

# NOTICIO

nueva edición año 1 No. 4 2013

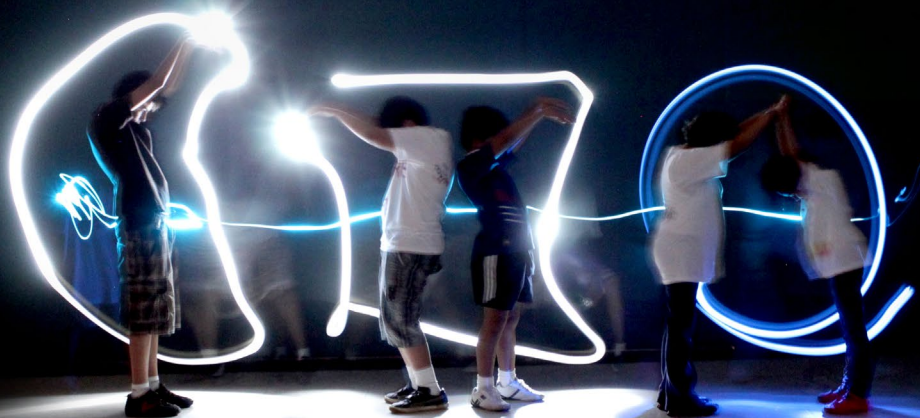
**PROGRAMAS  
DE POSGRADO**  
*en Óptica y Mecatrónica*

**RECONSTRUCCIÓN  
DIGITAL**  
*de piezas Arqueológicas*

**FIBRAS *Huecas***

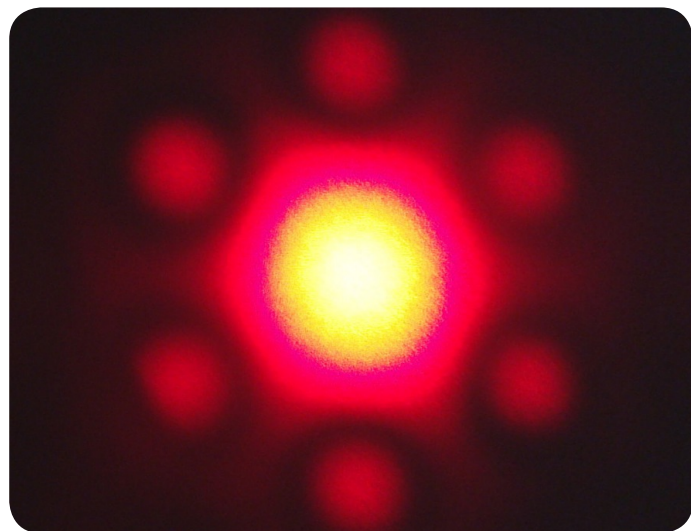
**MicroFLUÍDICA**

**CLUB DE CIENCIAS**  
*Cursos de verano - Museo*



# CONTENIDO

DICIEMBRE 2013



**9** *Pasado, presente y futuro de la Maestría en Optomecatrónica.*

**19** *Fabricación de Fibras Ópticas en el CIO.*

## EDITORIAL

5 Dr. Elder de la Rosa

## LA FORMACIÓN DE CIENTÍFICOS Y TECNÓLOGOS EN EL CIO

9 Pasado, presente y futuro de la Maestría en Optomecatrónica.

17 La Dirección de Formación Académica.

22 Programas de Posgrado en el CIO.

26 Convenios Internacionales de Intercambio Académico.

## HACEMOS CIENCIA PARA TI

6 Microfluídica. Grupo de Sensores Ópticos y Microdispositivos (GSOM).

14 Determinación micro-topográfica mediante proyección de luz estructurada.

19 Fabricación de Fibras Ópticas en el CIO.

24 Microlentes.



**12** *La Coordinación de Divulgación del Centro de Investigaciones en Óptica.*

## LOS PROGRAMAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA EN EL CIO

**12** La Coordinación de Divulgación del Centro de Investigaciones en Óptica.

## CONTRAPORTADA

**8** Promoción de Posgrados que ofrece el CIO.

Equidad de Género.



## PORTADA

Arriba, experimento de generación de plasma inducido por láser (LIBS) en el Laboratorio de Espectroscopía del CIO. Abajo, taller de light graffiti realizado por la Coordinación de Divulgación 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, espectroscopia, 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

DICIEMBRE 2013

## DIRECTORIO

### DIRECTOR GENERAL

*Dr. Elder de la Rosa Cruz*  
dirgral@cio.mx

### DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

*Dr. Gabriel Ramos Ortiz*  
dirinv@cio.mx

### DIRECTORA DE FORMACIÓN ACADÉMICA

*Dra. Amalia Martínez García*  
dirac@cio.mx

### DIRECTOR DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

*Dr. Gonzalo Páez Padilla*  
dvydt@cio.mx

### DIRECTOR ADMINISTRATIVO

*Lic. Gerardo E. Sánchez García Rojas*  
diradmon@cio.mx

## PERSONAL DEL NOTICIO

*Editor Administrativo:* Elder de La Rosa

*Editor Científico:* Vicente Aboites

*Corrección:* Enrique Landgrave

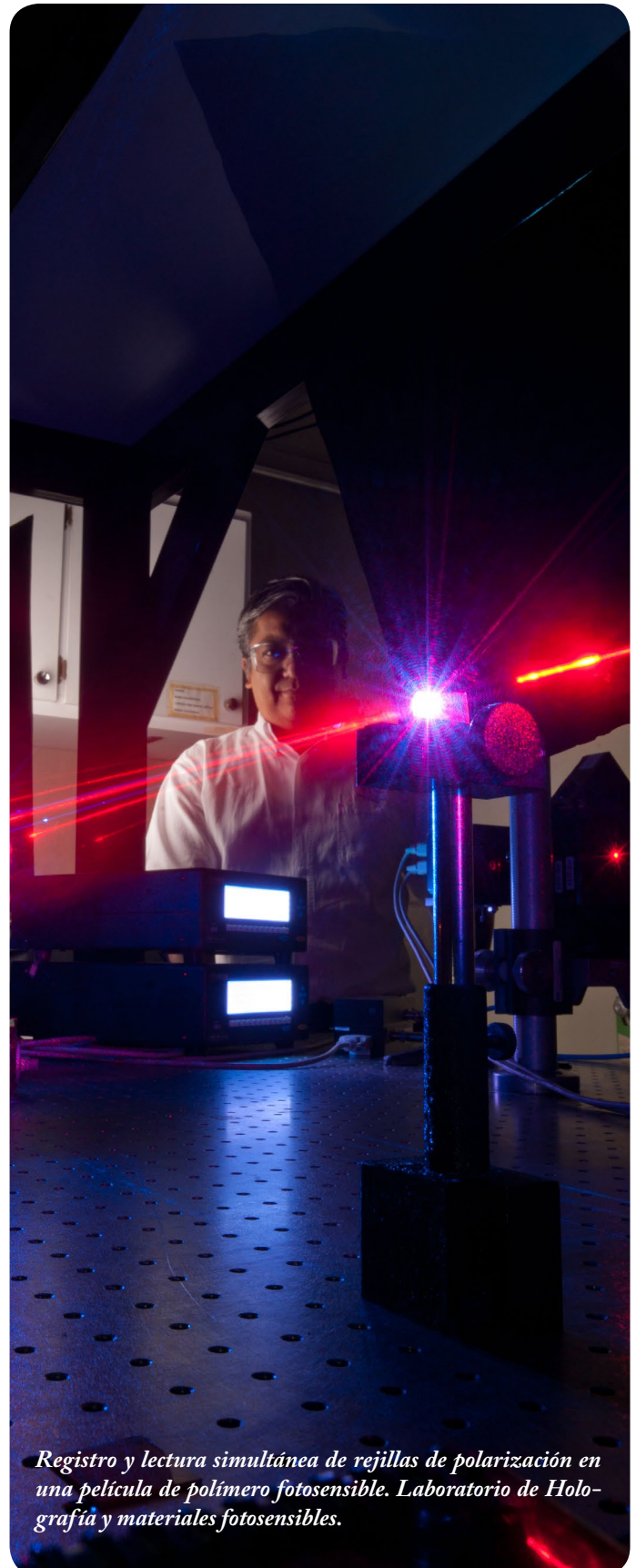
*Diseño Editorial:* Carolina Arriola, Lucero Alvarado.

*Colaboradores del mes de Septiembre:* Oracio Barbosa, Bernardino Barrientos, Manuel De La Torre, Luis Díaz-Torres, Rafael Espinosa, Eleonor León, José Luis Maldonado, Marco Meneses, Gabriel Ramos.

