

# NOTICIO

nueva edición año 1 No. 2 2013



Medición de  
**HUNDIMIENTOS**  
en *Iztapalapa*

**33** AÑOS  
DE HISTORIA  
rumbo a la  
**EXCELENCIA**

Educación dual:  
La transición entre la  
**ACADEMIA** y la  
**EMPRESA**



ABRIL 2013

## DIRECTORIO

### DIRECTOR GENERAL

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

### DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Dr. Gabriel Ramos Ortiz  
dirinv@cio.mx

### DIRECTORA 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

*Colaboradores:* Bernardino Barrientos, Rodrigo Lanuza, Eleonor León, Daniel Malacara, Amalia Martínez, David Monzón, Carlos Pérez, Juan Luis Pichardo.

### NOTICIO

DOMICILIO: Loma del Bosque 115

COLONIA: Lomas del Campestre

C.P. 37150 León Gto. México

TEL. (52) 477-441-42-00

## Editorial

PENDIENTE....

PENDIENTE....

# Contenido

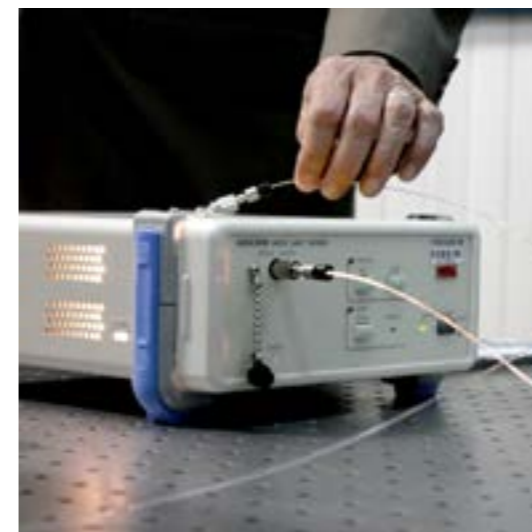
ABRIL 2013



**10** Tecnologías Ópticas. Medición de topografía y campos de Deformación Mecánica



**14** Pasado, Presente y Futuro del Laboratorio de pruebas ópticas No-destructivas



**17** El CIO propone nuevas Tecnologías para la arquitectura

## EDITORIAL

**02** PENDIENTE  
CIO

**08** Educación Dual: la transición entre la Académia y la Empresa

## HACEMOS CIENCIA PARA TI

**06** Medición de Hundimientos de terreno en Iztapalapa

**10** Tecnologías Ópticas. Medición de topografía y campos de Deformación Mecánica

**18** Biofotónica y Nanofotónica

**25** La óptica adaptativa aplicada al examen de la retina del ojo humano

**27** Publicaciones Científicas Recientes

## INVESTIGADORES CIO

**10** Grupo de Fibras Ópticas

**18** A 33 años de la fundación del CIO

## NUESTROS LABORATORIOS

**14** Pasado, Presente y Futuro del Laboratorio de pruebas ópticas No-destructivas

## INTELIGENCIA PARA EL DESARROLLO CIENTÍFICO

**20** Científicamente Comprobado

## TECNOLOGÍA Y CIENCIA PARA LA SOCIEDAD

**17** El CIO propone nuevas Tecnologías para la arquitectura

## EQUIDAD DE GÉNERO

Contraportada

## PORTADA

Patos volando en formación V. Haciendo referencia a los beneficios del trabajo en equipo, compartir una dirección en común y el poder de llegar a donde se desea juntos. Volando en bandada se aumenta 71% más el poder de vuelo, que si cada pato lo hiciera solo.

Diseño de portada por Carolina Arriola.



## 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 bimestral 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

# Medición de HUNDIMIENTOS de terreno en Iztapalapa

TEXTO BERNARDINO BARRIENTOS

*La Delegación Iztapalapa en el Distrito Federal es una de las zonas de la ciudad de México que presenta los mayores niveles de hundimiento del suelo. Estos pueden ser de hasta seis centímetros al año. Si estos desplazamientos ocurren lentamente en el transcurso de 2 o 3 meses, no resultan ser tan peligrosos, aunque pueden llegar a ocasionar daños irreparables a viviendas. Sin embargo, cuando estos desplazamientos se producen en unos cuantos segundos, éstos pueden poner en riesgo la vida de los habitantes, esto ocurre en el caso de la formación de socavones.*

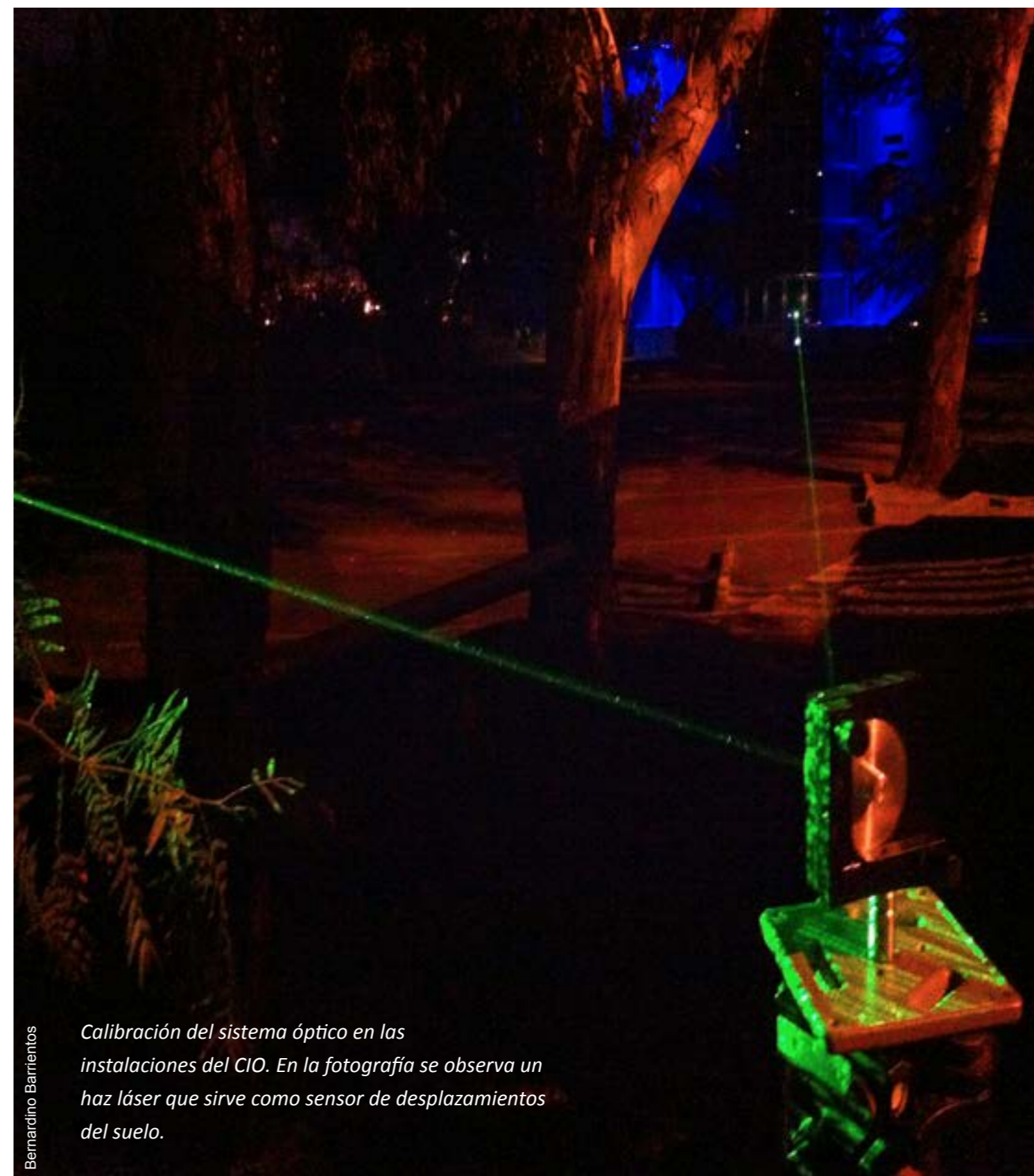
En 2012, el CIO, en colaboración con el Centro de Geociencias de la UNAM (CGEO) y personal de la Coordinación de Protección Civil de la Delegación Iztapalapa, desarrolló un proyecto con el objetivo de construir 8 equipos de medición mecánicos y 1 equipo opto-mecánico tales que permitieran el monitoreo de las condiciones de movimiento del suelo en puntos estratégicos de esta Delegación. Ambos tipos de equipos proporcionan mediciones en un sólo punto. Los equipos mecánicos se basan en el uso de micrómetros y monturas mecánicas y alcanzan precisiones del orden de micrómetros; los desplazamientos detectados son de tipo relativos, ya que tanto el punto de referencia como el de medición se encuentran dentro de la falla geológica que se desea monitorear. Para disponer de mediciones absolutas, se desarrolló un equipo optomecánico que permitiera ubicar un punto de referencia fuera de la falla geológica, es decir a unos 50 o 60 m del punto de medición. Esto se logró mediante el uso de láseres. El sistema así

diseñado consta de láseres de Nd:YAG de 10 mW, una cámara de alta definición, la cual permite la transmisión de datos por internet, un divisor de haz 50/50 y un espejo plano. Debido a los límites que impone la turbulencia natural del aire a la propagación de los haces de luz, la exactitud de este sistema es, a pesar de esto, de una fracción de mm.

