



*¿y si no hubiera luz?*



Barras  
Archivo fotográfico C10

**Agradecemos** el apoyo y las facilidades para la realización de este libro al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la sinergia de programas y esquemas de colaboración que permiten la divulgación de la ciencia y que sientan las bases hacia el fortalecimiento de una sociedad y una economía basadas en el conocimiento. Gracias a todos y cada uno de los investigadores, estudiantes y personal del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) por compartir con el mundo lo que se genera desde los laboratorios, aulas y oficinas para fomentar una cultura científico-tecnológica; gracias por hacer de la óptica y fotónica la herramienta pertinente de nuestra vida cotidiana y el motivo de celebración del Año Internacional de la Luz.



**Sendero de luz**  
Archivo fotográfico CIO

¿ y si no hubiera luz ?  
152 pp.; 82 fotografías

#### Edición

Alfredo Campos Mejía  
Elder de la Rosa Cruz  
Eleonor León Torres

#### Dirección de arte y diseño / Formación diseño editorial

Lucero Alvarado Ramírez

#### Fotografía

Archivo fotográfico CIO  
Archivo fotográfico CONACYT  
DeviantArt  
Eleonor León Torres  
High Quality wallpaper  
Roberto Tetlamatzin García

#### Colaboraciones

Alfredo Campos Mejía  
Daniel Malacara Doblado  
Daniel Malacara Hernández  
David Monzón Hernández  
David Moreno Hernández  
Diego Torres Armenta  
Donato Luna Moreno  
Efraín Mejía Beltrán  
Elder de la Rosa Cruz  
Eleonor León Torres  
Enrique Castro Camus  
Fernando Mendoza Santoyo  
Francisco Cuevas de la Rosa  
Gabriel Ramos Ortiz  
Haggeo Desirena Enríquez  
Iván Moreno Hernández  
Iván Salgado Tránsito  
Luis Armando Díaz Torres  
Manuel Servín Guirado  
Marlen Zuleica Tenango Aguiar  
Rafael Espinosa Luna  
Ramón Carriles Jaimes  
Roberto Ramírez Alarcón  
Sergio Calixto Carrera  
Zacarías Malacara Hernández

Primera edición, 2016

Impreso en León, Guanajuato, México

Imprenta Coloristas y Asociados, S.A. de C.V

El Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO), busca el respeto por el trabajo intelectual; de acuerdo a la Ley de Derechos de Autor no se permite la reproducción total o parcial de las obras artísticas y científicas, a menos que se cuente con la autorización por escrito de los titulares del *copyright*.



*¿ y si no hubiera luz ?*

Centro de Investigaciones en Óptica  
Luz para un mejor futuro



Halo, anillo planetario  
DeviantArt



Muelle  
Roberto Tetlamatzin

# ÍNDICE

Prólogo .....	19
<b>1. Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)</b>	
1.1 El origen .....	27
1.2 Las capacidades .....	31
1.3 El futuro .....	34
<b>2. Conocimiento que ilumina</b>	
2.1 Científicos del futuro .....	41
2.2 Estudiantes viajeros .....	45
2.3 Emoción y vocación .....	48
<b>3. Óptica y Fotónica</b>	
3.1 ¿Qué es? .....	55
3.2 ¿Por qué importa? .....	59
3.3 ¿Qué se investiga? .....	62
3.4 ¿Cómo se aprovecha? .....	65
<b>4. Exploración, interacción y aplicación de la luz</b>	
4.1 Espectro de luz .....	71
4.2 Instrumentos para Astronomía .....	74
4.3 Ingeniería de sistemas ópticos .....	76
4.4 Polarización .....	79
4.5 Mediciones con luz .....	81
4.6 Procesado digital de señales .....	84
4.7 Visión robótica .....	86
4.8 Impresión 3D .....	89
4.9 Energía solar .....	91

4.10 Fuentes de iluminación LED .....	94
4.11 Fibras ópticas .....	96
4.12 Sensores ópticos .....	99
4.13 Láseres .....	101
4.14 Fenómenos ultrarrápidos .....	104
4.15 Fotónica cuántica .....	106
4.16 Biomedicina .....	109
4.17 Visión humana .....	111
4.18 Nanotecnología .....	114
4.19 Laboratorio en un chip .....	116
<b>5. Luz, arte y cultura</b>	
5.1 Ciencia para todos .....	125
5.2 La sociedad de la luz .....	129
5.3 La luz como fuente de inspiración .....	132
<b>6. ¿Y se hizo la luz!</b> .....	<b>141</b>



Danza de luz  
Archivo fotográfico CIO



Bellas Artes  
Roberto Tetlamatzin



Cúpula  
Roberto Tetlamatzin

# PRÓLOGO

*"La música es la aritmética de los sonidos, como la óptica es la geometría de la luz"*  
(Claude Debussy)

“ La radiación electromagnética se describe en términos de una partícula sin masa llamada fotón que se desplaza como un patrón de ondas a la velocidad de la luz. Cada fotón contiene cierta cantidad de energía que depende de la longitud de la onda que forma al desplazarse o la frecuencia a la que se repite. Así, cuanto más larga sea la onda menor será la frecuencia y menor la energía. Las ondas más largas (un millón de metros a mil hertz) corresponden a la corriente alterna que viajan por líneas de transmisión de donde se deriva la energía que llega a nuestras casas. Las ondas más cortas (0.000000000000001 m a una frecuencia de  $10^{21}$  hertz, esto es un uno seguido de veintinueve ceros) corresponden a la radiación cósmica que se produce en las estrellas resultado de reacciones nucleares. ”

Nos han enseñado que la luz es una partícula, una onda y un rayo, hemos aprendido a traerla con un botón de encendido y a ocultarla con uno de apagado; en el colegio el conocimiento se representa con la iluminación y cuando vamos por la carretera hemos visto el atardecer, o en el patio de la casa nos hemos asomado a interactuar con nuestra sombra; hemos sabido que la luz corre por fibras ópticas y que la pasean en su espalda las luciérnagas. Todo lo que alcanzan a percibir nuestros ojos se debe gracias a la luz, pero hay un mundo enorme de fenómenos que ocurren aun cuando no los vemos.