## NOTICIO

### DOMICILIO

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



*Registro y lectura simultánea de rejillas de polarización en una película de polímero fotosensible. Laboratorio de Holografía y materiales fotosensibles.*

# EDITORIAL

TEXTO ELDER DE LA ROSA

La formación de capital humano es uno de los ejes de nuestro plan estratégico de mediano plazo a desarrollarse en los próximos cinco años. Nuestro objetivo es ofrecer a los estudiantes de postgrado el mejor programa de educación en el área de la Óptica, Fotónica y Optomecatrónica y preparar a los mejores graduados que satisfagan la demanda de profesionistas en esta área del conocimiento. A lo largo de estos 33 años, más de 360 estudiantes han obtenido un grado académico en el CIO. El 65% de nuestros egresados de doctorado pertenecen al SNI. Más de 120 estudiantes de diferentes IES realizan anualmente algún proyecto académico en el CIO. Se impartieron más de 100 cursos por nuestra plantilla de investigadores formada por 62 investigadores todos en el SNI. Nuestros tres programas de posgrado pertenecen al Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT, dos de ellos, maestría y doctorado en ciencias, cuentan con Reconocimiento Internacional, mientras que nuestro programa de optomecatrónica tiene reconocimiento de Programa en Desarrollo. De esta forma, contribuimos a la formación de capital humano altamente capacitado que fortalece la capacidad científica del país, y que atiende la demanda tanto en el sector educativo como en el sector industrial.

La divulgación y difusión de la ciencia es también uno de los ejes estratégicos de nuestro plan de desarrollo. En ese sentido realizamos una serie de actividades enfocadas a diferentes niveles con el propósito de promover la ciencia desde temprana edad. En este número del NOTICIO describimos las actividades de la Coordinación de Divulgación cuyo objetivo es la promoción de la ciencia desarrollando diferentes programas tanto dentro como fuera del CIO.

Como es usual, dentro de la sección Hacemos Ciencia para Ti presentamos cuatro líneas de investigación que tienen que ver con el desarrollo de microdispositivos, microfluídica, microtopografía, microlentes y fibras ópticas microestructuradas. Todas ellas presentan un gran potencial de aplicación en diferentes sectores entre los que destacan el desarrollo de biosensores.

Con esta cuarta entrega cerramos el primer año de esta nueva edición del NOTICIO. El próximo año regresaremos con nuevos bríos para continuar con la difusión de nuestro que hacer, seguro que con ello acercamos al CIO a los diferentes sectores industriales y promovemos una cultura científica en nuestra sociedad.

A todos nuestros lectores, a los que han participado con nosotros escribiendo algún artículo a lo largo de este año y a todos aquellos que han hecho posible la existencia de esta nueva edición del NOTICIO, les agradezco todo el apoyo y sus preferencias por aprender.

Les deseo que tengan una Feliz Navidad y un próspero año nuevo.

***Dr. Elder de la Rosa Cruz***  
**Director General**

# MICROFLUÍDICA

*Grupo de Sensores Ópticos  
y Microdispositivos GSOM*

TEXTO DAVID MONZÓN

Aún cuando en la actualidad se cuenta con una gran variedad de técnicas de análisis clínico y químico de muestras, se mantiene la búsqueda de técnicas que permitan realizar el análisis de una manera rápida y eficiente, obviamente sin perder la rigurosidad de una buena práctica analítica. Esta demanda en particular ha impulsado el desarrollo de técnicas de análisis de tipo laboratorio a escalas pequeñas usando dispositivos micrométricos ( $1 \times 10^{-6}$  m). En este tipo de análisis el costo disminuye considerablemente ya que el volumen requerido del analito es de solamente unos cuantos microlitros ( $1 \times 10^{-6}$  lts), o incluso unas cuantas decenas de nanolitros ( $1 \times 10^{-9}$  lts), y en consecuencia la cantidad de desperdicio producido es también mínima. Pero lo más importante es que se reduce el tiempo requerido para sintetizar y analizar una muestra ya que el comportamiento de los líquidos a escala micrométrica, que difiere significativamente del que guarda a una escala macrométrica, permite un control más eficiente de las concentraciones e interacciones moleculares en la muestra. También de mucha utilidad es el hecho de que utilizando este tipo de técnicas es posible realizar el análisis en el sitio de la prueba sin

necesidad de trasladar la muestra a laboratorios especializados, con el riesgo que esto implica en el manejo y transporte de las muestras. Los métodos y dispositivos que permiten controlar y manipular el flujo de fluidos en escalas menores a un milímetro son campo de estudio de la microfluídica.

En escalas de orden micrométrico los flujos de fluido se comportan diferente a los de escalas macrométricas. Pero la microfluídica no requiere nuevos desarrollos en los principios generales de la mecánica de fluidos, mas bien requiere nuevas aplicaciones de los métodos de mecánica de fluidos. Todo flujo de fluido se caracteriza por el número de Reynolds (Re), que debe su nombre al físico e ingeniero británico Osborne Reynolds (1842-1912) quien lo definió por primera vez en 1883. Esta constante es adimensional (i.e. no tiene unidades) y describe la razón de las fuerzas inerciales y fuerzas viscosas en el flujo del fluido. Las fuerzas inerciales están determinadas por la densidad del fluido, la velocidad del fluido y una longitud característica, mientras que las fuerzas viscosas se relacionan con la viscosidad del fluido. El número de Reynolds (Re) se usa principalmente para describir los rangos del flujo de un fluido y nos dice que tan

turbulento puede ser el flujo de fluido bajo condiciones específicas. El número de Reynolds de algunos flujos de fluidos que podemos encontrar en la vida diaria son los siguientes:  $2 \times 10^9$  para un avión Boeing 747,  $62 \times 10^3$  para una gaviota,  $39 \times 10^2$  para una mariposa, 120 para una mosca común y  $35 \times 10^{-4}$  para un espermatozoide. Para Re altos las fuerzas inerciales predominan sobre las fuerzas viscosas. En el caso de la microfluidica, el  $Re \leq 1$ , por lo que las fuerzas viscosas predominan sobre las fuerzas inerciales. Para estas condiciones se manejan velocidades del orden de 1-100  $\mu\text{m/s}$  y el flujo es considerado como laminar. El reto en el desarrollo de estos dispositivos bajo estas condiciones físicas es el transporte eficiente de sustancias y partículas para su análisis; llámese partículas a células, virus y partículas de materiales diferentes. Una de las aplicaciones más conocidas de la microfluidica son las cabezas de impresión de inyección de tinta, pero se aplica ya en diversas áreas como la biología molecular, el análisis de ADN, la patología clínica, el monitoreo ambiental, por mencionar algunas.

Más recientemente, la unión entre la microfluidica y la óptica dio lugar a la optofluídica, en donde el reemplazo o un cambio en las características del fluido

da lugar a una reconfiguración de un sistema óptico. Por ejemplo en una estructura microfluidica existen interfases sólido-líquido formadas por el canal (sólido) y el fluido que viaja en él. Un haz de luz llevado hasta esta interfase a través de una fibra óptica, e incidiendo a un ángulo determinado respecto a la normal de la interfase, producirá un haz reflejado y otro transmitido. La medición de la intensidad de estos dos haces, conociendo el ángulo de incidencia de la luz y el índice de refracción de la parte sólida de la estructura, permitirá conocer el índice de refracción del fluido que viaja en el canal. Variantes más complejas de este principio, que involucran lentes, prismas, rendijas, rejillas de difracción e incluso interferómetros, se han construido dentro de sistemas microfluídicos. En la mayoría de estos sistemas el objetivo es conocer el índice de refracción del fluido. El índice de refracción (IR) es un parámetro fundamental de la materia, que tradicionalmente se ha utilizado para clasificar a los materiales. Pero el IR puede proporcionar información importante sobre una sustancia, por ejemplo, si esta está contaminada, incluso en un proceso más elaborado puede determinar el tipo y la concentración del contaminante. Es decir, la medición del IR puede

tener importantes aplicaciones en medicina, química, en el monitoreo ambiental y en cualquier industria que esté relacionada con estas. Una de las áreas de investigación más activas y prometedoras, tiene que ver con el desarrollo de plataformas de monitoreo continuo utilizando dispositivos reconfigurables, compactos, portátiles, fáciles de interrogar, y de bajo costo. Concientes de esto en el Grupo de Sensores Ópticos y Microdispositivos (GSOM), ahora estamos trabajando en la integración de los sensores de fibra óptica dentro de dispositivos microfluídicos (Figura 1). ■

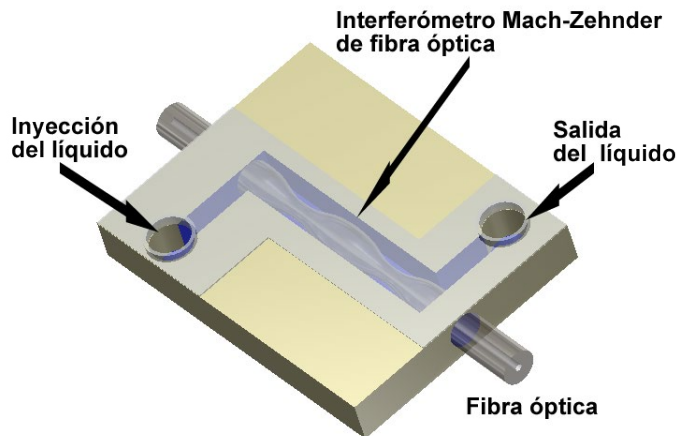


Figura 1. Una propuesta de dispositivo optofluídico para medir cambios en el índice de refracción de un líquido.