.....

*Las características esenciales de los sistemas desarrollados son: robustez, bajo costo e incorporación de componentes sencillos; esto último facilita su mantenimiento y operación.*

Actualmente, sólo el sistema opto-mecánico tiene la capacidad de capturar la información automáticamente en forma remota. En una segunda fase del proyecto, esta capacidad de captura remota se



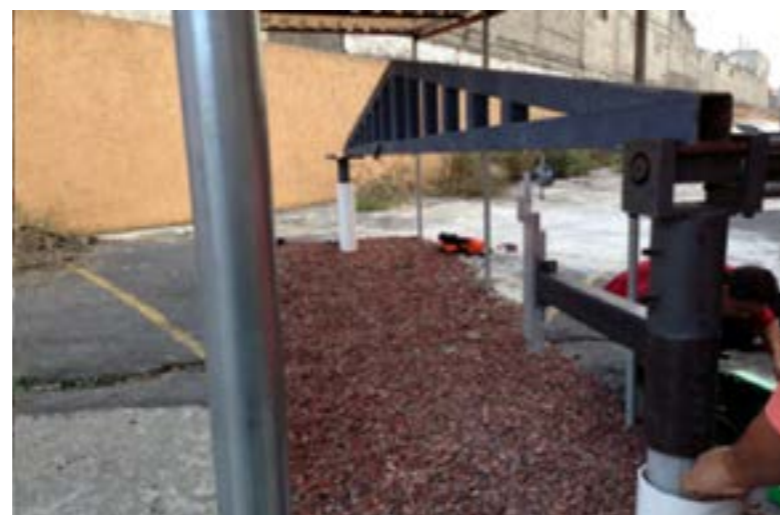
Bernardino Barrientos

*Calibración del sistema óptico en las instalaciones del CIO. En la fotografía se observa un haz láser que sirve como sensor de desplazamientos del suelo.*

incorporará a los sistemas mecánicos. En dicha fase también se desarrollará una segunda versión que permita la medición del estado completo de deformación de un punto del terreno: tanto los desplazamientos a lo largo de los tres ejes cartesianos como los ángulos de rotación asociados.

Se espera que el establecimiento de una red de estaciones de monitoreo que incluyan los sistemas propuestos permita contar con datos sobre el comportamiento del suelo de manera continua, a lo largo del tiempo, fundamentales para el diseño y establecimiento de medidas preventivas y de mitigación en el marco de la Gestión Integral de Riesgos que se de-

sarrolla en la Delegación Iztapalapa. Los datos permitirán la generación de modelos de fracturamiento del suelo, lo cual pudieran ayudar a establecer la relación existente entre los movimientos del suelo y factores tan diversos como volumen de precipitaciones, nivel de temperaturas extremas y volumen de bombeo de agua del subsuelo. Además, con base en la información obtenida, personal de dicha Coordinación puede tomar las medidas pertinentes de prevención, por ejemplo avisos a la ciudadanía de fracturamientos inminentes del suelo (grietas y socavones) en ciertas zonas de la Delegación.



Preparación del terreno para la instalación de un sistema mecánico, Col. Las Jacarandas, Iztapalapa.

Instalación de un sistema mecánico en la Col. San Lorenzo, Iztapalapa. Entre los dos postes, se observa una fractura del terreno que corre transversalmente.

## Educación Dual: La Transición entre la Academia y la Empresa

TEXTO RODRIGO LANUZA

Para lograr un compromiso de cooperación con México por parte de las empresas de base tecnológica de cualquier parte del mundo, se requiere que México cuente con un marco jurídico-institucional

confiable, y de un buen funcionamiento de las estructuras educativas. Estos dos son considerados factores clave de competitividad. Lograr un desempeño exitoso de las empresas medianas de base tecnológica incide cada vez más en la creación de un ambiente propicio para el desarrollo de una economía moderna, y tiene un efecto multiplicador importante para la cooperación entre México y cualquier potencia del primer mundo, particularmente de Europa. La dinámica de la globalización nos indica que el mundo se

organizará en hemisferios que paulatinamente se caracterizarán por sus coincidencias étnicas, culturales y de valores. Sin perder esta perspectiva global para México, esto representa una oportunidad de convertirse, por la extensión de su territorio y su ubicación estratégica, en el referente del norte de Latinoamérica respecto a la adopción de ciertos valores y prácticas sociales, culturales e institucionales que contribuyan a la marca país. En ese contexto, es por medio de la educación que lograremos construir ese nombre, ese brandig de marca regional.

En el terreno económico, la enseñanza en las escuelas y las empresas de los principios de sustentabilidad y responsabilidad social de mercado son pilares para crear una economía moderna y humana, necesaria para equilibrar el desarrollo industrial con el humano, y así lograr un crecimiento tecnológico y científico armónico con las necesidades sociales y las del planeta. No solamente debemos invertir nuestros esfuerzos y recursos en formar técnicos con un nuevo perfil, sino que resulta indispensable que la formación de estos se realice de manera integrada, bajo el modelo dual de educación, que nos permite la incursión del estudiante en el mundo industrial. La formación bajo estos valores de técnicos profesionales mexicanos, con una sensibilidad práctica de

las necesidades existentes en la industria, contribuirá enormemente al desarrollo tecnológico, a la generación de nuevo conocimiento, a la apropiación de patentes en áreas industriales de vanguardia, como las de cambio climático, energías renovables, telecomunicaciones, software, salud, transporte vehicular, aeroespacial o marítimo, por mencionar sólo algunos ejemplos.

Este Sistema Dual de Educación ha sido probado exitosamente en Alemania. Es ahí donde surgió a finales del siglo 19, y de su primera generación de estudiantes emergieron empresarios destacados como Gottlieb Daimler y Robert Bosch, que fundaron compañías que hoy en día continúan utilizándolo. El programa toma un impulso importante en la economía de este país en los años 60's y principios de los 70's.

Para la región de Baden-Württemberg, su implementación ha sido su política innovadora más exitosa, ya que llevó a esta región a ser catalogada como la más innovadora y con mayor índice de patentes per cápita de Europa. La educación dual permite a las empresas aminorar el problema de escasez de mano de obra capacitada, y les inyecta recursos humanos innovadores, con un enfoque práctico. Asimismo, influye positivamente en la tasa de desempleo, reduciendo la brecha entre el mundo académico y el empresarial.

Lic. Rodrigo Lanuza Acosta  
Director General  
Steinbeis México, S. C.  
[rla@stwm.com.mx](mailto:rla@stwm.com.mx),  
[info@stwm.com.mx](mailto:info@stwm.com.mx)



### Láseres no letales para defensa

V. Aboites

Diversas instituciones civiles y militares del mundo están desarrollando "armas no letales" basadas en rayos láser. El propósito de estos dispositivos es momentáneamente cegar ("encandilar") a personal sospechoso con objeto de inhabilitarlo para realizar ataques. Son láseres de clase 3B con potencias de 100 a 300 mW montados en rifles. Las imágenes mostradas muestran su uso terrestre, pensado en ataques terroristas, así como su uso naval, diseñado para detener a piratas.



Laser Focus World (2013)



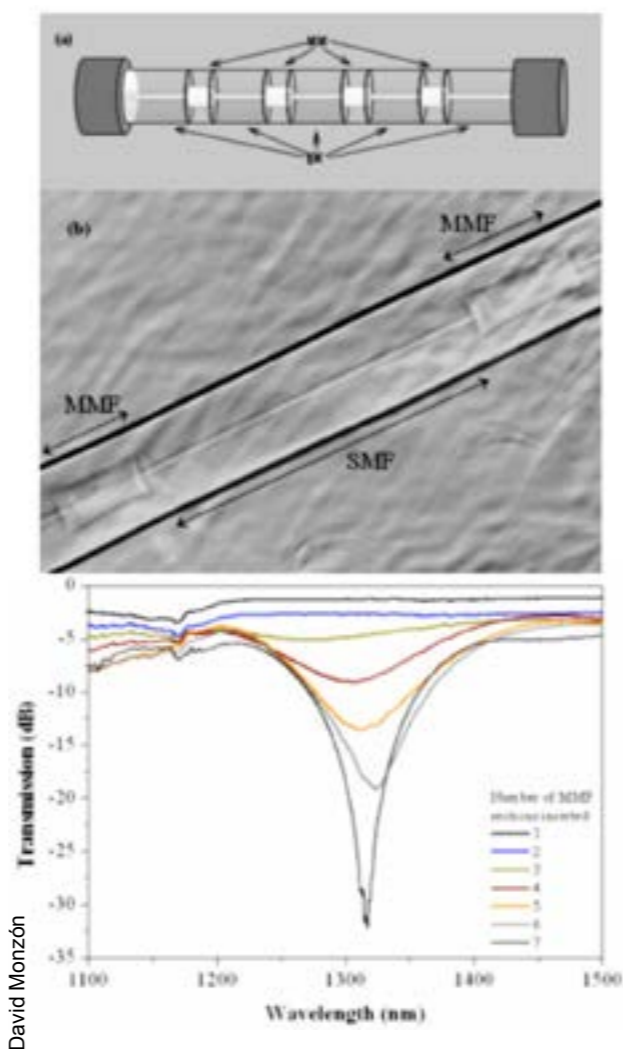
Meyers Electro-Optics (2013)