La luz es una forma de radiación electromagnética, pero hay otros tipos de radiación que conocemos como el infrarrojo, las microondas, los rayos X, las ondas de radio y otras que no conocemos o hemos escuchado poco. Todos los tipos de radiación existentes forman lo que se conoce como el *espectro electromagnético* o radiación electromagnética, aunque se produzcan de forma diferente. De hecho, la mayor parte de éste lo utilizamos en diversas aplicaciones. Al estudio de todos los tipos de radiaciones y cómo éstas interactúan con la materia se llama: óptica y fotónica.

La óptica y fotónica usan para sus aplicaciones radiación electromagnética con longitudes de onda entre un milí-

metro (frecuencia de  $10^{12}$  hertz, un uno seguido de doce ceros) y un picómetro (después del punto once ceros antes del uno) comprende la radiación de terahertz, que se usa en aplicaciones para diferenciar el contenido de agua y densidad de los tejidos y la radiación gama que se usa para obtener imágenes del interior de nuestro cuerpo, por ejemplo. Incluye la radiación infrarroja con longitudes de onda en el rango de una millonésima de un metro, que está asociada a la temperatura que emite un cuerpo (razón por la cual se le llama también radiación térmica) y se usa ampliamente en equipos de visión nocturna, comunicación inalámbrica y diferentes procesos industriales que requieren calor; la radiación visible (con longitudes de onda en el rango de cientos de nanómetros, que es una mil millonésima parte de un metro) es la luz que nos permite ver y que detecta nuestros ojos; la luz ultravioleta que se usa para sistemas de seguridad y para la fabricación de micro y nano componentes y los rayos X ampliamente utilizada para imágenes del cuerpo y seguridad en aeropuertos.

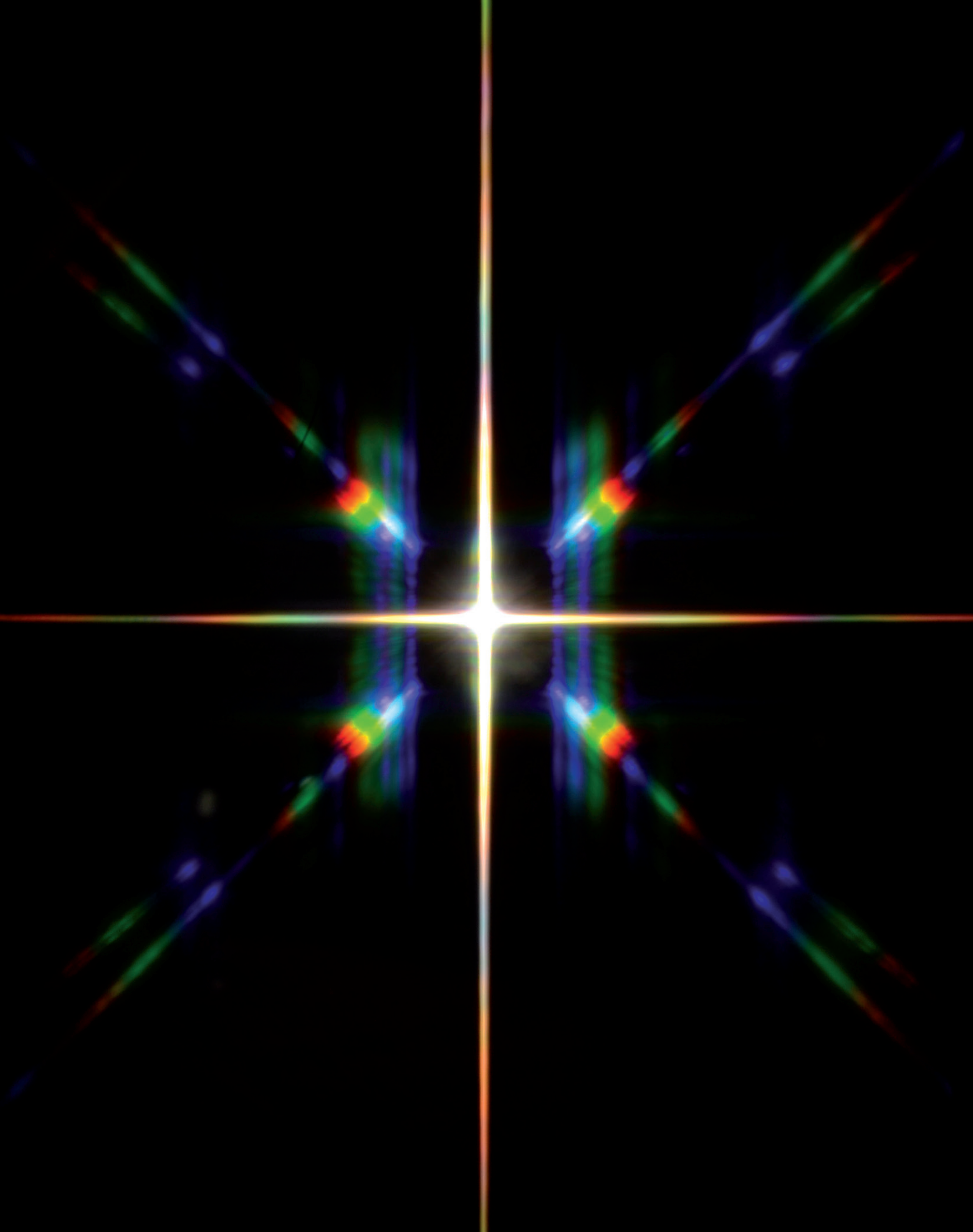
La luz es más de lo que creemos conocer, está más allá de lo visible y tangible, más allá de tus ojos leyendo estas palabras y más allá incluso, del cráter de la luna que puedes ver gracias a un telescopio, pero lo más maravilloso de todo es que el planeta Tierra y el ser humano existen gracias a ella.