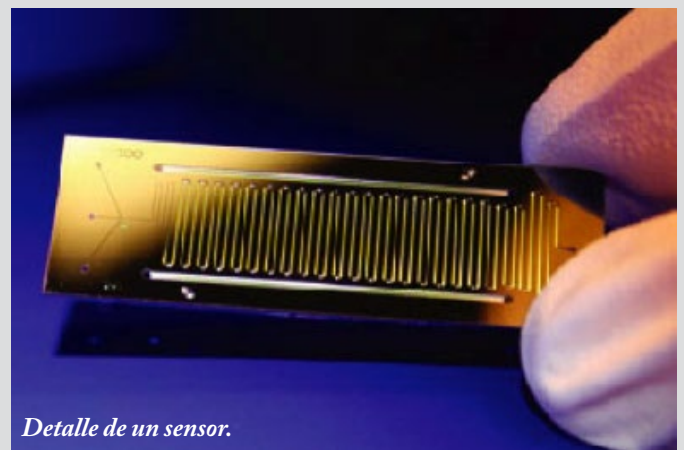
## Microfluidica

La *Microfluidica* es un campo multidisciplinario que inició en la década de los ochentas debido en gran medida a las necesidades industriales creadas por las impresoras de inyección de tinta. Es un campo en donde se intersecta la física, química, ingeniería, biotecnología y nanotecnología. La microfluidica típicamente involucra pequeños volúmenes (i.e. micro, nano, pico o femto litros), pequeñas dimensiones (e.g. canales de 100 nm y longitudes de algunos cientos de micrómetros) y sistemas de bajo consumo energético.

El traslape entre la microfluidica y la óptica dio lugar a la Optofluídica. Esta nueva área inició aproximadamente en el año 2000 combinando resultados de nanofotónica y microfluidica, se trata sin duda alguna de una nueva disciplina del siglo XXI.

Esta tecnología está revolucionando en biología

molecular los procedimientos en biotecnología para el análisis de enzimas, ADN y proteínas. La idea fundamental de los chips microfluidicos (micro-laboratorios activos) consiste en integrar en un solo elemento diferentes operaciones tales como análisis y detección.



Detalle de un sensor.



# PASADO • PRESENTE Y FUTURO DE LA *Maestría en Optomecatrónica*

TEXTO FRANCISCO CUEVAS  
.....

**E**n el año 2007, con el esfuerzo de los investigadores del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) se logró la apertura del programa de Maestría en Optomecatrónica del CIO, con el objetivo de formar recursos humanos de calidad en las áreas de óptica, mecánica y electrónica, convocando a estudiantes que proviniesen de licenciaturas en ingeniería y ciencias duras, interesados en abordar problemas tecnológicos utilizando un enfoque multidisciplinario. Después de varias sesiones de trabajo, en donde los comités de investigadores se reunieron para establecer el mapa curricular, así como los contenidos de cada curso de tronco común y optativo, fue posible someter este proyecto ante H. Órgano de Gobierno del CIO, la Dirección General de Profesiones de la Secretaría de Educación Pública y el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT, para finalmente obtener la aprobación de dichas entidades. El programa en Optomecatrónica quedó inscrito en los Programas de Posgrado con Orientación Profesional del CONACYT, que tienen la finalidad de estimular la vinculación con los sectores social, empresarial y gubernamental del País. Esta opción terminal complementaría el perfil científico de los postgrados

del CIO con un perfil tecnológico. Para formarse en este perfil, el estudiante debería cursar algunas materias y seminarios en ingeniería, y finalmente llevar a cabo una estancia en una empresa del sector industrial. Esta nueva tendencia educativa era una respuesta a la globalización de la economía, que demanda recursos humanos cada vez mejor preparados.

A la par, ese mismo año el CIO colaboró en la apertura del Centro de Innovación Tecnológica en Optomecatrónica (CITOM) con apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), a fin de apoyar a miembros del sector empresarial y académico durante el proceso de vinculación en aspectos como la gestión y otros semejantes. Actualmente el CITOM tiene más de 60 empresas asociadas, ha gestionado más de 80 proyectos tecnológicos por un monto total superior a los \$80 millones de pesos, con la participación de investigadores y estudiantes de diferentes Instituciones de Educación Superior (IES) y Centros de Investigación del estado de Guanajuato. También ha participado en la incubación de al menos 5 nuevas empresas de estudiantes, técnicos e investigadores de las instituciones mencionadas arriba. En particular, a través del CITOM se ha apoyado a los investigadores y estudiantes del CIO a

crear empresas de base tecnológica, o a aterrizar proyectos con el sector industrial, de manera que hoy en día se tienen al menos 10 proyectos gestionados entre el CIO y el CITOM. Así mismo se ha articulado un sistema de visitas de nuestros investigadores y estudiantes a empresas, con el fin de conocer sus procesos productivos, y poder eventualmente sugerir soluciones que pudieran ser desarrolladas en el CIO. Como parte de las tareas de vinculación del CITOM, también se invita a los empresarios a conocer las instalaciones y el quehacer del personal técnico del CIO, y como consecuencia de esto frecuentemente surgen nuevas iniciativas que involucran técnicas desconocidas hasta entonces por los empresarios en su ámbito de trabajo.

Al día de hoy, hay 29 estudiantes inscritos en la Maestría en Optomecatrónica, y 39 graduados de ella. Algunos de los estudiantes y graduados han colaborado, directa o indirectamente, con el sector productivo, en empresas como American Axle, Grupo Carso, Hospital La Luz, Curtidos y acabados Kodiak, MABE, ACELAB, Telmex, Vitro, Grupo Labro y THK Rhythm Mexicana, por mencionar algunas, o bien han iniciado sus propias empresas. Otros están apoyando la formación de recursos humanos de orientación tecnológica, y otros más continuando sus estudios de doctorado en diferentes instituciones. Parte fundamental del éxito alcanzado al día de hoy en este proyecto ha sido el apoyo de todas las Direcciones del



*Laboratorios de Optomecatrónica.*



*Esquema de Vinculación Academia-Industria de la Maestría en Optomecatrónica.*

Centro, y en particular de los Directores Generales recientes, que han invertido substancialmente en infraestructura y equipo de laboratorio. Prueba de ello es la ampliación de las instalaciones académicas del edificio “D”, próxima a inaugurarse, la inversión en equipo para los laboratorios de electrónica y mecánica, y la adquisición de material bibliográfico especializado.

Como parte del estudio de factibilidad, dentro del programa se requiere la participación de una empresa en los proyectos académicos-tecnológicos propuestos por el estudiante y el investigador. También se promueve la participación del estudiantes en los talleres de negocios organizados por el CIO con la colaboración de instituciones académicas de prestigio internacional, como la Universidad de Arizona y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, con el fin de complementar la formación académica que reciben en el Centro con cursos como Mercadotecnia, Contabilidad y Finanzas, Diseño de Producto, Publicidad, etc.

En los últimos meses, por iniciativa de las Direcciones del CIO y de la Universidad Tecnológica de León (UTL) se está promoviendo en esta última Institución la apertura de una especialidad en el campo de la Ingeniería Optomecatrónica. Para realizar esta tarea

se ha contado con apoyo de varios investigadores del CIO y profesores de la UTL, cuyo trabajo se traducirá en una mayor oferta académica para los estudiantes de la región. Este programa propiciará la participación de los jóvenes en proyectos tecnológicos orientados a resolver problemas de manufactura en las empresas desde que estos cursan su licenciatura. Posteriormente, se espera que los mejores de ellos participen en las convocatorias de ingreso del posgrado en Optomecatrónica del CIO, para adquirir una preparación más avanzada, que les permita incorporarse con mayor facilidad al sector productivo.

El crecimiento económico del estado de Guanajuato en los sectores automotriz, metal-mecánico, textil, salud, energía y otros, aunado al apoyo en ciencia y tecnología por parte del Gobierno Federal y Estatal, se traducirá en un aumento de la demanda de nuestros egresados que se hayan especializado en campos como nanotecnología, metrología, óptica biomédica, fibras ópticas, visión por computadora, por mencionar sólo algunos. Su calidad académica estará virtualmente garantizada, debido a la selección rigurosa que se emplea en el proceso de admisión, en que se busca a los mejores candidatos tomando en cuenta el nivel alcanzado en su preparación previa, la evaluación del examen de admisión y la entrevista con los comités de investigadores. Sin lugar a dudas la perspectiva a futuro de nuestro programa en Optomecatrónica es prometedora, pues se prevé una rápida inserción de nuestros egresados en el mercado laboral, por la demanda actual de personal calificado para desarrollar nuevos productos e innovar dentro de las empresas.

El reto a futuro es incrementar el nivel del posgrado en Optomecatrónica dentro del PNPC del CONACYT, que actualmente se encuentra en el nivel de “Programa en Desarrollo”, esperando que en breve pueda alcanzar el nivel de “Programa de Competencia Internacional”, lo cual es posible con el esfuerzo de los investigadores y estudiantes del CIO. ■

# LA COORDINACIÓN DE DIVULGACIÓN

*del Centro de Investigaciones en Óptica*

TEXTO CRISTINA SOLANO

**D**e acuerdo con lo señalado en el MANUAL DE ORGANIZACIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A. C., uno de sus objetivos es el de “Contribuir al desarrollo de una cultura científica y tecnológica en la sociedad mexicana, a través de la divulgación y difusión del conocimiento científico, especialmente entre los niños y jóvenes.”