# Fibras Ópticas

TEXTO DAVID MONZÓN

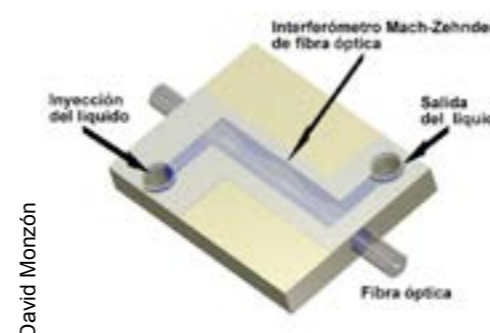
La fibra óptica es uno de los ejemplos más claros de tecnologías exitosas desarrolladas para el aprovechamiento de la luz, en su momento revolucionó las telecomunicaciones y con esto definió, en buena medida, muchos aspectos de la vida moderna. En la actualidad, dentro de una fibra óptica se pueden llevar a cabo prácticamente todas las funciones requeridas en un sistema de comunicación, desde la generación de la señal en un extremo, hasta la detección de esta en el otro extremo, por más alejado que este se encuentre. Toda esta tecnología ha servido para impulsar otra de las aplicaciones importantes, y menos conocida de las fibras ópticas, la medición y monitoreo de parámetros físicos, químicos o biológicos. En la Figura 1 se muestra un diagrama y la fotografía de un filtro rechazo de banda de fibra óptica, la longitud de onda central del filtro se desplaza a longitudes de onda mayor conforme la temperatura del medio adyacente a la fibra aumenta. Este dispositivo se fabricó en el CIO uniendo varias secciones de fibra óptica monomodo y multimodo, para esto solamente se utilizó una cortadora y una empalmadora de fibra óptica. Es importante resaltar que la longitud del dispositivo es de apenas unos cuantos milímetros ya que las longitudes de las secciones monomodo y multimodo son de apenas 150 y 450  $\mu\text{m}$ , respectivamente. En un sensor de fibra óptica la medición de los cambios en la luz transmitida se usan para detectar o incluso cuantificar la magnitud de una perturbación en el medio ambiente adyacente a la fibra óptica. Por ejemplo, en el dispositivo mostrado en la Figura 1, los cambios en la longitud de onda central del filtro están relacionados con el cambio en la temperatura ambiente. Los sensores de fibra óptica son

altamente sensibles, y debido a su naturaleza dieléctrica y tamaño diminuto (unos cuantos centímetros de largo por 125 micrómetros de diámetro), son capaces de realizar mediciones remotas en lugares potencialmente peligrosos para el ser humano, por ser tóxicos o explosivos, o en espacios reducidos y de difícil acceso en donde ninguna otra tecnología puede aplicarse.



David Monzón  
Filtro de fibra óptica. El dispositivo se forma por la unión de varios segmentos de fibra óptica multimodo y monomodo. El dispositivo fue propuesto por investigadores del GSOM.

Durante los últimos diez años hemos desarrollado investigación básica en el campo de los sensores de fibra óptica. Uno de nuestros principales objetivos ha sido el proponer esquemas novedosos que puedan servir como refractómetros, ya que es bien conocido que estos dispositivos son esenciales en la industria alimentaria, en el análisis clínico y químico. A partir de estos esquemas se pueden construir sensores de fibra óptica específicos, si la parte perturbable de la fibra óptica se recubre con un material sensible a un determinado agente. En nuestro caso, hemos trabajado ampliamente en el desarrollo de esquemas de fibra óptica para detectar la presencia de hidrógeno. Para esto recubrimos una sección de la fibra óptica con una película delgada de paladio y oro. Una de las áreas de investigación más activas y prometedoras, tiene que ver con el desarrollo de plataformas de monitoreo continuo del estado que guardan las variables vitales de un sistema biológico, utilizando dispositivos reconfigurables, compactos, portátiles, fáciles de interrogar, y de bajo costo. Concientes de esto, ahora estamos trabajando en la integración de los sensores de fibra óptica dentro de dispositivos microfluídicos (Figura 2). Para abordar este complejo pero importante reto, en el grupo de sensores ópticos y microdispositivos (GSOM) nos hemos propuesto desarrollar dispositivos ópticos de dimensiones micrométricas reconfigurables que nos permitan medir variables químicas, biológicas o físicas en fluidos para el análisis de muestras biológicas y químicas.



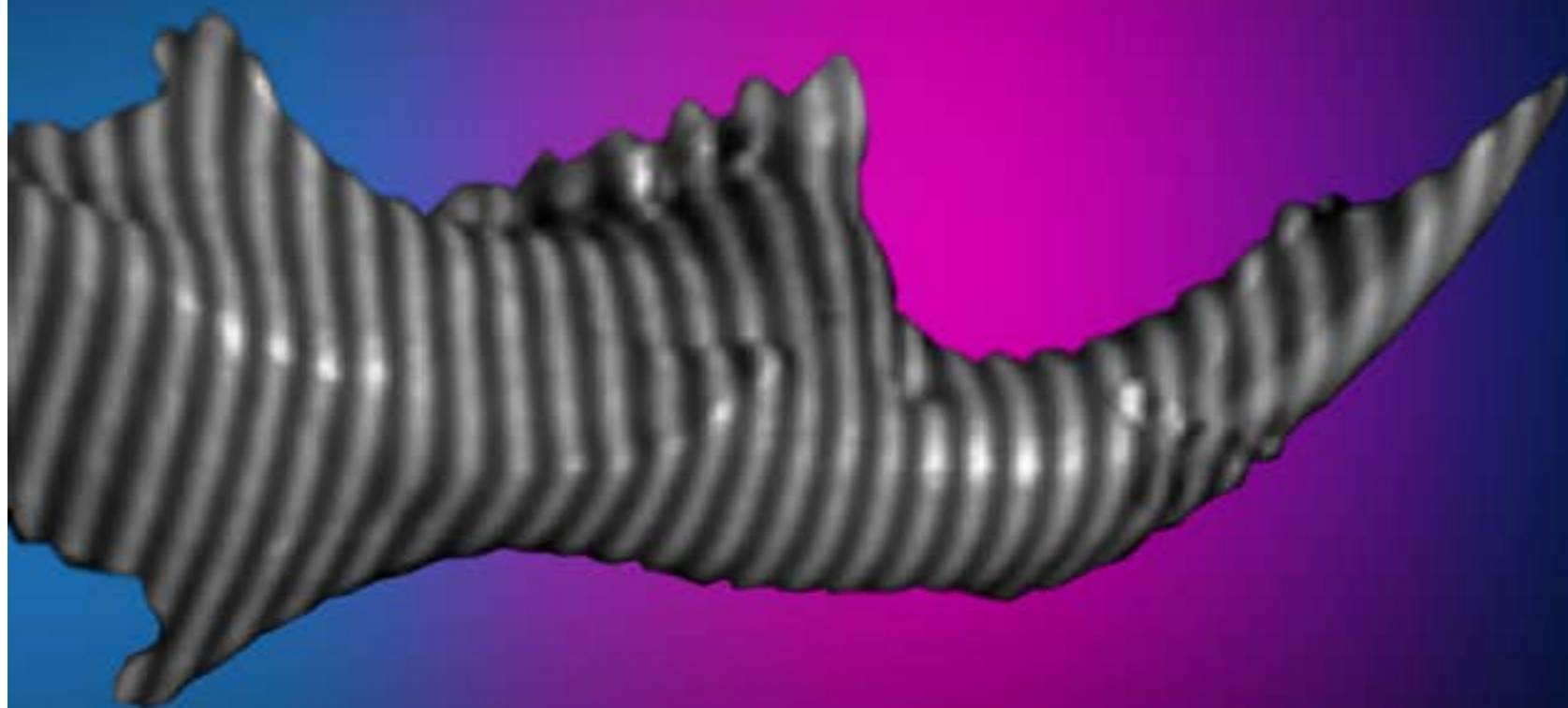
David Monzón  
Diagrama de un dispositivo microfluídico en el que se ha integrado un interferómetro Mach-Zehnder de fibra óptica para detectar los cambios de índice de refracción del fluido.



EL INVESTIGADOR

Entre los proyectos que actualmente trabajamos en el grupo se encuentran los siguientes:

1. Construcción de canales de dimensiones micrométricas.
2. Desarrollo de técnicas de visualización de flujo de fluidos en canales de dimensiones micrométricas.
3. Estudio experimental de la visualización del esparramiento de un haz láser cuando interacciona con partículas micrométricas sumergidas en líquidos para identificar morfología e índice de refracción de la partícula y el índice de refracción del líquido.
4. Medición del índice de refracción de una gota utilizando una cámara digital.
5. Estudio y construcción de Interferómetro de Mach-Zehnder de fibra óptica (IMZFO)
6. Sensor de vibración basado en un esquema de IMZFO.
7. Sensor de índice de refracción basado en un esquema de IMZO.
8. Sensor de altas temperaturas de fibra óptica basado en una variante de la estructura SMS.



## Tecnologías ópticas

### Medición de Topografía y Campos de Deformación Mecánica

Una de las aplicaciones es la preservación digital de muestras biológicas como es el caso de fósiles. La imagen muestra la aplicación de la técnica de proyección de franjas para este caso, que es una mandíbula semi fosilizada de un roedor.