Aurora boreal  
Archivo fotográfico CIO



Tormenta  
Archivo fotográfico CIO



CIO  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA



Luz y punto  
Eleonor León

## EL ORIGEN

El Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) fue fundado en abril de 1980 en la ciudad de León, Guanajuato (México) como respuesta al *Plan Indicativo de Ciencia y Tecnología 1976-1982* del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con el objetivo de fomentar una cultura competitiva basada en el desarrollo científico y tecnológico en el país. Este Centro es el resultado de los logros y gestiones encabezados por el Dr. Daniel Malacara Hernández, quien realizó el doctorado en la Universidad de Rochester en 1965, lo que lo convirtió en el primer científico mexicano en obtener un doctorado en Óptica y quien al día de hoy es referencia obligada en el desarrollo de la óptica en todo el mundo.

El CIO es uno de los 27 centros que forman el sistema de centros públicos CONACYT y se caracteriza por ser la única institución en México dedicada completamente al área de la óptica y fotónica (OyF). Se distingue por su contribución a la generación de conocimiento de frontera, al desarrollo tecnológico e innovación, a la formación de recursos humanos de alto nivel en esta área del conocimiento, así como por su interés en promover una cultura científica en la sociedad a través de sus programas

de divulgación y difusión de la ciencia. Responde a la iniciativa del CONACYT sobre el fomento de una economía basada en el conocimiento descrito en el *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*, reflejado en el *Plan Estratégico de Mediano Plazo 2013-2018* del propio CIO.

El campus principal del Centro está localizado en la ciudad de León, Gto. con más de 22,000 m<sup>2</sup> de instalaciones distribuidos en 10 edificios, entre ellos 1,200 m<sup>2</sup> del Museo de Óptica y Fotónica (MOF). El campus Aguascalientes inició actividades en mayo de 1998 y cuenta con un edificio de 2,100 m<sup>2</sup> con lo que fortalece su presencia en el sector productivo del estado de Aguascalientes y su región de influencia.

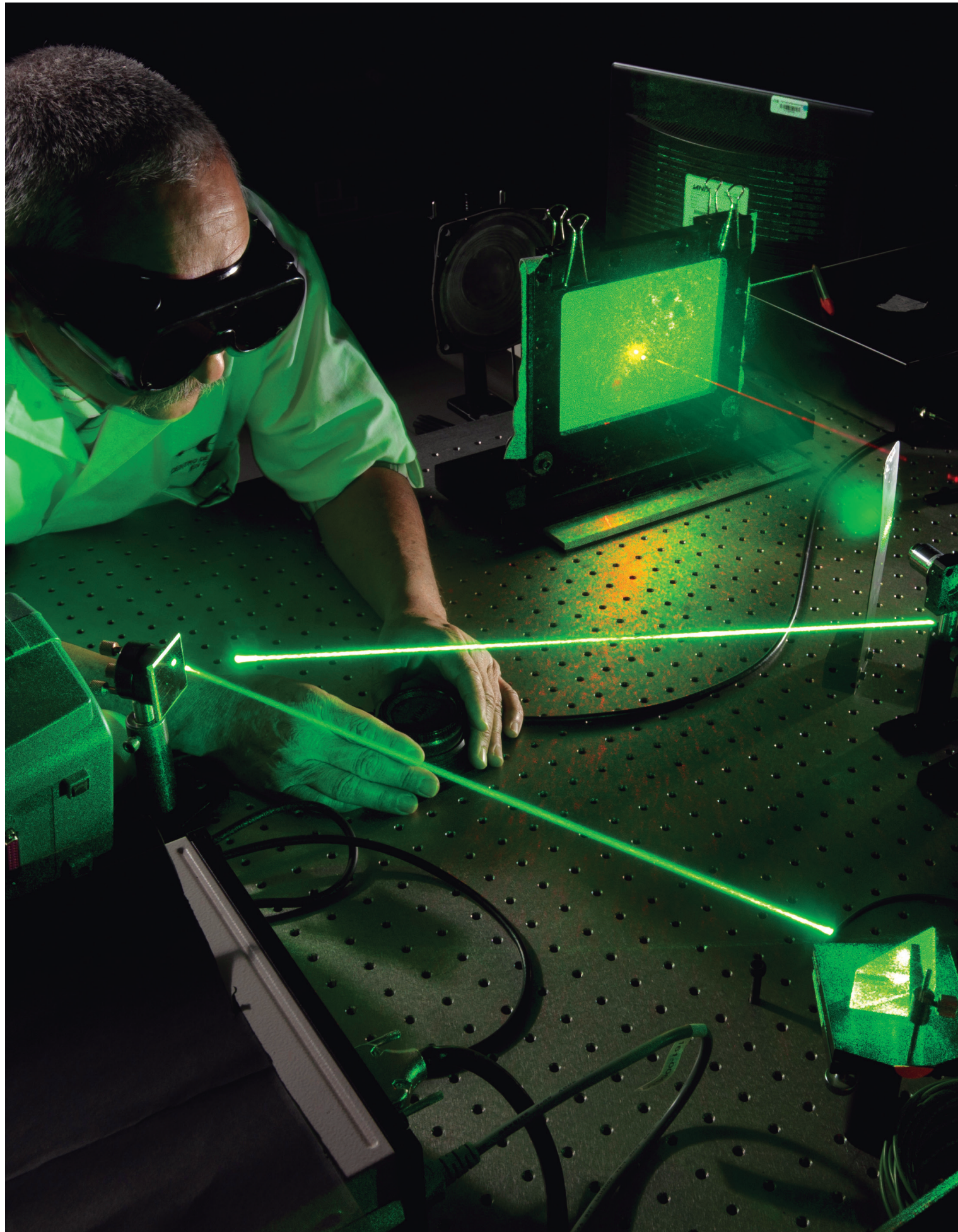
El CIO ha consolidado su liderazgo en el país e incrementado su presencia y liderazgo a nivel internacional. Sus más de 400 graduados son promotores de la OyF a lo largo y ancho del país. Sus graduados en el extranjero han dado cuenta de la calidad de sus programas de posgrado. Su liderazgo internacional se refleja en sus colaboraciones y más del 25% de estudiantes extranjeros.