Para cumplir con este cometido, a partir del mes de octubre del 2009 se formó en la institución la Coordinación de Divulgación, que realiza un conjunto de actividades que se describen enseguida, además de participar en eventos organizados por el municipio y otras instituciones. Describimos a continuación las principales actividades en las que está involucrada.

**Museo de Ciencias.** Consta de 130 m<sup>2</sup>, y está dividido en tres salas en las que se muestran de manera atractiva los principios básicos de la óptica (reflexión y refracción), y temas sobre el espectro electromagnético, el color, los láseres y las imágenes tridimensionales, incluyendo las generadas por hologramas. El museo tiene un promedio de 2,300 visitantes anuales, que incluyen grupos escolares de primaria a profesional. Para visitarlo se requiere hacer una cita, ya que todos los visitantes reciben una atención personalizada.

**Club de Niños en la Ciencia.** Imparte sesiones mensuales desde junio del 2004, dirigidas a niños y jóvenes de 5 a 14 años. En cada sesión se intenta cubrir diferentes temas de física y química de una manera sencilla, pero ilustrativa, que incluya una exposición de cada tema y actividades relacionadas con ellos, para que los asistentes tengan la oportunidad de experimentar. La respuesta de los asistentes a las actividades realizadas ha sido muy satisfactoria, no sólo de parte de los niños y los jóvenes, también de los padres de familia que nos acompañan en cada taller, quienes muestran un gran interés por nuestro trabajo. Estos talleres se imparten también en escuelas públicas y privadas del estado.

**Cursos de Verano.** Se ofrecen 3 cursos de 2 semanas durante el periodo vacacional de educación primaria. Están dirigidos a niños de 8 a 12 años, y su objetivo es lograr un acercamiento temprano de éstos al mundo de la ciencia, con un enfoque divertido, distinto al de sus escuelas, en temas como astronomía, óptica básica, ecología, química, principios físicos, etc. Además los cursos se complementan con actividades que refuerzan el compromiso de los asistentes, y prácticas relacionadas con éstos, como son la visita al Zoológico de León y el campamento nocturno en las instalaciones del CIO. Es fundamental de igual manera mencionar la importan-

cia de la salud física; es por ello que durante el día los asistentes al curso realizan actividades deportivas y de activación física, que van desde dinámicas simples hasta la práctica de deportes convencionales. Al finalizar el día los niños realizan dinámicas de integración y valores, pues consideramos valioso no sólo generar interés por la ciencia, sino también fomentar los valores ciudadanos.

Los cursos de verano en el CIO se ofrecen desde hace 4 años, en los cuales no sólo ha aumentado la calidad de las actividades sino el número de asistentes, atendiendo a niños recurrentes desde los inicios de este proyecto, lo cual obliga al equipo de trabajo a mejorar y actualizar las actividades que se realizan año tras año. ■



*Participantes del programa Club de Niños en la Ciencia.*

# DETERMINACIÓN MICRO-TOPOGRÁFICA

*mediante proyección de luz estructurada*

TEXTO RAMÓN RODRÍGUEZ VERA

La proyección de luz estructurada (PLE) es un método óptico rápido y flexible que permite medir la forma tridimensional de objetos. El método consiste en proyectar un patrón conocido sobre la superficie espécimen a medir, por ejemplo franjas claras y oscuras paralelas alternadas. El patrón proyectado se deforma de acuerdo a la topografía de la superficie del espécimen y se captura a través de una cámara digital. Posteriormente, esta imagen digitalizada se procesa para su interpretación y despliegue usando una computadora. El conjunto completo conforma lo que actualmente se conoce como sistema de visión por computadora. La medición se ha realizado a partir de la captura de la imagen en unos segundos. El resultado es una nube densa de puntos con alta precisión que describen la forma 3D de la superficie. La información po-

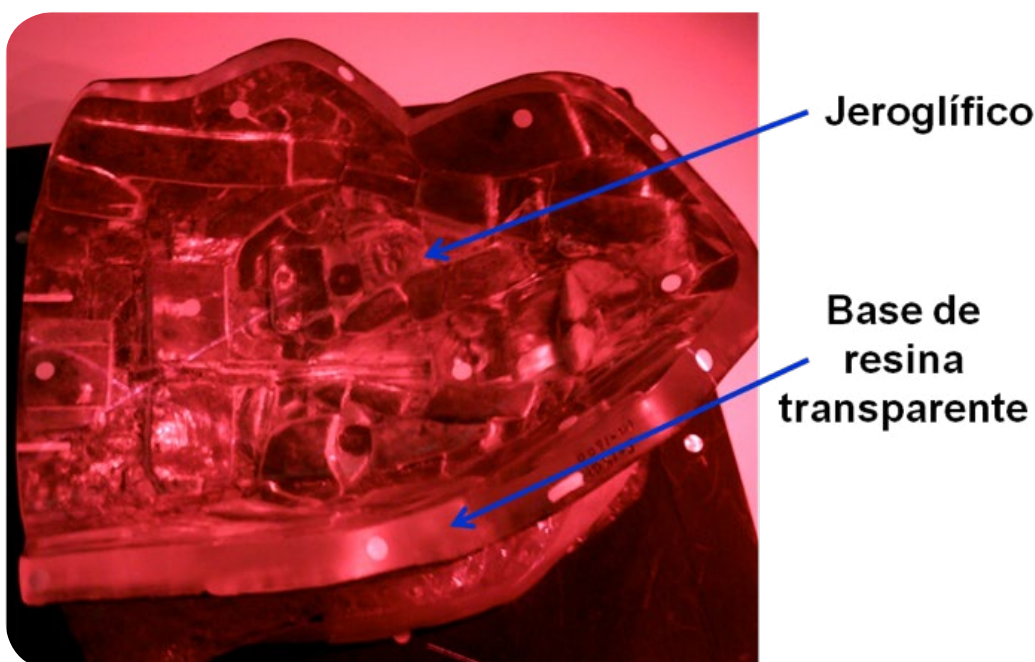


Fig. 1 La máscara de Pakal. Vista trasera que muestra la base de la resina transparente y un jeroglífico en uno de mosaicos.

dría usarse, por ejemplo, para generar modelos CAD de una pieza diseñada a mano o, podría usarse para la inspección de calidad de productos; así como, moldeo para aplicaciones de reingeniería (ingeniería inversa), antropometría para diagnóstico médico, entre otras bastas aplicaciones en ciencia e ingeniería.

Desde hace varios años (más de veinticinco), en el CIO se han venido desarrollando varios esquemas experimentales y software de procesamiento para la digitalización y reproducción de piezas. En un reciente contrato que se suscribió entre el CIO y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), a través del Museo Nacional de Antropología (MNA), se realizó una réplica del ajuar de un rey maya, K'inich Janaab' Pakal (o sólo Pakal). La cantidad de piezas del ajuar fue de 750.

La pieza más importante del ajuar de Pakal es su máscara. Cuando arqueólogos descubrieron la tumba de Pakal en 1952 en la ciudad maya de Palenque, estado de Chiapas, encontraron la máscara hecha pedazos. Cada uno de estos pedazos es una tesela hecha de jade verde de aproximadamente 1 mm de espesor. El total de teselas que constituyen la máscara real es 345. Los restauradores de la máscara del MNA invirtieron aproximadamente 8 años en llegar a la actual pieza que

se exhibe en una de las galerías del museo. La técnica de la restauración realmente fue artesanal, ¡como armar un rompecabezas! En un marco o base de resina transparente de aproximadamente 1 cm de espesor, los restauradores fueron colocando y pegando las teselas a presión sobre la resina todavía sin endurecer hasta tener la actual máscara en el MNA. Al digitalizar la parte posterior de la máscara se descubrieron unos jeroglíficos en bajo-relieve incrustados en algunas de las teselas, como puede verse en la Fig. 1. Durante esta tarea no se pudieron digitalizar los jeroglíficos, es decir su profundidad y dimensiones laterales. Esto se debió a dos problemas ópticos fundamentales: La resolución de los sistemas de PLE y la distorsión que induce la base de resina transparente.

Ésta es la razón por la que este proyecto se ha enfocado a estudiar teórica y experimentalmente la resolución de los sistemas de PLE, el efecto de la digitalización en medios transparentes y la digitalización 3D en completo color. Particularmente la resolución de la digitalización se ha llevado a cabo mediante un sistema PLE a nivel microscópico. Se ha modificado un microscopio estéreo de tal manera que uno de los oculares se usa como la óptica para proyectar franjas y el segundo para detectar y digitalizar la imagen.