#### TEXTO AMALIA GARCÍA

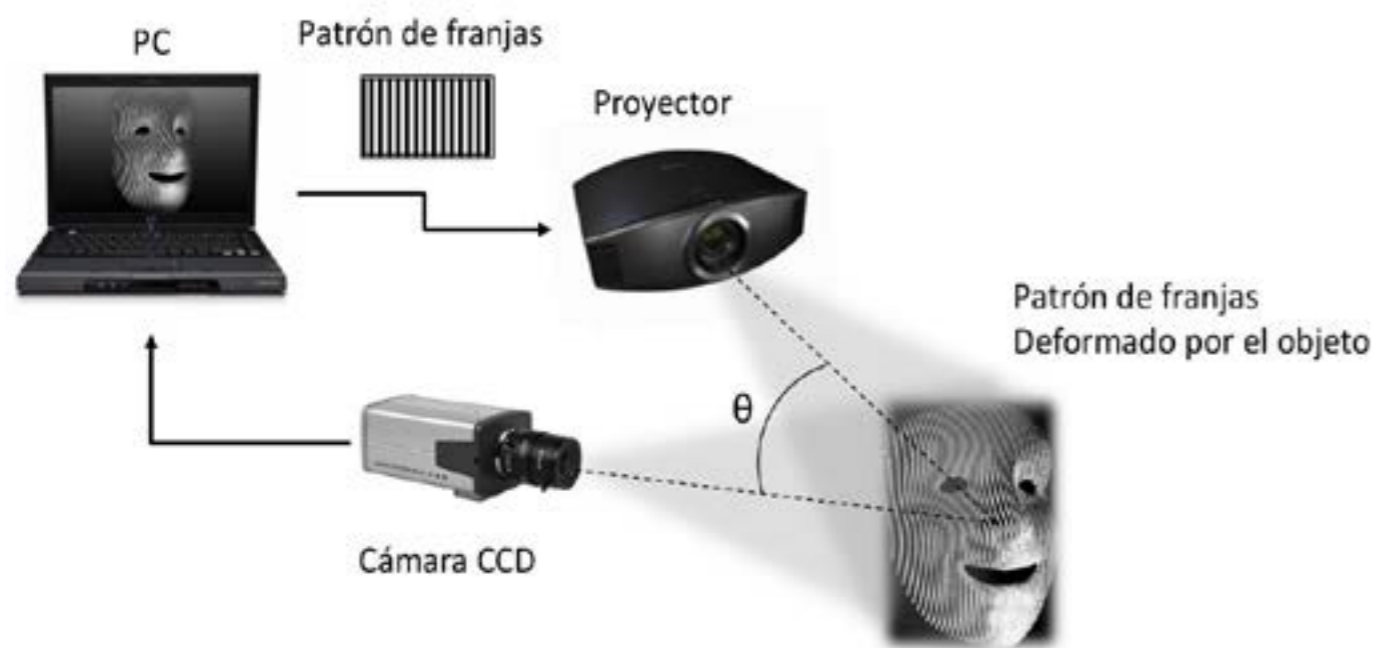
Entre las técnicas desarrolladas en metrología óptica, se tienen: proyección de franjas, interferometría de moteado, correlación digital de imágenes y holografía digital, entre otras. Para la cuantificación topográfica de algún objeto, el cual puede ser de interés en áreas como la medicina, arqueología, paleontología, industria automovilística, ingeniería inversa, etc.

.....

*Las técnicas mencionadas pueden también ser aplicadas en ensayos de tensión en la obtención de campos de desplazamiento, de deformación, de esfuerzo y del módulo de Young, cuantificación de índice de refracción, de temperatura, etc.*

Estas técnicas forman parte del grupo de pruebas ópticas no destructivas, es decir, de aquellas que

no requieren que el elemento sujeto a prueba deba ser afectado estructuralmente, además de ser de campo completo. En seguida se presentan ejemplos de aplicación de algunas de estas técnicas. La técnica de proyección de franjas consiste en proyectar un patrón de franjas sinusoidales sobre un plano de referencia (donde aparecerán sin ninguna desviación), en seguida se coloca el objeto de estudio (ahora las franjas se verán con desviación dependiendo de la topografía o de alguna carga mecánica aplicada); estas imágenes son llamadas imagen de referencia e imagen del objeto respectivamente, ambas imágenes son almacenadas en una computadora. La diferencia entre estos registros constituye el núcleo de la técnica de proyección de franjas considerando también algoritmos para obtener la fase de las franjas, esta técnica se realiza por medios completamente digitales lo que le brinda gran versatilidad y velocidad de desempeño.



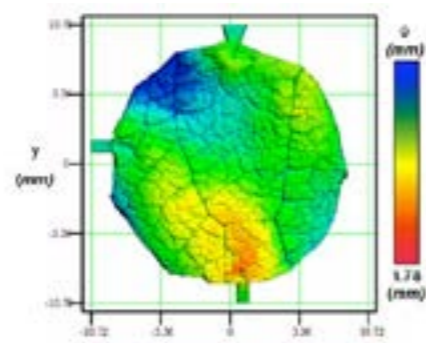
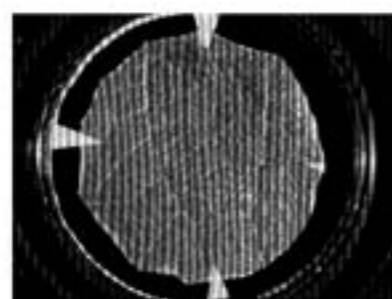
Implementación experimental de esta técnica.

En el caso de la obtención de la topografía, también se está trabajando en la implementación de la asociación del color real de los objetos lo cual puede ser de vital importancia en el apoyo de la fabricación de prótesis. Para ello se pone especial atención en calibración de un monitor y de una cámara considerando el color.

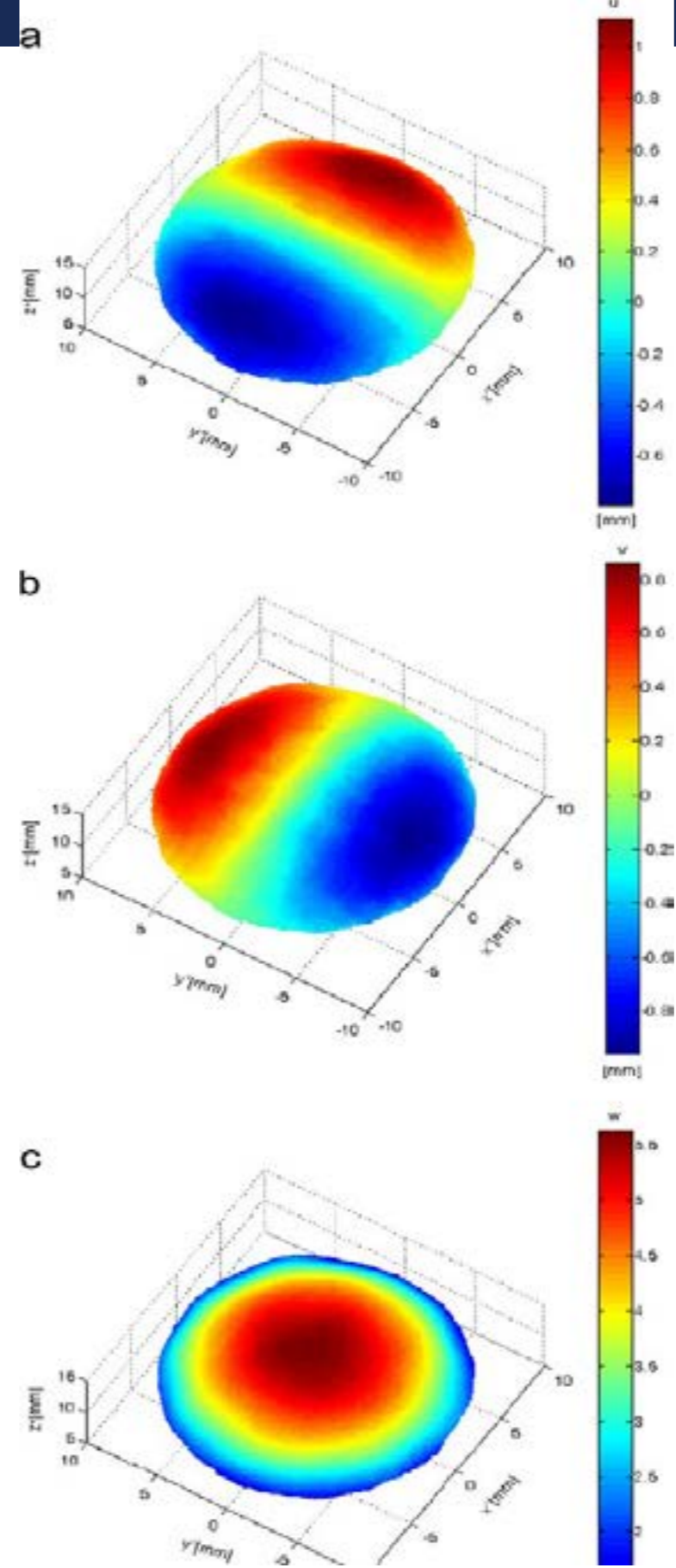
En ciencias agropecuarias existe interés en la determinación de las propiedades mecánicas de la cutícula (capa extracelular sobre la parte exterior de las paredes epidérmicas tales como hojas, brotes y frutos) que es de importancia significativa para la planta. Las paredes de las células epidérmicas y sub-epidérmicas están en tensión cuando el órgano vegetal está

turgente y de la relación entre la resistencia del tejido y la presión ejercida desde el interior, resulta el equilibrio en el crecimiento del fruto. De manera específica se tiene interés en el mecanismo que origina el agrietamiento en los frutos.

