (SEM)	16	12 y 13
59	Comunicaciones inalámbricas para la industria 4.0	16	19 y 20
60	Óptica básica práctica	16	19 y 20
61	Pruebas ópticas clásicas	16	20 y 21
62	Fotometría y color	16	20 y 21
63	Diseño de laboratorios de metrología	40	24 al 28
64	Administración de equipos de medición	16	26 y 27

No.	Curso	Hrs	Fecha
<b>NOVIEMBRE</b>			
65	Taller de máquina de medición por coordenadas	40	7 al 11
66	Baterías de litio: fabricación y equipos de procesamiento	22	23, 24 y 25
67	Taller de fabricación óptica	24	25, 26 y 27
68	Taller de fibras ópticas y su aplicación en la industria automotriz	16	29 y 30
<b>DICIEMBRE</b>			
69	Raspberry Pi Pico con MicroPython	16	1 y 2
70	Baterías de litio: Normas	32	5 al 8
71	Tolerancias geométricas y dimensionales	24	6, 7 y 8
72	Inteligencia artificial	16	8 y 9
73	Tecnología de infrarrojo	16	8 y 9
74	Redes neuronales	16	12 y 13
75	Aplicaciones del microprocesador Jetson	16	14 y 15
76	Diseño y aplicaciones de drones	24	14, 15 y 16



No.	Curso	Hrs
<b>DIPLOMADOS</b>		
1	<b>DIPLOMADO BATERÍAS ELÉCTRICAS</b> 8 cursos: (1) Baterías eléctricas fundamentos y práctica (30 h) (2) Tipos de baterías y sus aplicaciones (24 h) (3) Baterías de Litio: fabricación y equipos de procesamiento (22 h) (4) Tecnología de cuarto limpio y seco (24 h) (5) Baterías de Litio: Normas (32 h) (6) Limpieza y control de contaminación de superficies (24 h) (7) Deposito de películas delgadas (40 h) (8) Caracterización electroquímica de baterías de Litio (20 h)	216
2	<b>DIPLOMADO INDUSTRIA 4.0</b> 5 cursos: (1) Gestión e innovación tecnológica (32 h) (2) Lenguajes de programación (32 h) (3) Tecnologías de automatización (12 h) (4) Diseño mecánico (16 h) (5) Tecnologías operativas (48 h)	140
3	<b>DIPLOMADO ÓPTICA PRÁCTICA</b> 10 cursos: (1) Óptica básica práctica (32 h) (2) Fibras ópticas para la industria (32 h) (3) Color (16 h) (4) Fotometría y luminotecnia (36 h) (5) Instrumentación óptica (32) (6) Diseño óptico (32) (7) Manufactura óptica (32) (8) Visión artificial práctica (24) (9) Películas delgadas (24) (10) Metrología óptica (40)	300
<b>CURSOS A LA MEDIDA, ADECUADOS A LAS NECESIDADES DE TU EMPRESA</b>		

<https://ares.cio.mx/CIO/cursos/fichainscripcionCurso.php>



# COMITÉ DE ÉTICA



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

**¡NO TE CALLES!**

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, con las personas consejeras [alfredo@cio.mx](mailto:alfredo@cio.mx), [laura@cio.mx](mailto:laura@cio.mx), OIC o bien consulta en el INMUJERES: 01 (55) 5322-6030



**¿Qué es Conciliar?** La Conciliación de la vida laboral, familiar y personal es una estrategia que facilita la consecución de la igualdad efectiva de mujeres y hombres. Se dirige a conseguir una nueva organización del sistema social y económico donde mujeres y hombres puedan hacer compatibles las diferentes facetas de su vida: el empleo, la familia, el ocio y el tiempo personal.



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

**¡NO TE CALLES!**

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, con las personas consejeras [alfredo@cio.mx](mailto:alfredo@cio.mx), [laura@cio.mx](mailto:laura@cio.mx), OIC o bien consulta en el INMUJERES: 01 (55) 5322-6030