En la figura 2 se muestra el patrón de franjas proyectadas sobre el espécimen y su respectiva información micro-topográfica. El espécimen es una sección microscópica de  $235 \times 235 \mu\text{m}^2$  de área, produciendo un altura topográfica global de  $56,5 \mu\text{m}$  de una moneda japonesa. ■

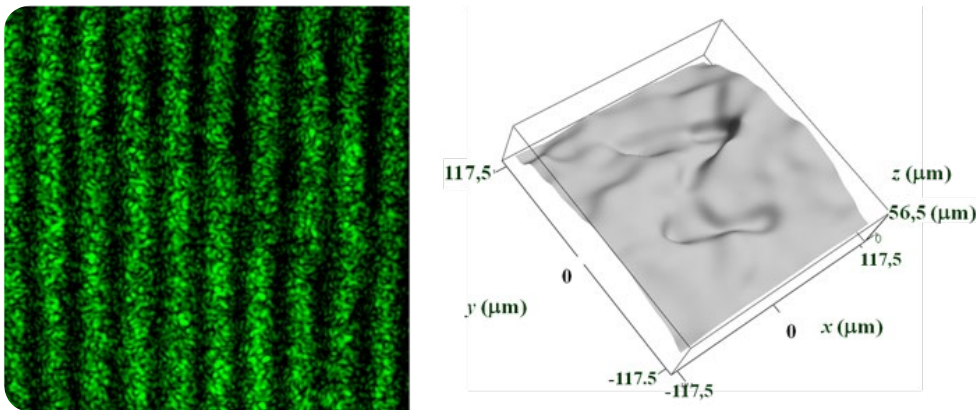


Fig. 2 Franjas proyectadas y micro-reconstrucción 3D de un bajo-relieve de una moneda japonesa.

### Respaldos digitales de monumentos históricos

El proyecto *CyArk* se fundó con el propósito de preservar digitalmente, y de poner a disposición de todos en el internet, reproducciones 3D fieles de monumentos históricos significativos de todas partes del mundo, monumentos que se podrían perder por conflictos bélicos o catástrofes naturales, o deteriorar por la contaminación ambiental o el calentamiento global.

*CyArk* surgió como una empresa no lucrativa de la Kacyra Family Foundation (KFF) en 2003, y tiene su base en Oakland California. Ben Kacyra, co-fundador de KFF, creó en 1993 con Barbara Kacyra la compañía *Cyra Technologies*, primera en introducir en el mercado un sistema integrado de escaneado láser 3D de alta resolución y de software de nubes de puntos para aplicaciones en ingeniería y arquitectura - entre otras. *Cyra Technologies* fue adquirida por *Leica Geosystems* en 2001.

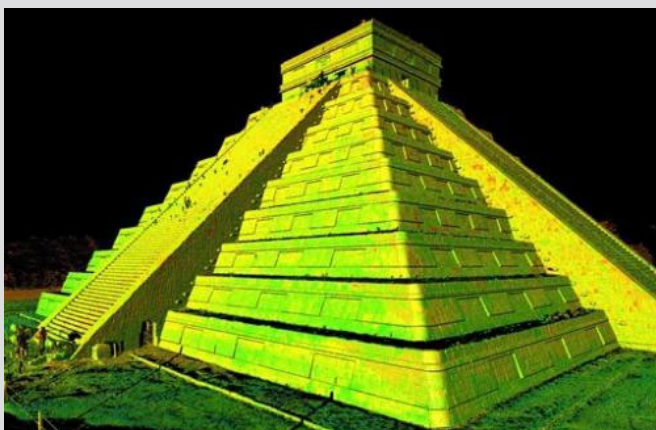


Imagen de la pirámide El Castillo, en Chichén Itzá, generada con datos obtenidos mediante un escaneo 3D con láser.

*CyArk* se ha propuesto escanear 500 monumentos históricos seleccionados por expertos, y en la actualidad cuenta ya con 100 digitalizaciones. Los archivos originales serán conservados en cintas magnéticas por la compañía *Iron Mountain Inc.* en una mina de piedra caliza de Pennsylvania. Para realizar este proyecto *CyArk* utiliza un conjunto de tecnologías que incluye el radar y el sistema manual de mapeo 3D con láser *Zebedee*, desarrollado por *CSIRO* (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) de Australia. Entre los socios prominentes de *CyArk* están el *INAH*, El Gobierno de Suiza, *Leica Geosystems* y *Google*.

Fuente: <http://archive.cyark.org/>



# LA DIRECCIÓN DE FORMACIÓN ACADÉMICA

TEXTO AMALIA MARTÍNEZ  
.....

La Dirección de Formación Académica (DFA) del Centro de Investigaciones en Óptica tiene como objetivo la formación de recursos humanos de alto nivel en óptica y optomecatrónica. Para conseguir este objetivo, actualmente cuenta con los siguientes departamentos:

- *Servicios Escolares*, encargado de coordinar los programas y actividades académicas, gestionar parte de los recursos financieros para el desarrollo de las mismas, y atender las necesidades académico-administrativas de alumnos y profesores-investigadores.

- *Vinculación Académica*, responsable de difundir los programas de posgrado para la captación de estudiantes y también de coordinar las actividades de colaboración académica con entidades externas.

- *Laboratorios de Posgrado*, proporciona a los estudiantes una formación experimental sólida, mediante prácticas en temas básicos de óptica y optomecatrónica.

- *Biblioteca*, satisface las necesidades de información científica y tecnológica en el campo de la óptica, aunque cuenta con un acervo digno de libros de matemáticas, física, ingeniería y computación, además de obras de divulgación científica y cultura general. Por el tamaño de su acervo y el número de suscripciones a revistas especializadas en óptica y áreas afines, la bi-

blioteca del CIO es tal vez la más importante en su género en Latinoamérica.

El Programa Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT es un referente consolidado en nuestro país para reconocer a los posgrados que cuentan con un cuerpo académico sólido, la infraestructura material necesaria, altas tasas de graduación y alta productividad científica o tecnológica, con el fin de asegurar resultados óptimos en su operación. Los tres programas de posgrado del CIO pertenecen al PNPC, los de Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en óptica en el nivel de “Programa de Competencia Internacional”, y el programa de Maestría en Optomecatrónica en el nivel de “Programa en Desarrollo”.

Con otros seis Centros CONACYT, el CIO participa además en el programa de Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICyT) en los niveles de Maestría y Doctorado, que tiene como objetivo la formación de recursos humanos de alto nivel científico y tecnológico, desde una perspectiva multidisciplinaria. El Centro mantiene además un programa de colaboración con la División de Ciencias e Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, Campus León, para la impartición de cursos en las Licenciaturas en Física e Ingeniería Física de esta Institución.

Finalmente, estudiantes de otras Instituciones de Educación Superior (IES) del país y del extranjero pueden participar en programas como “Verano de la Ciencia”, realizar prácticas profesionales, tesis, y estancias de investigación asesorados o en colaboración con investigadores del CIO, según sea el caso.

Algunas cifras relevantes de la DFA son:

- *Más de 360 estudiantes han obtenido el grado académico en el CIO.*
- *65% de nuestros egresados de Doctorado pertenecen al SNI.*
- *En promedio 120 estudiantes de diferentes IES realizan actualmente cada año algún proyecto académico en el CIO. Éste puede ser un trabajo de tesis, una estancia de investigación, o simplemente el participar en el programa “Verano de la Ciencia”.*
- *Nuestra plantilla de profesores-investigadores imparte anualmente más de 100 cursos.*
- *Una Biblioteca con 19,000 ejemplares de información especializada en óptica y áreas afines, que incluyen libros, memorias de congresos, tesis y reportes técnicos, así como más de 3,000 suscripciones electrónicas a revistas especializadas, por formar parte del Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (CONRICYT) y participar en el programa CIBERCIENCIA de CONACYT.*



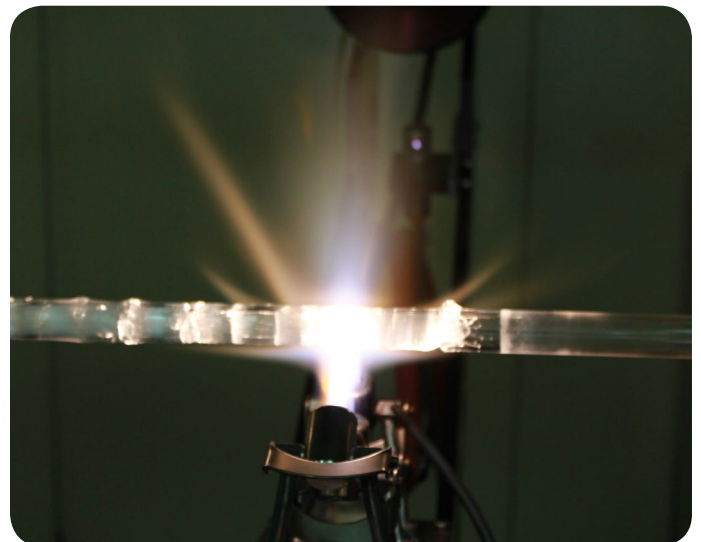
*Algunos miembros del equipo de trabajo de la Dirección de Formación Académica.*

# FABRICACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN EL CIO

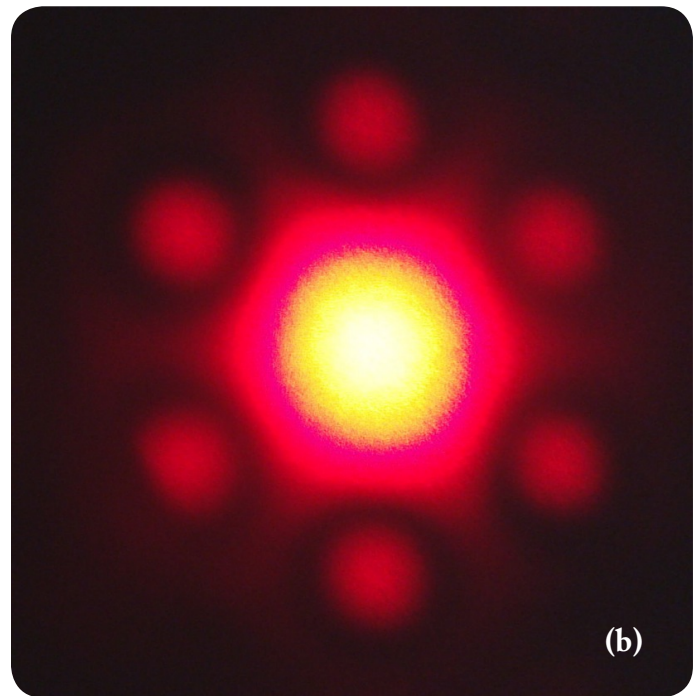
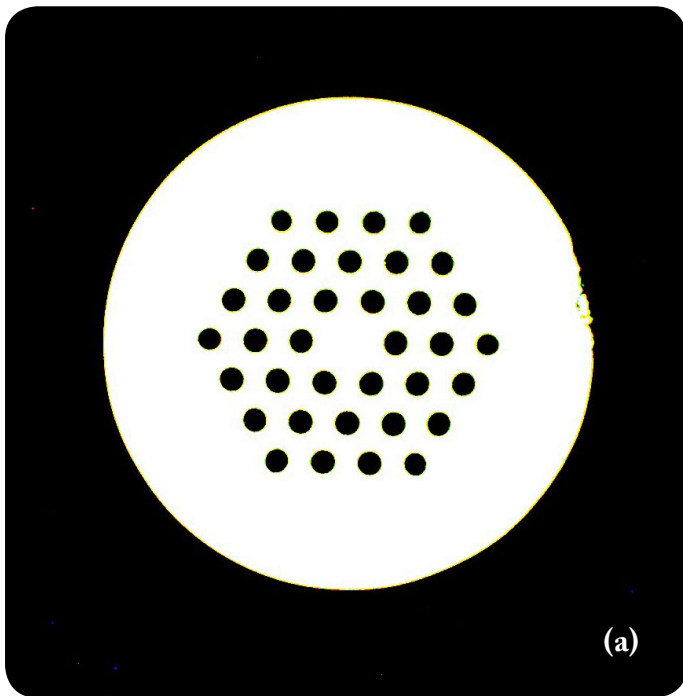
TEXTO VLADIMIR MINKOVICH  
.....

**E**n 1996 el CIO adquirió un equipo para la fabricación de fibras ópticas en Bellcore, (EUA). Dicho equipo había estado en operación y requería de una actualización. Originalmente incluía la torre de estiramiento de fibras óptica de Heathway, el equipo para la fabricación de preformas, el equipo para el análisis de las preformas, algunos instrumentos y equipos para la unión o empalme de fibras ópticas de vidrio y el equipo para cortar fibras ópticas. La actualización del equipo se realizó utilizando recursos de varios proyectos Conacyt lo cual permitió la consolidación del Grupo de Fibras Ópticas en el año 2000.

Un ejemplo de las primeras fibras ópticas de cristal fotónico (PCF) desarrolladas en el CIO se muestra en la figura de la pag. 20. Esta PCF con núcleo de gran área con bajas pérdidas de transmisión y flexión se desarrolló como una mejor alternativa que la fibra óptica convencional para aplicaciones en láseres de alta potencia, para la industria y para los sensores de fibra óptica. La región de la guía de onda de estas fibras está formada por un arreglo de canales de aire que viajan a lo largo de la fibra, alrededor de un núcleo sólido. Se ha encontrado una proporción óptima de los tamaños



*Estiramiento de una preforma de fibra óptica.*



*Imagen de la terminación de una fibra de cristal fotónico con núcleo de gran área fabricada en el CIO. (a) Fotografía de la sección transversal de la fibra, (b) distribución de intensidad a la salida de la fibra cuando ésta es iluminada con un láser de He-Ne (633 nm).*

de los orificios en el revestimiento de cristal fotónico, que proporciona a su vez un solo modo, baja sensibilidad al doblado o curvatura y pérdidas de transmisión bastante bajas. Esta fibra está actualmente patentada por el CIO. En base a la PCF fabricada se han desarrollado tapers de PCFs especiales que fueron usados en sensores de gran resolución para medir índices de refracción en líquidos, sensores de altas temperatura, sensores químicos y de gas, así como sensores de presión independientes de la temperatura. Solicitudes de patentes para México y Europa para este tipo de sensores ya están aprobadas. Adicionalmente al trabajo de desarrollo tecnológico con potencial industrial anteriormente descrito, se ha publicado un libro y numerosos artículos científicos especializados sobre fibras de cristal fotónico, así mismo se han presentado nuestros resultados en numerosos congresos científicos internacionales. Un importante resultado reciente fue el desarrollo experimental sobre la generación del supercontinuo con pulsos de nanosegundos de un lá-

ser de microchip a través de una fibra de cristal fotónico de bandgap fabricada en el CIO. Debido a los buenos resultados de investigación obtenidos por el GFO, miembros del mismo fuimos invitados a San Pedro, Brasil, al 1er. taller de especialidad en fibras ópticas y sus aplicaciones (WSOF-2008) para informar sobre los resultados obtenidos en el CIO en el campo de las fibras de cristal fotónico. A partir de los resultados de nuestros informes en esa reunión se tomó la decisión de realizar un segundo taller sobre fibras ópticas especiales y sus aplicaciones en Oaxaca, México. Con financiamiento del Conacyt actualmente realizamos investigaciones conjuntas con Condumex en el campo de la fabricación de fibras ópticas de plástico. ■



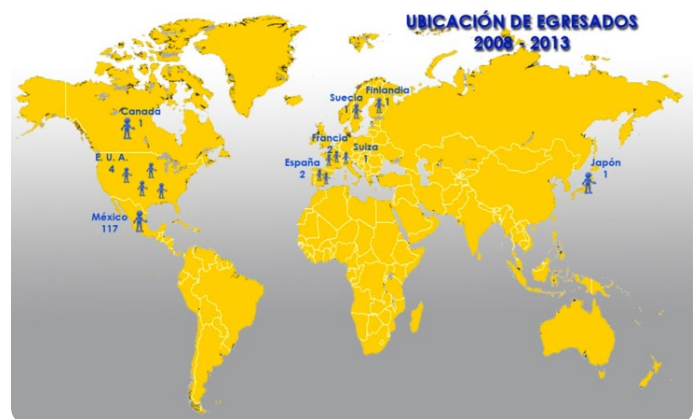
*Torre de estiramiento de preformas para la fabricación de fibras ópticas especiales en el CIO.*

# PROGRAMAS DE POSGRADO EN EL CIO

TEXTO AMALIA MARTÍNEZ



*Alumnos de nuevo ingreso (septiembre de 2013).*



*Ubicación de nuestros graduados de los tres programas de posgrado de 2008 a la fecha, según la institución de adscripción actual.*

**E**n la actualidad la óptica es una disciplina con aplicaciones tan importantes y variadas, que la formación de recursos humanos en este campo resulta indispensable. Conscientes de esta realidad desde su concepción, los creadores del CIO iniciaron en 1984 el programa de Maestría en Ciencias con especialidad en Óptica, y en 1987 el de Doctorado. Finalmente, en 2007 se inauguró en el Centro el programa de Maestría en Optomecatrónica, con un perfil más tecnológico, y diseñado específicamente para vincular a los egresados con el sector productivo.

La duración de los posgrados para ambas maestrías es de dos años, mientras que en el caso del doctorado, en febrero de 2010 se aprobó un incremento a su duración de 36 a 48 meses, con el fin de otorgar a los estudiantes el tiempo suficiente para el desarrollo de sus proyectos de investigación, la publicación de dos artículos en revistas arbitradas y la obtención de 550 puntos en el examen de inglés TOEFL. A la fecha el número de egresados de los tres programas es de más de 360 estudiantes.

En enero de 2013 se inició el proceso de refrendo de los programas de maestría y de doctorado en óptica dentro del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), como Programas de Competencia Internacional. El trámite concluyó exitosamente en mayo, manteniendo ambos posgrados este nivel dentro del PNPC por 5 años más, lo que permitirá que nuestros estudiantes continúen aspirando a becas del CONACYT para realizar cualquiera de los dos programas. La Maestría en Optomecatrónica, por otro lado, se encuentra actualmente en el nivel de Programa en Desarrollo, y su próxima evaluación en el PNPC tendrá lugar en 2014.