La técnica de correlación de imágenes en combinación con visión estéreo ha sido implementada para la obtención de campos de desplazamiento debidos al inflado de una membrana elástica<sup>4</sup>. Esta técnica consiste básicamente en la captura de dos imágenes con diferentes vistas del mismo objeto el cual es provisto de un patrón aleatorio. Se utiliza un biprisma que simula la presencia de dos cámaras las cuales captan las dos vistas diferentes.



Franjas proyectadas sobre la cutícula de una manzana y la topografía obtenida



Campo de deformación en cada una de las tres direcciones

Las dos imágenes estéreo se correlacionan para encontrar el campo de deformación en cada una de las tres direcciones. Los resultados obtenidos en este estudio muestran la viabilidad de medir el campo completo de deformación 3D en la caracterización de membranas biológicas que pueden poseer un considerable grado de anisotropía. El trabajo descrito ha sido desarrollado con el apoyo del Conacyt y de otras organizaciones internacionales.

REFERENCIAS:

1. Y. Y. López Domínguez, Amalia Martínez, J. A. Rayas, "Topometry and color association by RGB Fringe Projection Technique", Revista Mexicana de Física, Aceptado en el 2013.
2. Juan Carlos Gutiérrez García, Juan Francisco Mosiño, Amalia Martínez García, Tania Gutiérrez García, Ella Vázquez Domínguez, Joaquín Arroyo Cabrales, "Practical eight frame algorithms for fringe projection profilometry: biological materials application", Optics Express 21 (2013) 903-917.
3. Amalia Martínez, J. A. Rayas, R. R. Cordero, Daniela Baliero, Fernando Labbe, "Leaf cuticle topography retrieved by using fringe projection", Optics and Lasers in Engineering 50 (2012) 231-235.
4. Katia Genovese, Luciana Casaletto, J. A. Rayas, Víctor Flores, Amalia Martínez, "Stereo-Digital Image Correlation (DIC) measurements with a single camera using a biprism", Optics and Lasers in Engineering 51 (2013) 278-285.



## Pasado, Presente y Futuro del Laboratorio de Pruebas Ópticas No-destructivas

TEXTO CARLOS PÉREZ

Podemos decir que la interferometría de moteado surge del trabajo de Butters y Leendertz en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Loughborough, Inglaterra, en los años 70s. A diferencia de la interferometría clásica, la interferometría de moteado se aplicaba a objetos rugosos, y a diferencia de la interferometría holográfica, los interferogramas se registraban con cámaras de video, sustituyendo así el registro químico de las imágenes en emulsiones fotográficas por el electrónico. Se trataba de desarrollar sistemas para pruebas no destructivas con luz coherente que fueran adecuados para un entorno industrial. El desarrollo de esta tecnología fue acelerado: las cámaras de matriz de píxeles CCD remplazaron a las cámaras de tubos vidicón, se fabricaron láseres de mayor potencia, tanto continuos - de gran coherencia espacial, como pulsados, y se desarrollaron

poderosas tarjetas electrónicas para digitalizar imágenes. Paralelamente hubo un desarrollo de algoritmos para el procesamiento digital de imágenes, para la solución numérica de ecuaciones diferenciales, y para otros paquetes de herramientas de uso intensivo.

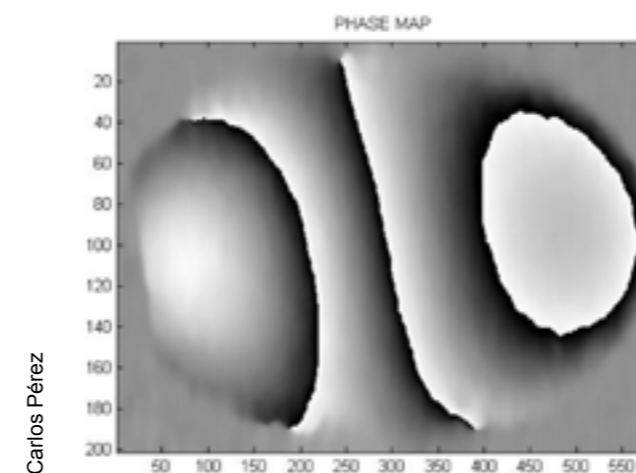
*Ayudó considerablemente la existencia de la transformación rápida de Fourier de Cooley y Tukey, que aceleró el cómputo ineludible de correlaciones con los interferogramas registrados, y el uso de conceptos tomados de las teorías de sistemas y comunicación.*

Todos estos adelantos convergieron en una poderosa herramienta de cálculo y de almacenamiento de datos que se desarrollaba a una velocidad aún mayor: la computadora personal (PC). En 1997, nues-

tro laboratorio contaba con un láser de 532 nanómetros de doble pulso, que se replicaba con una frecuencia de 60 Hz; una cámara de video analógica que registraba 30 imágenes por segundo; un filtro analógico para remover los pulsos de sincronía de la cámara; y una computadora personal, a la que se añadía una tarjeta digitalizadora. Con ello, mediante un arreglo tipo Michelson, obteníamos interferogramas de una turbina en rotación que almacenábamos en una videocasetera de formato Umatic profesional. Con estos interferogramas, y usando un procesador Intel Pentium I, realizábamos las operaciones de correlación necesarias para extraer la diferencia de fase entre los campos ópticos esparcidos por el objeto bajo prueba en dos estados físicos diferentes.

En 2013 la tecnología nos permite registrar hologramas con una cámara digital que captura imágenes con una velocidad de miles de cuadros por segundo, y reconstruir digitalmente estos hologramas

en tiempo real. Para ello, los procesadores ejecutan millones de operaciones por segundo, entregando en milisegundos, por ejemplo, el resultado de una transformación rápida de Fourier, y las fases de los campos ópticos registrados.



Mapa de la fase envuelta de una esfera elástica en resonancia (346 Hz).

En fin, cuando miramos retrospectivamente la tecnología que hemos utilizado en nuestro laboratorio, no podemos menos que maravillarnos de la transformación que ha experimentado en tan solo un par de décadas. Actualmente podemos implementar arreglos interferométricos para generar hologramas digitales con una resolución suficiente para registrar franjas de interferencia con un período de 28 micrómetros, es decir, de aproximadamente 35 pares de líneas (line pairs) por milímetro, que comparadas con los 500 pares de una película holográfica todavía resultan insuficientes para muchas aplicaciones. Sin embargo el proceso holográfico digital es completamente automático, lo que lo hace muy atractivo para proyectos de aplicación industrial.

Nuestros planes a corto plazo incluyen desarrollos

tecnológicos de interés en la región, como son el de equipo para el diagnóstico de cáncer de mama, y el de equipos portables que coadyuvan en la optimización de los procesos de curtido de pieles, entre otros.

¿Por qué es relevante la holografía digital en nuestro trabajo? Principalmente porque los parámetros físicos que nos interesan, como el módulo de elasticidad, la temperatura, etc., están relacionados con la detección de vibraciones en objetos que por lo general están en movimiento. La interferometría holográfica permite codificar los estados dinámicos de un objeto en forma de franjas de interferencia, de las que podemos extraer información sobre la deformación que sufre el objeto debido a las vibraciones a que está sometido, y partiendo de esta información, encontrar los parámetros físicos mencionados arriba, en muchos casos a partir de tan sólo dos estados dinámicos del objeto.

*La adquisición de equipo de alto desempeño, como láseres de alta potencia y alta coherencia, cámaras digitales de alta velocidad, con sensores CMOS de aproximadamente un megapixel, y un rango dinámico de conversión analógico/digital de 12 bits por pixel, aunado al desarrollo que hemos hecho de software durante dos décadas, nos ha permitido contar con tecnología de punta para realizar pruebas ópticas de muy alta velocidad.*

# A 33 años de la fundación del CIO

TEXTO DANIEL MALACARA

Vienen a mi mente muchos recuerdos, la mayoría de ellos muy agradables y otros que en su momento no lo fueron tanto, de ese día tan lejano pero a la vez tan cercano en mi memoria del 18 de abril de 1980. Tengo presente la gran cantidad de personas que me acompañaron y me apoyaron en este proyecto que en realidad comenzó a formarse años atrás.

Sin lugar a duda para mí todo comenzó al llegar como estudiante a la Universidad de Rochester, donde me sentí inmensamente feliz e impresionado por la gran tecnología y ciencia de la primera década de los años sesenta, cuando recién había aparecido el láser en la escena científica; cuanto lamentaba que en mi país y mucho menos en mi tierra natal León, no tuviéramos algo comparable.



Guillermo Martínez

Con los años fue apareciendo en mí el deseo muy intenso de que algún día pudiéramos tener algo similar en México; desde luego, como es de esperarse, el apoyo más fuerte en mis sueños lo tuve por parte de mi familia y de manera particular de mi esposa Maria Isabel; sin embargo, esto hubiera sido totalmente estéril si no hubiera tenido también el apoyo de amigos que creyeron en mí y que ahora quisiera mencionar.

En primer lugar, el Dr. Arcadio Poveda, entonces Coordinador de Ciencias de la UNAM y en segundo lugar el Dr. Guillermo Soberón, Rector de la UNAM; así mismo encontré apoyo y confianza en el proyecto por de parte del Gobierno Municipal, encabezado por el Lic. Roberto Plascencia Saldaña y del Gobierno del Estado de Guanajuato liderado inicialmente por el Luis Ducoing y posteriormente Lic. Enrique Velasco Ibarra quienes vieron con una gran simpatía el proyecto, a ellos les estoy sumamente agradecido.