**Edificio G**  
Archivo fotográfico CIO



**Espejo**  
Eleonor León



Laboratorio de Metrología  
 Archivo fotográfico CIO

## LAS CAPACIDADES

A través del tiempo se ha trabajado para que el CIO sea un Centro de investigación de excelencia, con liderazgo nacional e internacional en el campo de la óptica y fotónica (OyF), que ocupe un lugar central en el desarrollo de la ciencia y la tecnología de México.

Su misión es desarrollar investigación básica y aplicada que contribuya a la generación de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación que fortalezca el liderazgo tecnológico del país y promueva la formación de nuevas empresas basadas en conocimiento, a la oferta del mejor programa de posgrado en el campo de la óptica y fotónica y contribuir al desarrollo de una cultura científica y tecnológica de la sociedad.

A la fecha, el CIO se integra de más de 200 empleados de los cuales 71% (143) corresponden a personal científico-tecnológico, 20 son ingenieros, 60 técnicos y 63 son investigadores de los cuales el 98% están en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y de estos 64% están en los niveles 2 y 3, todos trabajando en la generación de conocimiento y desarrollo tecnológico de frontera que se convierte en innovación que le da ventaja competitiva al sector productivo. Estas actividades están apoyadas anualmente por más de 20 posdoctorantes, 150 estudiantes de posgrado y más de 300 estudiantes de pregrado de diversas instituciones de

educación superior que realizan diferentes tipos de estancia.

Cuenta con 40 laboratorios totalmente equipados entre los que encuentra el Laboratorio Nacional de Óptica de la visión (LOV) del cual es el Centro titular; alberga con el único laboratorio en el país con capacidad para la fabricación de fibras ópticas especiales, el de fabricación de micro y nano dispositivos fotónicos y el de biofotónica, con capacidad para la preparación y conservación de muestras biológicas. Cuenta también con una de las mayores capacidades en el país para el aprovechamiento de la energía solar, tanto desde la ingeniería como la investigación básica enfocada a dispositivos fotovoltaicos de última generación, además de un laboratorio de electrónica, fabricación de componentes ópticas, películas delgadas y taller mecánico. Con estas capacidades se desarrolla investigación de frontera básica y aplicada que impactan los sectores de: energía, salud, manufactura avanzada y alimentos.

El CIO apoya al sector productivo con cuatro laboratorios de metrología donde ofrece más de 45 servicios de medición diferentes. Y a la sociedad en su conjunto, con un programa de divulgación y difusión de la OyF para promover una mayor cultura científica en la población y fomentar la vocación científica.



Estiramiento de fibra óptica  
Archivo fotográfico CIO

## EL FUTURO

En el CIO se promueve la generación de conocimiento y desarrollo tecnológico de frontera en óptica y fotónica. Cuenta con una sólida infraestructura que le permite realizar investigación y desarrollo tecnológico (I+D) enfocado a atender los mayores problemas que enfrenta la sociedad en el área de salud, energía, manufactura avanzada y alimentos. Se usa la luz como herramienta, se analiza su interacción con la materia, se desarrollan modelos que optimizan procesos y se diseña la instrumentación necesaria para su aplicación en la solución de problemas que impactan los diferentes sectores de la sociedad. El enfoque en áreas estratégicas y su actualización en otras emergentes es por lo que ha mantenido y mantendrá un liderazgo nacional y consolidará la presencia internacional durante los próximos años.