En los últimos cinco años se han graduado 124 estudiantes en los tres programas de posgrado del CIO. Prácticamente el total de los graduados de Doctorado se encuentra adscrito a alguna Institución de Educación Superior (IES) o Centro de Investigación, nacional o extranjero, realizando labores de docencia e

investigación, en instituciones como el Instituto de Astronomía de la UNAM, el IPN campus Guanajuato, el C.U. de los Lagos de la Universidad de Guadalajara, el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE) en Puebla, y el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) en Guanajuato, por mencionar algunas de ellas. Por otro lado, alrededor del 80% de nuestros graduados a nivel Maestría continuó con estudios de doctorado, mientras que el resto se encuentra laborando en el sector productivo, tanto público como privado. Cabe resaltar que el 10% del total de nuestros graduados se encuentra en el extranjero, la mayoría en estancias posdoctorales, y unos pocos realizando estudios de doctorado (ver mapa anexo). En nuestros posgrados hemos atendido a estudiantes originarios de prácticamente todos los estados de la República y de 6 países del continente, por orden alfabético: Bolivia, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Perú y Uruguay. ■



Tabla 1. Número de graduados por año de nuestros programas de posgrado en el período 2009-2013. DCO, Doctorado en Ciencias con especialidad en Óptica; MCO, Maestría en Ciencias con especialidad en Óptica; MOPTO, Maestría en Optomecatrónica.

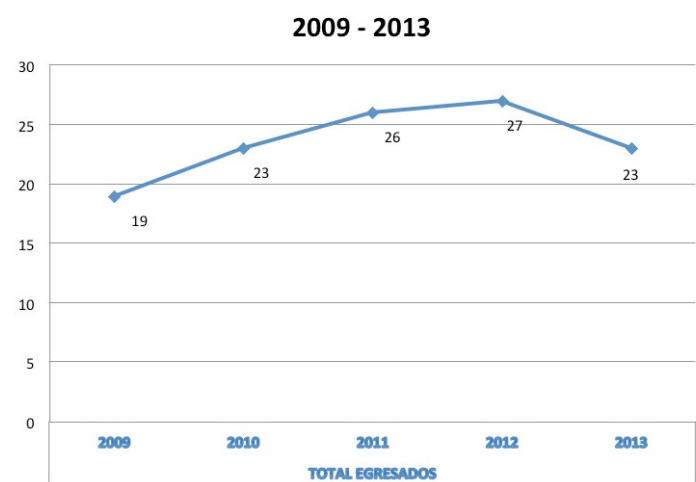


Tabla 2. Total de alumnos graduados de nuestros tres programas de posgrado de 2009 a la fecha.

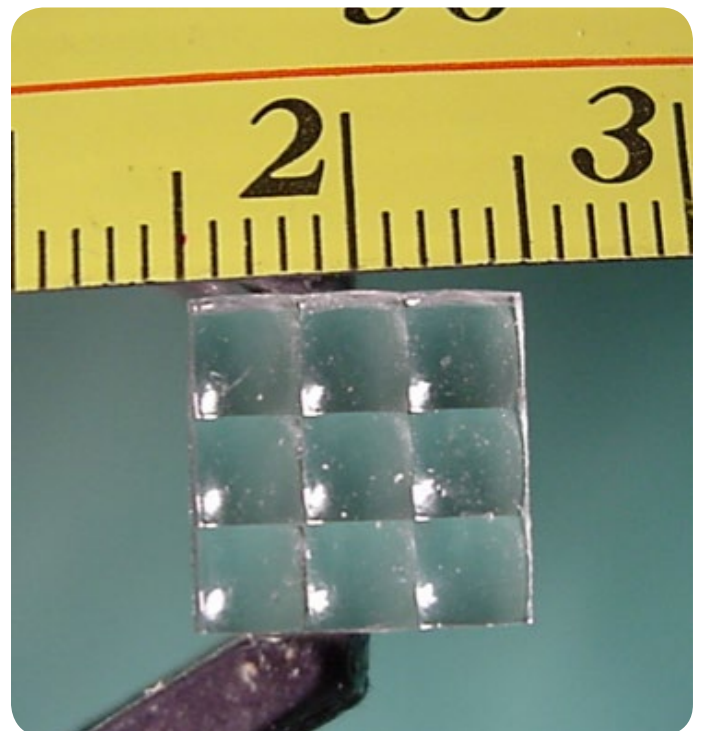
# MICROLENTEs

TEXTO SERGIO CALIXTO

A través de las últimas décadas se ha venido reduciendo el tamaño de las componentes de diferentes disciplinas. Este proceso de miniaturización es notable en el campo de la electrónica. Otras disciplinas como la mecánica y la acústica, por mencionar algunas, han sufrido también la miniaturización de sus componentes. En la óptica las componentes clásicas tales como lentes, prismas, espejos, polarizadores, rejillas y elementos refracto-reflecto-difractivos también se han miniaturizado. Este proceso brinda la oportunidad de introducir nuevas tecnologías y técnicas de fabricación además de utilizar nuevos materiales. De esta forma ha nacido el campo de la micro-óptica como un subcampo de la óptica. En este nuevo sub-campo los elementos ópticos tienen dimensiones de un milímetro o menos.

De entre los micro-elementos ópticos citados la micro-lente ha sido la más estudiada. Esto debido a sus múltiples aplicaciones. La micro-lente puede tener diferentes presentaciones o formas. La micro-lente tradicional, que trabaja en base a la refracción, muestra al menos una frontera entre dos medios que tienen un índice de refracción diferente cada uno de ellos. Normalmente esta frontera es parte de una esfera. Aunque también puede ser una frontera esférica. Otra clase de

lentes funciona en base al principio de difracción. En este caso se llaman lentes de Fresnel o difractivas. Un tercer caso de lentes está basado en la modulación de la luz en base a las diferencias o gradientes de índice de refracción. Aquí la luz es modulada en el interior del material y no en la superficie de relieve como en los dos casos anteriores.



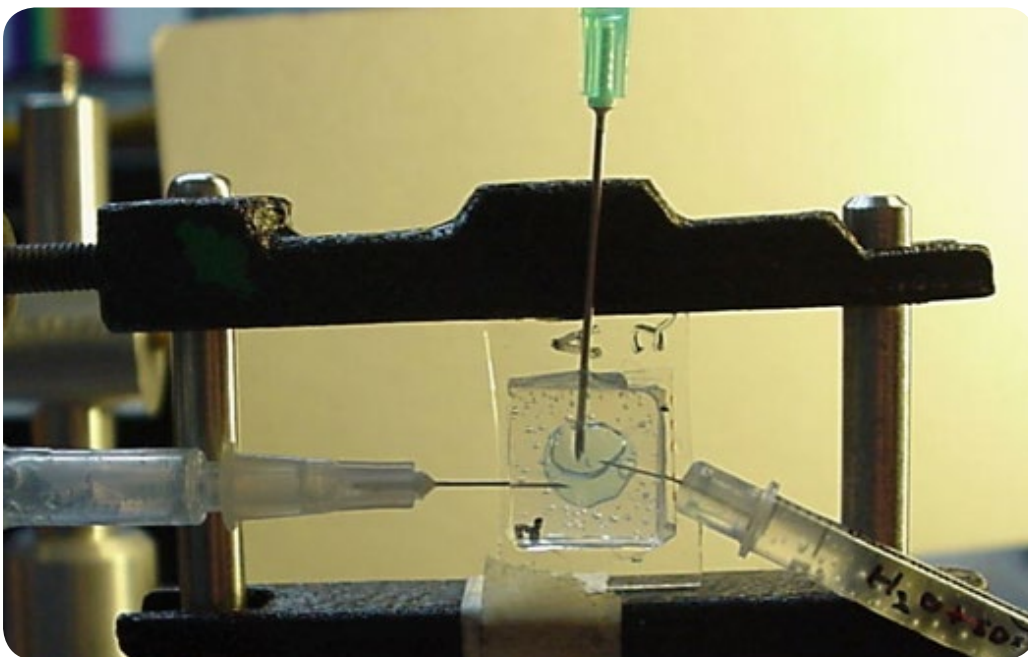
*Fig. 1. Arreglo de microlentes usado en las luces traseras de algunos automóviles. La mínima división en la escala es un milímetro.*



Las microlentes refractivas pueden ser diseñadas con programas comunes de diseño óptico. En caso de requerir un perfil específico se puede escoger algún método de fabricación especial. La fabricación de microlentes puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos. Se cuenta con instrumentos que fabrican la lente ya sea con un haz de luz enfocado por una lente, con haces de electrones, fotolitografía, difusión de iones en vidrios, por fundición (tensión superficial), métodos fototermicos, microjets y calentamiento por laser. Una vez fabricadas las microlentes estas se pueden copiar con métodos de inyección de polímeros, termoformado y “casting”. La aplicación en particular de la microlente debe determinar el mejor material y técnica de fabricación de acuerdo a la selección de vidrio o plástico, lentes esféricas – asféricas, etc. Una vez fabricada la microlente esta debe probarse bajo diferentes métodos como por ejemplo formación de imágenes, interferometricos o pruebas clásicas como Foucault o con el uso de rejillas de Ronchi.

Las aplicaciones donde se usa solamente una microlente son amplias. Sin embargo los arreglos matriciales de  $n \times n$  microlentes muestran mas aplicaciones. En la fabricación de estos arreglos se deben tener ciertos cuidados. Se debe poner especial atención en que el espaciado sea el mismo entre todas la lentes así como su diámetro y su distancia focal. Estas características nos imponen severas restricciones en los métodos de fabricación.