.....

*Pero no debo olvidar que hubiera sido totalmente imposible llevar a cabo la fundación del CIO sin el apoyo de muchos de mis amigos y colegas ópticos, fueron tantos que no quisiera ser injusto y mencionar solamente a algunos de ellos y cometer omisiones, para todos ellos mi agradecimiento por creer en mí.*

Ya se imaginan los lectores la emoción que sentí cuando fui citado para asistir a la oficina del gobernador el Lic. Enrique Velasco Ibarra junto con el entonces Presidente Municipal, el Lic. Harold Gabriel el Director de CONACYT el Dr. Edmundo Flores y el Rector de la UNAM el Dr. Guillermo Soberón Acevedo el 18 de Abril 1980. Fue grande mi sorpresa, debo confesarlo que minutos antes de comenzar la reunión me enteré de que ahí nacía también un hermano gemelo



Eleonor León

Dr. Daniel Malacara a 33 años de la fundación del Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.

nuestro que es el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT).

Podría narrar mucho de lo primero que comenzamos a hacer, entre lo cual esta comenzar los trámites para la instalación de nuestros primeros laboratorios y para la construcción del primer edificio en el sitio donde ahora estamos.

Todo lo anterior que acabo de describir fue solamente el principio; ahora, 33 años después a mí me parece que el presente y futuro del CIO se ve muy optimista y esto es gracias al esfuerzo y trabajo maravilloso de todos y cada uno de sus integrantes, ahora encabezado por nuestro Director General el Dr. Elder de la Rosa, entusiasta y con una clara idea de lo que es el Centro y hacia dónde llevarlo.

Extiendo mi más calurosa felicitación y agradecimiento a todos y ojala que sigamos adelante con el mismo entusiasmo.



Carlos Pérez

Inspección de una tina de lavadora en rotación con una cámara rápida (1000 cuadros/seg).

Con esta tecnología hemos colaborado en la solución de problemas como la vibración de lavadoras causada por la centrifugación

de ropa para la empresa Mabe, y la medición de elasticidad de pieles para Curtidos Kodiak, una empresa local. Para concluir, quisiéramos mencionar algunas técnicas que estamos desarrollando actualmente en nuestro laboratorio. Estas incluyen métodos avanzados de vibrometría utilizando moduladores espaciales de luz, medición en la superficie de tejidos biológicos en vibración empleando la transformada de Fresnel, estudio de la evolución espacial y temporal de deformaciones no-lineales de objetos, generación de frentes de onda sintéticos por medio de DMDs (Digital Micromirror Devices) con fines metrológicos, y desarrollo de prototipos de instrumentos ópticos de medición para aplicaciones industriales.

### Total biophotonics market: forecast from 2011 to 2017

V. Aboites

El Consorcio Europeo de la Industria Fotónica en colaboración con otras instituciones prevé que el mercado de biotecnología pasará de 23 mil millones de dólares en 2012 a 36 mil millones de dólares en 2017. Tres áreas tecnológicas emergentes son las aplicaciones biotecnológicas agrícolas y agroindustriales, las de medicina personal y las de cuidado en el hogar. En estas áreas se sintetizan desarrollos logrados en los últimos diez años en imagen y detección Ramán, tomografía fotoacústica y microscopía e imágenes en Tera Hertz, entre otros. El cuadro mostrado indica la proyección del mercado en biofotónica de 2011 al 2017.



BioOpticsWorld April (2013)

## El CIO propone NUEVAS TECNOLOGÍAS para la arquitectura

TEXTO ELEONOR LEÓN

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) fue el lugar en donde se dieron cita funcionarios del Infonavit y Obras Públicas, miembros del Colegio de Arquitectos, así como estudiantes de arquitectura de la Universidad Iberoamericana de León y la UDL. El pasado 16 de abril el CIO, a través de la Dirección de Tecnología e Innovación (DTI), tuvo presencia en ese recinto con un par de conferencias sobre tecnologías para la industria de la construcción.

“Arquitectura e iluminación: fusión de dos mundos” del Mtro. Gil Arturo Pérez Herrera y “Fibras ópticas, tecnología de vanguardia para la industria de la construcción” del Dr. Ismael Torres Gómez.

Estos fueron los temas en donde ambos miembros del CIO, explicaron a los asistentes elementos básicos de luminotecnia, normatividad y nuevas tecnologías en la arquitectura.

Los ponentes plantearon problemáticas nacionales referentes a las construcciones públicas que pueden ser resueltas y reguladas, gracias al uso correcto de la iluminación vial, que reduciría la contaminación lumínica y los sensores de fibra óptica para prevenir derrumbes, por ejemplo.

Como muchos de los esfuerzos de vinculación que realiza la DTI, éste en particular fue un vehículo para generar conocimiento sobre sus propias áreas de investigación: iluminación, color y fibra óptica, planteando además, nuevas posibilidades del uso adecuado de materiales para la construcción y sus beneficios económicos, ambientales, así como de calidad y seguridad.



Eleonor León

Fuente de luz blanca para fibras.



Eleonor León

Durante la introducción a las ponencias.

# Biofotónica y Nano-biofotónica

TEXTO JUAN LUIS PICHARDO

La biofotónica es un área de investigación relativamente nueva, no obstante que, en diversas formas, ha estado presente en nuestras vidas desde hace mucho tiempo. Ejemplos de ello son la microscopía óptica, cuya aplicación es muy extensa en biomedicina, y los rayos X, que han hecho que hoy en día la mamografía digital sea una técnica rutinaria en la detección de cáncer de mama, no obstante algunas limitaciones en su desempeño. Asimismo, es posible diseñar sensores ópticos que colocados en el dedo de un paciente son capaces de medir la oxigenación y desoxigenación de su sangre, al igual que su ritmo cardíaco. En resumen, la biofotónica es una disciplina abocada al estudio de problemas de la biomedicina mediante el uso de la radiación electromagnética. Las técnicas que emplea son muy variadas e incluyen las espectroscopias de absorción y reflexión, de fluorescencia y Raman, así como la imagenología por tomografía de coherencia óptica, tomografía en el infrarrojo cercano, tomografía de óptica difusa, y tomografía fototérmica, entre otras. También cabe mencionar el uso de la radiación electromagnética con fines terapéuticos, como la terapia fotodinámica, basada en radiación visible, y la terapia fototérmica, que utiliza radiación infrarroja. Debido a que en la última década el cáncer se ha convertido en un problema importante de salud pública a nivel global, esta enfermedad ha recibido mucha atención por parte de la comunidad de investigadores de Biofotónica. Actualmente en el CIO varios investigadores han abordado el tema desde diferentes ángulos. En esta nota intento explicar de manera simple el trabajo que estoy desarrollando en él.

En la Fig. 1 se pueden apreciar una imagen de tejido de mama sana, y una de un carcinoma canicular in situ de un ratón de la cepa Sprague Dawley. La inducción se llevó a cabo con la colaboración de la Dra. Gloria Barbosa, de la División de Ciencias de la Salud de la Universidad de Guanajuato.

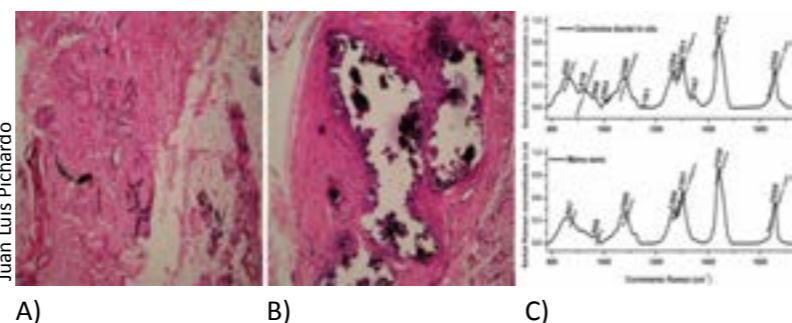


Fig. 1. Imágenes histopatológicas de biopsias, A) mama sana, B) mama con carcinoma canicular in situ, y C) espectros Raman característicos de ambos tejidos.

Al lado derecho de las imágenes histopatológicas se muestran los espectros Raman característicos correspondientes. A partir de estos se puede obtener información bioquímica del tejido, como la variación en la concentración de ciertas moléculas, que puede ser utilizada para diferenciar espectroscópicamente los estadios en la evolución del tumor de manera automatizada, con el propósito de realizar un análisis equivalente al de un patólogo, pero evitando la subjetividad del especialista. Sin embargo, la mayoría de las técnicas experimentales, incluyendo la espectroscopia Raman, usualmente presentan limitaciones en el proceso de detección, ya sea por una sensibilidad o una resolución insuficientes. De aquí la necesidad de mejorar las técnicas actuales, o en su defecto proponer nuevos métodos de detección. Una de las áreas emergentes del conocimiento que ha venido a complementar a la biofotónica es la nanotecnología, que en conjunto con la primera da origen a la Nano-biofotónica. Actualmente la nanotecnología goza de gran popularidad, tanto en el ámbito científico y tecnológico como en el público. La expectativa

que ha generado es la de proporcionar soluciones novedosas para algunos de los problemas que nos aquejan mediante el uso de materiales nano-estructurados, para lo cual es indispensable comprender la ciencia que rige a estos materiales. No obstante que la fabricación de materiales nano-estructurados y su aplicación data de mucho tiempo atrás, no fue sino hasta la invención del microscopio de transmisión y barrido electrónico que fue posible observarlos y conocer su morfología. Hoy sabemos que las propiedades físicas (ópticas, mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas, etc.) macroscópicas de un material cambian significativamente al disminuir su tamaño por debajo de los 100 nm.