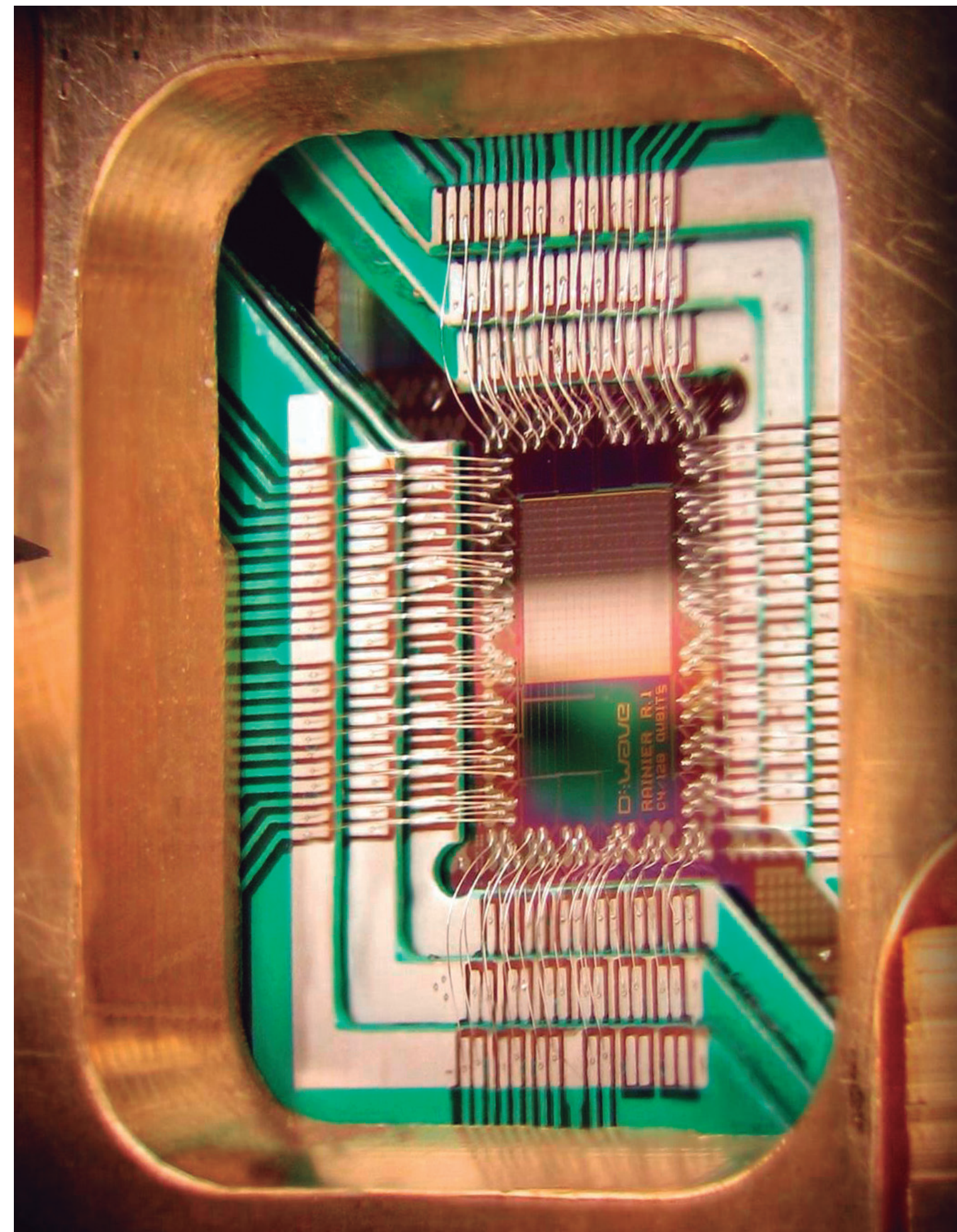
La investigación que se realiza genera desarrollos tecnológicos que se transfieren al sector productivo. Se implementan métodos, técnicas e instrumentación para ayudar en los procesos de control de calidad en la industria. Contribuye al desarrollo de nuevos productos de alto contenido tecnológico y mayor valor agregado. Además de mantener esta relación fructífera con el sector productivo se promueve el establecimiento de nuevas empresas de alto contenido tecnológico, para el fomento del establecimiento de una industria en OyF en el país. Esto para contribuir al desarrollo de una industria

de alto valor agregado y a una economía basada en el conocimiento.

La mayor fortaleza del CIO son las personas, quienes hacen posible que la I+D ocurra: empleados, estudiantes, pos doctorantes y colaboradores alrededor del mundo. Una parte central de su misión es el entrenamiento de estudiantes que formarán la siguiente generación de científicos y tecnólogos. Serán los futuros líderes en la academia o en la industria. Es a través de ellos que el CIO consolida su liderazgo y pertinencia en la formación de capital humano. Para lograrlo, busca fortalecer sus programas de posgrado para atraer talento tanto nacional como internacional, actualizarlo frecuentemente para responder a las necesidades de los diferentes sectores y garantizar la empleabilidad de sus egresados.

Una economía basada en el conocimiento requiere una cultura enriquecida en CyT, para contribuir a ello es fundamental el fortalecimiento de sus programas de divulgación y difusión de la ciencia, la implementación de actividades con un efecto multiplicador y el aprovechamiento del Museo de Óptica y Fotónica (MOF) como el espacio para el acercamiento directo del quehacer del CIO hacia la sociedad.

En los próximos años, el CIO deberá convertirse en uno de los protagonistas para fortalecer y dirigir el desarrollo tecnológico de país en esta área del conocimiento.