Con el objetivo de ampliar las posibles aplicaciones de las microlentes ahora se fabrican las microlentes huecas. Estas se encuentran en el interior de un bloque de algún material transparente. La lente hueca tiene dos conexiones mediante las cuales se introduce un liquido con un índice de refracción dado y por el otro se permite salir el aire. Estas lentes micro-fluidicas pertenecen al campo de los Optofluidos que promete tener aplicaciones brillantes en la biología, química, medicina y otras disciplinas. ■



*Fig. 2. Lente optofluidica fabricada con un material deformable. Mediante las agujas se puede inyectar en la cavidad algún liquido con un índice de refracción dado. Además la curvatura de las superficies se puede cambiar mediante la presión del liquido. Esta acción da como resultado el cambio de la distancia focal de la lente.*

# CONVENIOS INTERNACIONALES

*de Intercambio Académico*

TEXTO AMALIA MARTÍNEZ

Con la finalidad de fortalecer los programas de posgrado del CIO, actualmente se encuentran vigentes alrededor de 50 convenios de colaboración académica con Instituciones de Educación Superior (IES) nacionales y extranjeras, redes educativas o entidades de financiamiento. Algunas de las IES extranjeras con colaboración vigente son la Universidad de Arizona en E.U.A, la Pontificia Universidad Católica de Perú, el Laser-Laboratorium Göttingen en Alemania y la Universidad Estatal de Nishni en Rusia. Adicionalmente se están elaborando convenios con la Universidad de Utsunomiya en Japón, y con las Universidades de San Carlos y del Valle en Guatemala. Finalmente, existen IES extranjeras con las que aún no suscribimos convenios de intercambio académico, pero que han recibido a nuestros estudiantes de posgrado.

Por País:

- Universidad de Rochester, Universidad de Texas en Austin, Dallas y San Antonio, y Universidad Central de Florida, en E.U.A.
- Universidad de Valencia, Universidad de Murcia e Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), en España.
- Universidad de Cranfield y Universidad Heriot-Watt, en el Reino Unido.

- Universidad de Ciencia y Tecnología de Lille, Universidad de Saint Etienne (en 2014), en Francia.
- Universidad Radboud en Nijmegen, en Holanda.
- Universidad de Utsunomiya, en Japón.

De 2008 a la fecha, 25 estudiantes doctorales han realizado, o se encuentran realizando, alguna estancia pre-doctoral de investigación en el extranjero a través del programa de Becas Mixtas del CONACYT, lo que significa un promedio de 4 estancias en el extranjero por año. Para asegurar el éxito de su estancia, en el caso de estudiantes de doctorado los candidatos deberán acreditar 500 puntos en el examen TOEFL, y la publicación, o aceptación, de su primer artículo. En el caso de estudiantes de maestría se pide la acreditación de todas las materias del programa (tronco común y materias optativas), así como de 440 puntos en el examen TOEFL. En el 2013 se realizaron estancias pre-doctorales en la Universidad Utsunomiya, Japón, en la Universidad de Rochester, E.U.A., en la Universidad Central de Florida, E.U.A. y en la Universidad Radboud en Nijmegen, Holanda.

Para reforzar los convenios académicos vigentes es importante que los investigadores promuevan estancias de investigación de sus estudiantes en aquellas

instituciones donde haya un grupo de investigación trabajando en problemas semejantes a los suyos, y en el caso de que no exista un convenio de colaboración con la institución a la cual pertenece este grupo, formalizar la relación elaborando uno. ■



*Profesor Toyobiko Yatagai, de la Universidad de Utsunomiya, Japón, acompañado por la Dra. Amalia Martínez, Directora de Formación Académica, durante su visita al CIO del 5 y 6 de noviembre del presente año, en calidad de Vicepresidente de la SPIE en 2013.*



*La Biblioteca del CIO tiene actualmente 19,000 ejemplares de información especializada en óptica y áreas afines, que incluyen libros, memorias de congresos, tesis y reportes técnicos, así como más de 3,000 suscripciones electrónicas a revistas especializadas.*

# PUBLICACIONES CIENTÍFICAS *Recientes*

## DIVISIÓN FOTÓNICA

*“Compact sensors based on cascaded single-mode-multi-mode-single-mode fiber structures”* D. Monzón, A. Martínez-Ríos, G. Salceda-Delgado, J. Villatoro, Applied Physics Express, vol. 6, pp. 32502-1 al 32502-3.

*“Macroscopic optical response and photonic bands”* J.S. Pérez-Huerta, Guillermo P. Ortiz, Bernardo S. Mendoza, W. Luis Mochan, , New Journal of Physics vol. 15, artículo 043037.

*“High Temperature Optical Fiber Sensor Based on Compact Fattened Long-Period Fiber Gratings”* R.I. Mata-Chávez, A. Martínez-Ríos, J.M. Estudillo-Ayala, E. Vargas-Rodríguez, R. Rojas-Laguna, J.C. Hernández-García, A. D. Guzmán-Chávez, D. Claudio González, E. Huerta-Mascotte, Sensors, vol. 13, no. 3, pp. 3028 - 3038.

*“Spectral properties and synchronization scenarios of two mutually delay-coupled semiconductor lasers”* D.A. Arroyo-Almanza, A.N. Pisarchik, I. Fischer, C.R. Mirasso, M.C. Soriano, Optics Communications, vol. 301-302, pp. 67 - 73.

*“A dual-wavelength tunable laser with superimposed fiber Bragg gratings”* R. I. Álvarez-Tamayo, M. Durán-Sánchez, O. Pottiez, B. Ibarra-Escamilla, J. L. Cruz, M.V. Andrés, E. A. Kuzin, Laser Physics, vol. 23, pp 055104-1 al 055104-4.

## DIVISIÓN ÓPTICA

*“Digital holographic microscopy through a Mirau interferometric objective”* M. León-Rodríguez, R. Rodríguez-Vera, J. A. Rayas, S. Calixto, Optics and Lasers in Engineering, vol. 51, pp. 240 - 245.

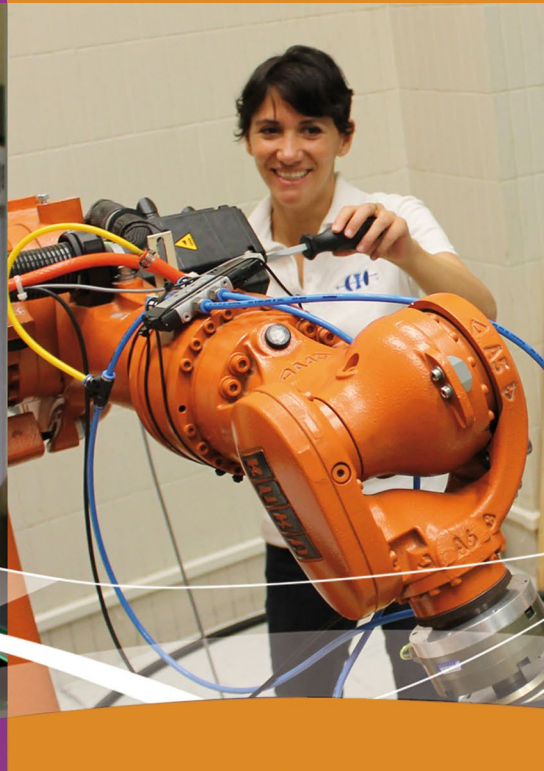
*“Generalization of the principal component analysis algorithm for interferometry”* J. Vargas, C. O.S. Sorzano J.C. Estrada, J.M. Carazo, Optics Communications, vol. 286, pp. 130 – 134.

*“Robust optical fiber bending sensor to measure frequency of vibration”* A.I. Hernández-Serrano, G. Salceda-Delgado, D. Moreno-Hernández, A. Martínez-Ríos, D. Monzón-Hernández, Optics and Lasers in Engineering, vol. 51, pp. 1102 - 1105.

*“Compensation of the two-stage phase-shifting algorithms in the presence of detuning and harmonics”* A. Tellez-Quñones, D. Malacara-Doblado, J. García-Marquez, Journal of the Optical Society of America A, vol. 30, no. 8, pp. 1670 - 1679.

*“Interferometric study on bird’s feathers”* M.H. De la Torre-Ibarra, F. Mendoza Santoyo, Journal of Biomedical Optical, vol 18, no. 5, pp 056011-1 al 056011-8.

En el CIO contamos con Doctorado en Ciencias (óptica), Maestría en Ciencias (óptica), pertenecientes al Programa Nacional de Posgrados de Calidad en la clasificación de Posgrado de Competencia Internacional. Además de una Maestría en Optomecatrónica .



**EL ACOSO SEXUAL** puede hacer que la víctima se sienta insegura y en peligro dentro de su trabajo, puede llevar a la depresión y no querer volver a trabajar.

Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.  
**¡ NO TE CALLES !**

Realiza la denuncia acudiendo al OIC, o bien consulta en el INMUJERES sin costo: 01 800 0 911 466 o al correo [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)



**La equidad de géneros es vital para mejorar las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales de la sociedad en su conjunto.**

Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.  
**¡ NO TE CALLES !**

Realiza la denuncia acudiendo al OIC, o bien consulta en el INMUJERES sin costo: 01 800 0 911 466 o al correo [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)