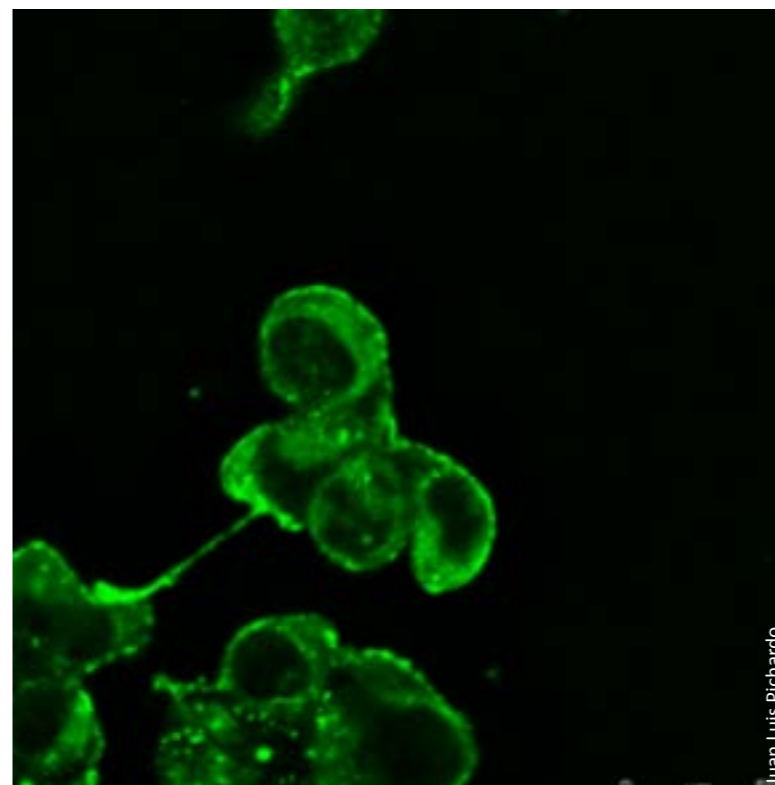


Fig. 2. Micrografía de células HELA obtenida con un microscopio confocal de fluorescencia con excitación de dos fotones, utilizando nanopartículas de un polímero conjugado.

Una de nuestras líneas de investigación actual es el estudio y detección de cáncer utilizando espectroscopia Raman, micrografía confocal de fluorescencia

de dos fotones, y tomografía de coherencia óptica (OCT), conjuntamente con materiales nano-estructurados. En la Fig. 2, por ejemplo, se muestra una micrografía de fluorescencia de dos fotones de células HELA (células de cáncer de cervix), las cuales fueron incubadas con nanopartículas del polímero conjugado. Es un trabajo que realizamos en colaboración con el Dr. Gabriel Ramos y el Dr. Daniel Martínez Fong del CINVESTAV. Las propiedades ópticas no-lineales de este polímero, en su forma de nanopartículas, lo hacen un fuerte candidato como marcador biológico en la detección de células cancerosas, particularmente cuando estas nanopartículas se encuentran funcionalizadas.

Otro problema en el que trabajamos actualmente es la detección de anticuerpos por medio de espectroscopia de absorción y nanopartículas de oro funcionalizadas. En la Fig. 3, del lado derecho se muestra una celda de cuarzo con nanopartículas coloidales de oro de 20 nm, mientras que del lado izquierdo se muestra



Coloides de oro sin funcionalizar (derecha), y funcionalizados (izquierda).

el mismo coloide después de haber sido funcionalizado con un anticuerpo específico. Como podemos observar, las nanopartículas al interactuar con el anticuerpo cambian sus propiedades ópticas, por lo cual el coloide puede ser utilizado como un sensor colorimétrico en la detección del anticuerpo, e incluso en la detección de su correspondiente antígeno.

Para concluir, quisiera remarcar que el objetivo primordial de nuestro trabajo de investigación es la implementación de técnicas ópticas y el uso de la nanotecnología para abordar problemas biomédicos que son objeto de estudio intensivo en la actualidad, como es el caso del cáncer.

## Científicamente comprobado

TEXTO ELEONOR LEÓN

Cuando hablamos de universos microscópicos parece inimaginable sin el aparato que nos permite echar un vistazo en ellos, pero cuando pensamos que un rayo láser nos da la posibilidad de conocer propiedades de la materia, resulta para muchos increíble.

En el Centro de Investigaciones en Óptica, gracias al Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia, se ha implementado una técnica llamada LIBS (por su acrónimo en inglés Laser Induced Breakdown Spectroscopy, o bien, Espectroscopia de Rompimiento Inducido por Láser).

El equipo de trabajo, conformado por el Dr. J. Oracio Cuauhtémoc Barbosa García, el Dr. Marco Antonio Meneses Nava y el recientemente, Dr. Víctor Ulises Lev Contreras Loera, detectaron que había un importante campo de oportunidad para explorar con la técnica y por supuesto, ser innovadores en el país y en una ciudad industrial. León, Guanajuato, es una de las principales productoras y exportadoras de piel y calzado, razón por la que su producto es sometido a

cumplir con niveles específicos de calidad.

Por lo regular, cuando nosotros vamos a una tienda a comprar un par de zapatos, consideramos aspectos que satisfagan necesidades de comodidad, gusto y bolsillo; pero antes de que lleguen a nuestras manos, o mejor dicho “a nuestros pies”, la piel con la que están hechos pasa por un proceso químico, lento y contaminante que permite determinar su calidad.

Con la luz del rayo láser de alta potencia, se excitan materiales, para poder analizar su composición química sin ser invasivos ni alterarlos.

Así, de esta manera LIBS posibilita resolver problemas en la industria para detectar defectos de los materiales, principalmente porque con la técnica se puede analizar cualquier estado de la materia. Incluso a nivel mundial ya se han desarrollado aplicaciones médicas y de salud. En el CIO, también se ha trabajado con la detección de sustancias activas en fármacos, que pueden mostrar si contienen compuestos falsificados, así como la identificación y caracterización de piezas geológicas y de acero que en cuestión de segundos, permite determinar su composición.

Desde que Víctor Ulises era un estudiante de posgrado del CIO, ha tenido claro que “Los proyectos y tesis de ciencia y tecnología deberían buscar, no sólo generar conocimiento con el afán de pro-



Ulises Contreras

*Un láser pulsado de alta energía es capaz de “romper” cualquier material sin importar sus propiedades físicas y químicas. En la imagen, un pulso láser (verde) es utilizado para analizar la composición química de una moneda.*

ducir artículos científicos, sino que deberían ir más allá y aplicar el conocimiento generado a resolver problemas de nuestra sociedad” Cuatro años después, este equipo de trabajo, ha conseguido abrir camino para futuras investigaciones y proyectos de alto impacto económico y ambiental, con lo que será posible estrechar vínculos con empresas nacionales e internacionales, posicionando al Centro de Investigaciones en Óptica como generador y colaborador de la calidad industrial.



Detección de cromo (Cr) en piel.

## La óptica adaptativa aplicada al examen de la retina del ojo humano

TEXTO DANIEL MALACARA

Cuando se observa un objeto a través de un medio con turbulencia o índice de refracción inestable, no es posible observarlo con claridad. Esto lo podemos notar en las estrellas que cintilar, sobre todo en las noches muy calurosas. También si vamos manejando en carretera en un día muy caluroso, alrededor del mediodía las imágenes de los objetos lejanos se perciben como si estos estuvieran temblando. Los militares en los Estados Unidos inventaron un método para poder ver con claridad bajo estas circunstancias. Lo que ellos pretendían era detectar la presencia de cohetes dirigidos. Lo que hicieron fue colocar frente a un telescopio o sistema óptico un espejo deformable que se ponía a vibrar a una frecuencia muy alta, con el fin de compensar la fluctuación de las imágenes provocada por la turbulencia atmosférica. Esto último se lograba midiendo primeramente la deformación del frente de onda del haz luminoso producida por la atmósfera, y analizando a continuación esta deformación en una computadora, para prescribir en tiempo real la forma apropiada para el espejo deformable. Naturalmente, este proceso debe ser sumamente rápido, pues la atmósfera cambia continuamente en periodos muy variables, típicamente de unas cuantas centésimas de segundo. El sistema para medir la deformación del frente de onda producida por la atmósfera está basa-