Computadora cuántica  
Archivo fotográfico CIO



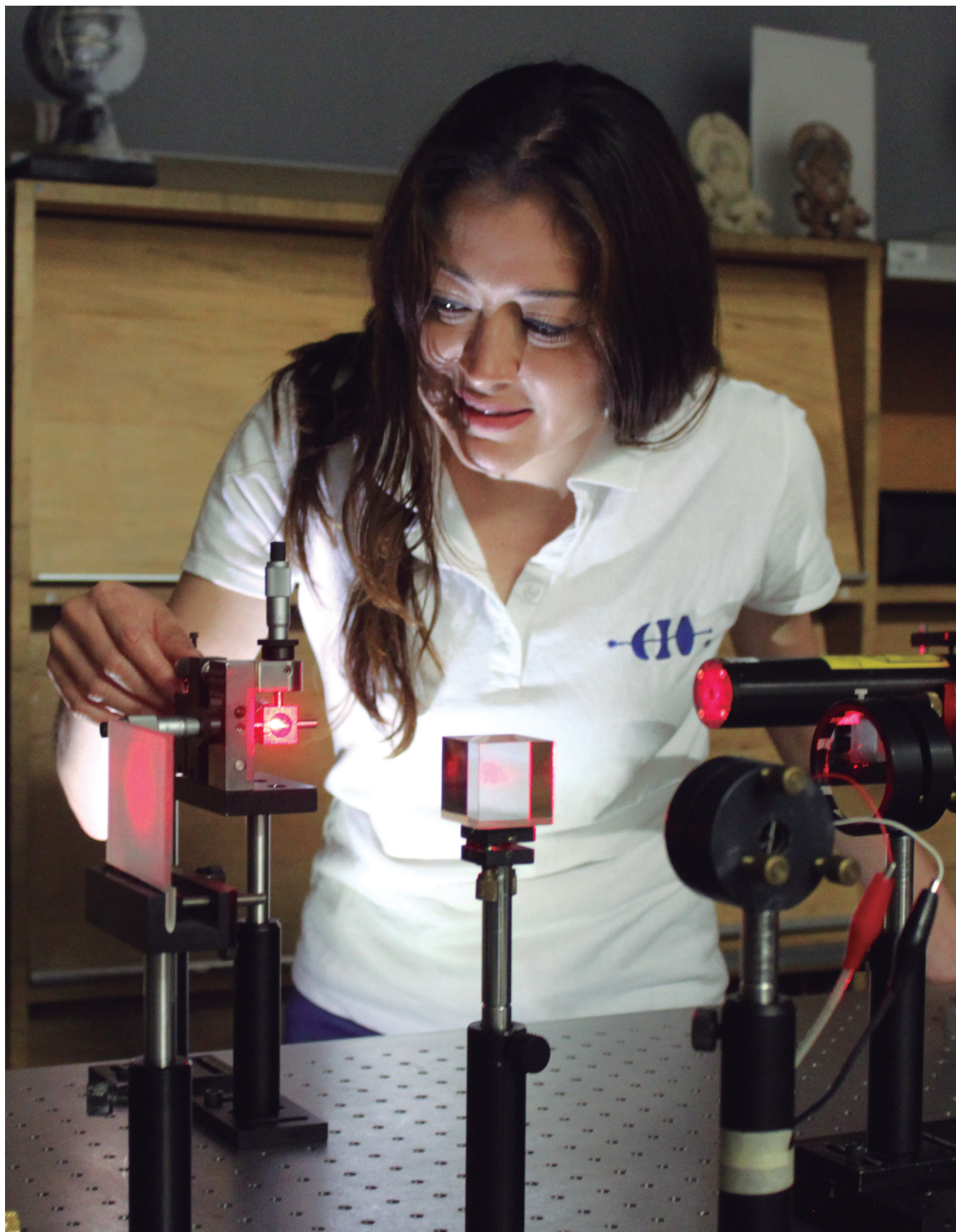
Velocidad máxima  
Roberto Tetlamatzin



# CONOCIMIENTO

QUE ILUMINA

Cubos  
Eleonor León



Laboratorio de metrología  
 Archivo fotográfico CIO

## CIENTÍFICOS DEL FUTURO

La economía del conocimiento es en la actualidad la base del desarrollo de los países, de ahí que sus capacidades para desarrollarse cultural y económicamente dependen de su capacidad para generar capital humano. Esto les permite generar, aplicar y difundir el conocimiento y con ello generar la riqueza cultural y económica que impulse su desarrollo. Consciente de ello, el CIO desde su creación ofrece programas de posgrado que tienen como objetivo la formación de capital humano de alto nivel especializado en las áreas de OyF.

Actualmente ofrece tres maestrías y dos doctorados: la Maestría y Doctorado en Ciencias (Óptica) están diseñados para formar jóvenes con un carácter dirigido a fomentar la investigación, en tanto que la Maestría en Optomecatrónica, así como la Maestría y Doctorado Interinstitucional están diseñados para la formación de capital humano con un perfil para el desarrollo tecnológico. Estos posgrados están certificados por el CONACYT como posgrados de alta calidad. Los investigadores son responsables del diseño, desarrollo y actualización de los programas académicos que aquí se imparten, razón por la cual los estudiantes al tiempo que consolidan su formación, se involucran

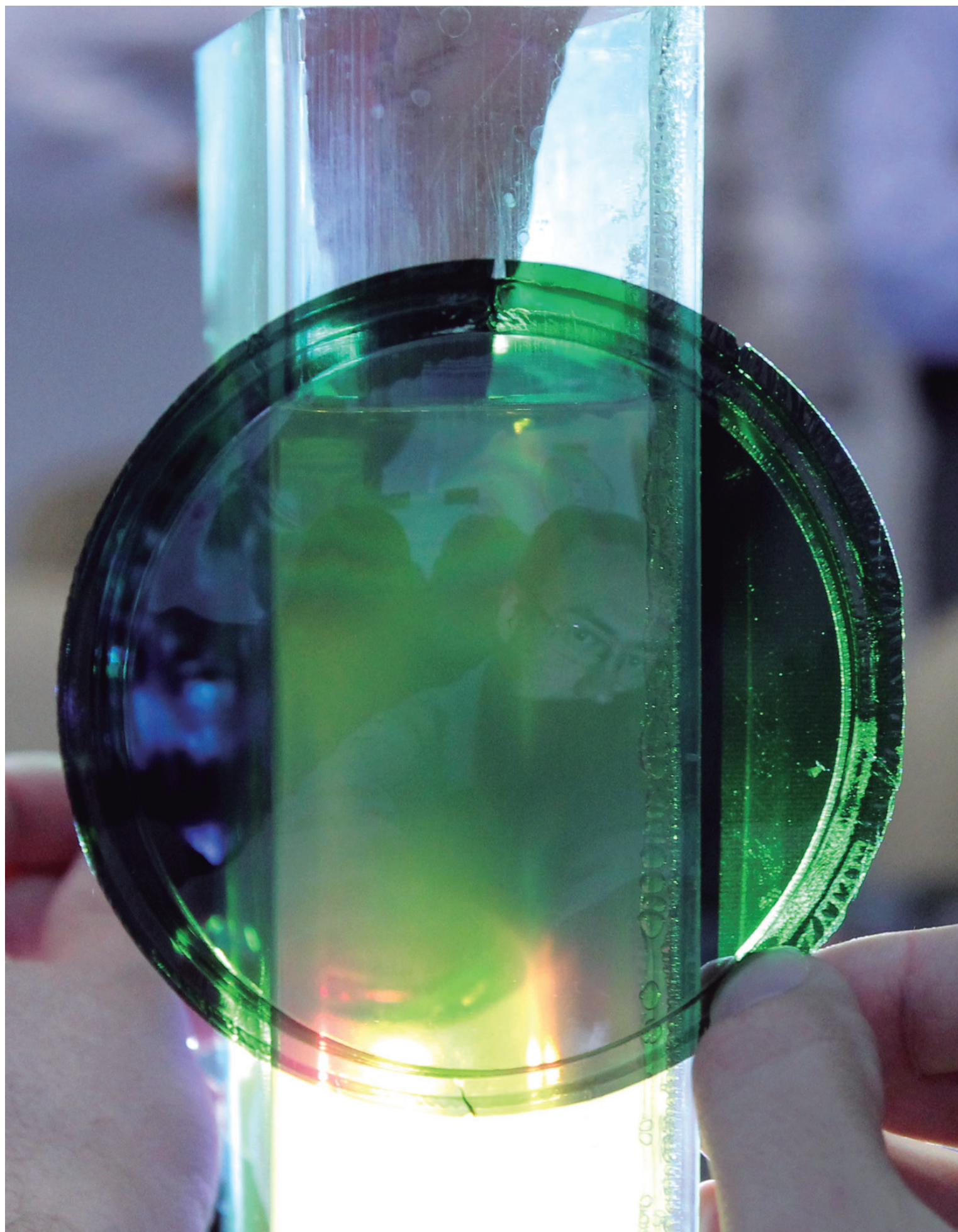
de manera cercana y directa con las dinámicas de investigación y transferencia tecnológica. Desde su creación, el CIO ha formado más de 500 jóvenes a nivel Maestría y/o Doctorado, que además de México, provienen de países como: Estados Unidos, Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile, Sudáfrica, Cuba y Panamá.

Aproximadamente el 70 % de los Doctores graduados en el CIO, pertenece al SNI y se encuentran desarrollando actividades de investigación en las diversas áreas de la OyF, en Instituciones de Educación Superior públicas y privadas, así como en Centros de Investigación Públicos y de la iniciativa privada e incluso han formado sus propias empresas.

En los últimos años, se ha incrementado el número de egresados que se insertan en el sector productivo haciendo de la óptica una herramienta para el avance tecnológico en la economía, laborando en empresas nacionales e internacionales desde el área de *Pruebas ópticas no destructivas* en la manufactura avanzada de elementos mecánicos, el diseño óptico de sistemas de iluminación y formación de imagen, las fibras ópticas y accesorios para telecomunicaciones, la ingeniería óptica, hasta el desarrollo de sistemas de iluminación.



Biblioteca  
Archivo fotográfico CIO



Polarización  
Archivo fotográfico CIO

## ESTUDIANTES VIAJEROS

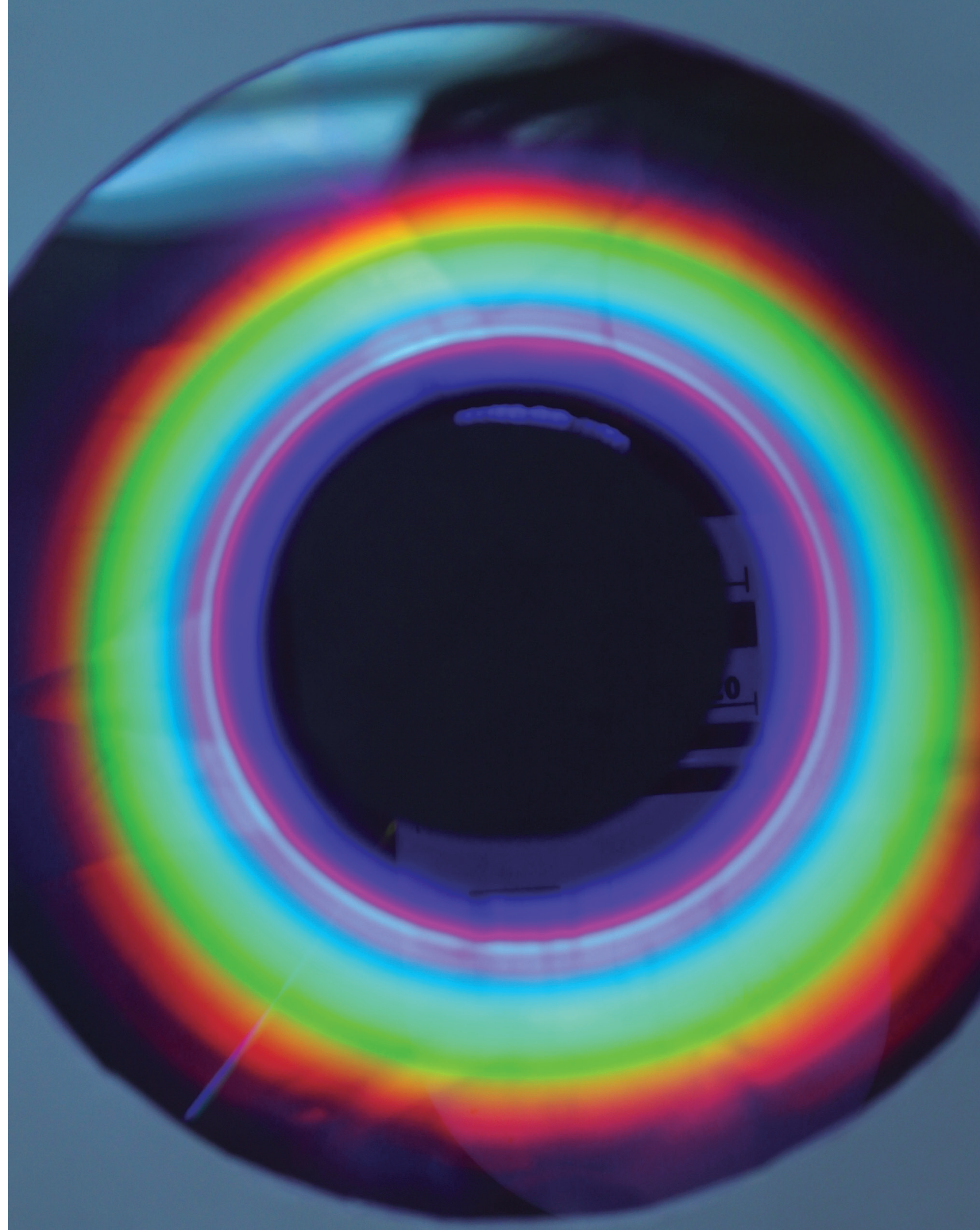
Como parte de la formación, además de su labor escolar y actividades de investigación en el centro, los estudiantes de posgrado realizan otras actividades académicas, tales como asistencia a congresos nacionales e internacionales tanto en México como el extranjero, estancias de investigación en otras instituciones nacionales y extranjeras, así como asistencia a cursos y seminarios en otras instituciones. Cada año aproximadamente el 80% de ellos realiza alguna actividad de movilidad.