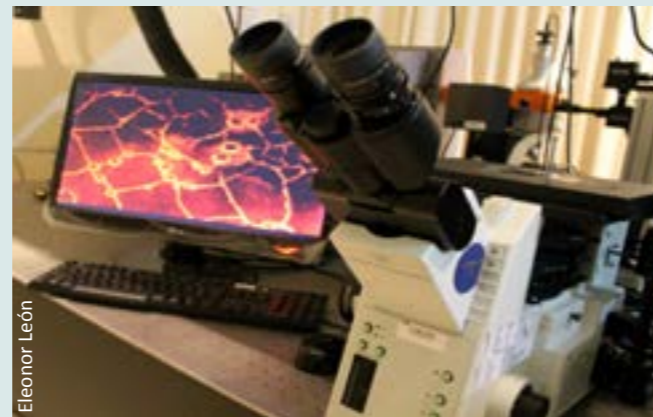
do en la bien conocida prueba de Hartmann, inventada a principios del siglo XX. Ha tenido tanto éxito que se sigue usando de manera intensiva para la evaluación de componentes y sistemas ópticos, a partir del registro de una matriz de “manchas” de luz, denominada patrón de Hartmann, cuyas posiciones dependen de las deformaciones del frente de onda. Una modificación de esta prueba, propuesta por Ronald Shack, de la Universidad de Arizona, dio lugar a la llamada prueba de Hartmann-Shack, que en vez de una pantalla con agujeros, utiliza un arreglo bidimensional de micro-lentes. Este es el sistema que se emplea actualmente en la óptica para compensar los efectos de la turbulencia atmosférica. Esta técnica, conocida como óptica adaptativa\*, es tan poderosa y útil, que en la última década se ha incluido en muchos sistemas ópticos de observación en que las imágenes se ven afectadas por la turbulencia o las inhomogeneidades del medio que existe entre el objeto y su imagen. Como es lógico, en cuanto el método desarrollado por los militares se hizo conocido, los astrónomos comenzaron a utilizarlo para observar las estrellas y los planetas. Como consecuencia del gran interés que suscitó se escribieron varios libros, entre los que destaca el de Tyson and Ulrich, publicado en 1993. Mediante la óptica adaptativa fue posible observar las estrellas desde la superficie terrestre con una calidad semejante a la que se obtiene desde un satélite artificial fuera de la atmósfera. Otra aplicación muy importante de la óptica adaptativa es la observación del interior del ojo humano con imágenes de muy alta resolución. En un oftalmoscopio común la calidad de la imagen está limitada por las deformaciones continuas y rápidas de la córnea y del cristalino del ojo hu-

## Microscopio Invertido IX81

TEXTO TZARARA LÓPEZ

mano. Estos, como si fueran una gelatina, se mueven constantemente produciendo un efecto similar al de la atmosfera en la observación de las estrellas. En el Centro de Investigaciones en Óptica, en colaboración con el Center for Visual Sciences de la University of Rochester, hemos trabajado desde hace varios años en el desarrollo de esta técnica, con el fin de observar la retina del ojo humano con gran detalle. Ahora es posible distinguir claramente los conos y los bastoncillos que la conforman, lo cual era imposible con los métodos tradicionales empleados por los oftalmólogos. En Rochester el Dr. David Williams y sus colaboradores han utilizado exitosamente desde hace varios años la óptica adaptativa en la observación del fondo del ojo, pero su sistema óptico estaba limitado por la magnitud de las aberraciones, o defectos de la imagen. En el Centro de Investigaciones en Óptica hemos rediseñado el sistema óptico basándonos en conceptos novedosos, que hemos publicado en varios artículos especializados, logrando mejorar considerablemente la calidad de las imágenes de la retina del ojo humano que se obtienen con él. Actualmente trabajamos en colaboración con estudiantes doctorales del CIO e investigadores de la UAM, Unidad Azcapotzalco, para mejorar aún más este sistema óptico.\* En inglés los términos Adaptive Optics y Active Optics se refieren a tecnologías diferentes. En español tal vez no exista todavía un consenso en cuanto al significado de los términos Óptica Adaptativa y Óptica Activa. Ambas tecnologías se refieren a la corrección de una imagen en tiempo real mediante la compensación de sus defectos con actuadores electro-mecánicos aplicados, por ejemplo, a los tejidos de un telescopio segmentado (óptica activa), o de espejos deformables o moduladores espaciales de luz relativamente pequeños (óptica adaptativa). La diferencia entre ambas tecnologías estriba en la escala de tiempo: larga en el caso de la óptica activa, pequeña en el de la óptica adaptativa.

El CIO cuenta con un microscopio óptico invertido semi-motorizado OLYMPUS IX81 ubicado en el laboratorio de nanofotónica (Lab. 1116, Edificio G) que opera bajo el modelo de uso común, muy pronto se podrá solicitar acceso desde la página web, y cuya responsable es la Dra. Tzarara López Luke. Este microscopio está equipado con una lámpara de halógeno de 100W, objetivos de 20X y 40X súper apocromáticos, oculares para visión estereoscópica, una platina con desplazamiento (X,Y), revolver de 6 posiciones para filtros dicróicos a 45°, (por ahora solo tiene 4 posiciones ocupadas por filtros, que permiten el paso del azul-violeta, violeta, verde y amarillo), un diafragma para luz reflejada, una cámara de alta resolución acoplada en el sistema óptico, este sistema está integrado a una computadora para la captura de imágenes y control de los parámetros de la cámara acoplada. Con éste equipo se pueden analizar muestras biológicas, especialmente cultivos celulares y tejidos. Además, se puede obtener imágenes en campo claro, campo oscuro, contraste de fase, fluorescencia, etc. Esta ya en proceso una actualización con lo que se le adaptará una columna para transmisión y un sistema motorizado para el eje Z, objetivos y filtros, una lámpara de LED de mayor potencia, además de que es posible excitar con luz láser, dependiendo del estudio que se desee realizar. En nuestro grupo estudiamos la detección, imagen y destrucción fototérmica de células cancerígenas con el uso de nanopartículas luminiscentes, metálicas, entre otras.



Microscopio óptico fluorescente IX81. La Imagen del monitor es la bacteria *Estafilococo Aureus* marcada con fluoroforo estudiada por el estudiante de Doctorado Leonardo Pérez Mayen.

## Publicaciones Científicas Recientes

### DIVISIÓN ÓPTICA

**“3D Displacement measurements of the tympanic membrane with digital holographic interferometry”**, S. Muñoz Solís, F. Mendoza-Santoyo, M. Hernández-Montes, Optics Express, vol. 20, no. 5, pp. 5613 - 5621.

**“Use of Raman spectroscopy and chemometrics for the quantification of metal ions attached to *Lactobacillus kefir*”**, E. Gerbino, P. Mobil, E.E. Tymczyszyn, C. Frausto-Reyes, C. Araujo-Andrade, A. Gómez-Zavaglia, Journal of Applied Microbiology, vol. 112, no. 2, pp. 363 - 371.

**“Flicker minimization in an LCoS-Spatial Light Modulator”**, J. García Márquez, V. López Padilla, A. González -Vega E. Noé, Optics Express, vol. 20, no. 8, pp. 8431 - 8441.

**“Photoacoustic Tomography System”**, J.D Martínez- Ramírez, R. Quispe-Siccha, C. García-Segundo, F.J. González, R. Espinosa-Luna, G. Gutiérrez-Juárez, Journal of Applied Research and Technology, vol. 10, no. 1, pp. 14 - 19.

**“Refractive index measurement through image analysis with an optofluidic device”**, S. Calixto, M. Rosete-Aguilar, F.J. Sánchez-Marín, M. Calixto-Solano, C. López-Marriscal, Optics Express, vol. 20, no. 3, pp. 2073 - 2080.

**“Adjustable-window grating interferometer based on a March-Zehnder configuration for phase profile measurements of transparent samples”**, D.I. Serrano-García, N. I. Toto Arellano, A. Martínez- García, J. A. Rayas-Alvarez, G. Rodríguez-Zurita, A. Montes-Pérez, Optical Engineering, vol. 51, no. 5, pp. 55601 - 55601

### DIVISIÓN FOTÓNICA

**“Yb-doped yttria-alumino-silicate nano-particles based optical fibers: Fabrication and characterization”**, M.C. Paul M. Pal A.V., A. Kiryanov, S. Das, S.K. Bhadra, Yu. O. Barmenkov, A. A. Martínez-Gómez, J.L. Lucio- Martínez, Optics & Laser Technology, vol. 44, pp 617-620.

**“Polarization-resolved terahertz time-domain spectroscopy”**, E. Castro-Camus, Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Wa, vol. 33, no. 4, pp. 418 - 430.

**“Secure Communication Based on chaotic cipher and chaos synchronization”**, M. Jiménez-Rodríguez, R. Jaimes-Reátegui, A. N. Pisarchik, Discontinuity, Nonlinear and Complexity, vol. 1, pp. 57 - 68.

**“Tinkerbells in a non-linear ring resonator”**, V. Aboites, Y. O Barmenkov, A. Kiryanov, M. Wilson, Results in Physics, vol. 2, pp. 216 - 220.

**“Identificación de aceros por espectroscopia de rompimiento inducido por láser (LIBS) y análisis de componentes principales”**, V. Contreras, M.A. Meneses-Nava, D. Torres-Armenta, J. Robles-Camacho, O. Barbosa-García, J.I. Maldonado, G. Ramos Ortiz, Revista Mexicana de Física, vol. 58, pp. 184 - 190.

**“Numerical analysis of a broadband spectrum generated in a standard fiber by noise-like pulses from a passively mode-locked fiber laser”**, J.C. Hernández-García, O. Pottiez, J.M. Estudillo Ayala, R. Rojas-Laguna, Optics Communications, vol. 285, pp. 1915 - 1919.



Una de las razones principales del surgimiento del ACOSO SEXUAL es el desequilibrio de igualdad que existe entre varón y mujer.



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)

Si no podemos poner fin a nuestras diferencias de género, contribuyamos a que el mundo sea un lugar apto para ellas.



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)