La mayoría de las estancias de investigación se realizan en laboratorios del extranjero en países como Inglaterra, Australia, Estados Unidos, Colombia, Francia, España, Canadá, Estados Unidos. En particular podemos citar el MIT (EUA), el CREOL en la Universidad Central de Florida (EUA), la Universidad Tecnológica de Auckland (NZ), Universidad Rutgers (EUA), Tecnoparque, Nodo Valledupar (Colombia), CIEMAT Plataforma Solar de Almería (España), Universidad de Johannesburgo (Sudáfrica). Alrededor del 75% de nuestros estudiantes de Maestría cuentan con un revisor de tesis externo y en el caso de los estudiantes de doctorado el 100% cuenta al menos con un revisor de tesis externo, lo que ha llevado al CIO a establecer más de 30 convenios de colaboración académica con otras instituciones tanto nacionales como extranjeras.

SE  
IMPULSA

“ la estancia de jóvenes de pregrado y posgrado para que realicen actividades que complementen su formación profesional... ”

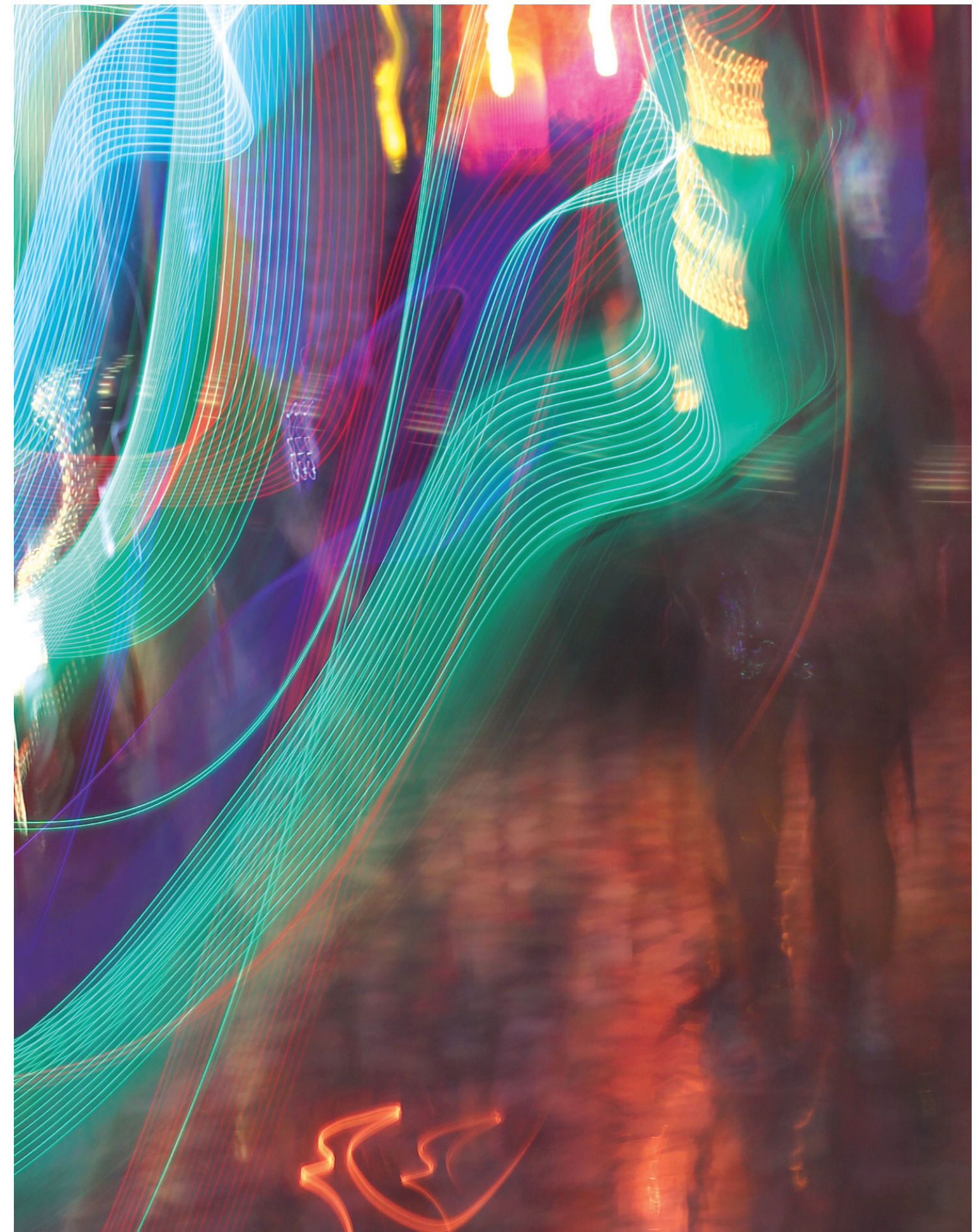
Anillos de color  
Archivo fotográfico CIO



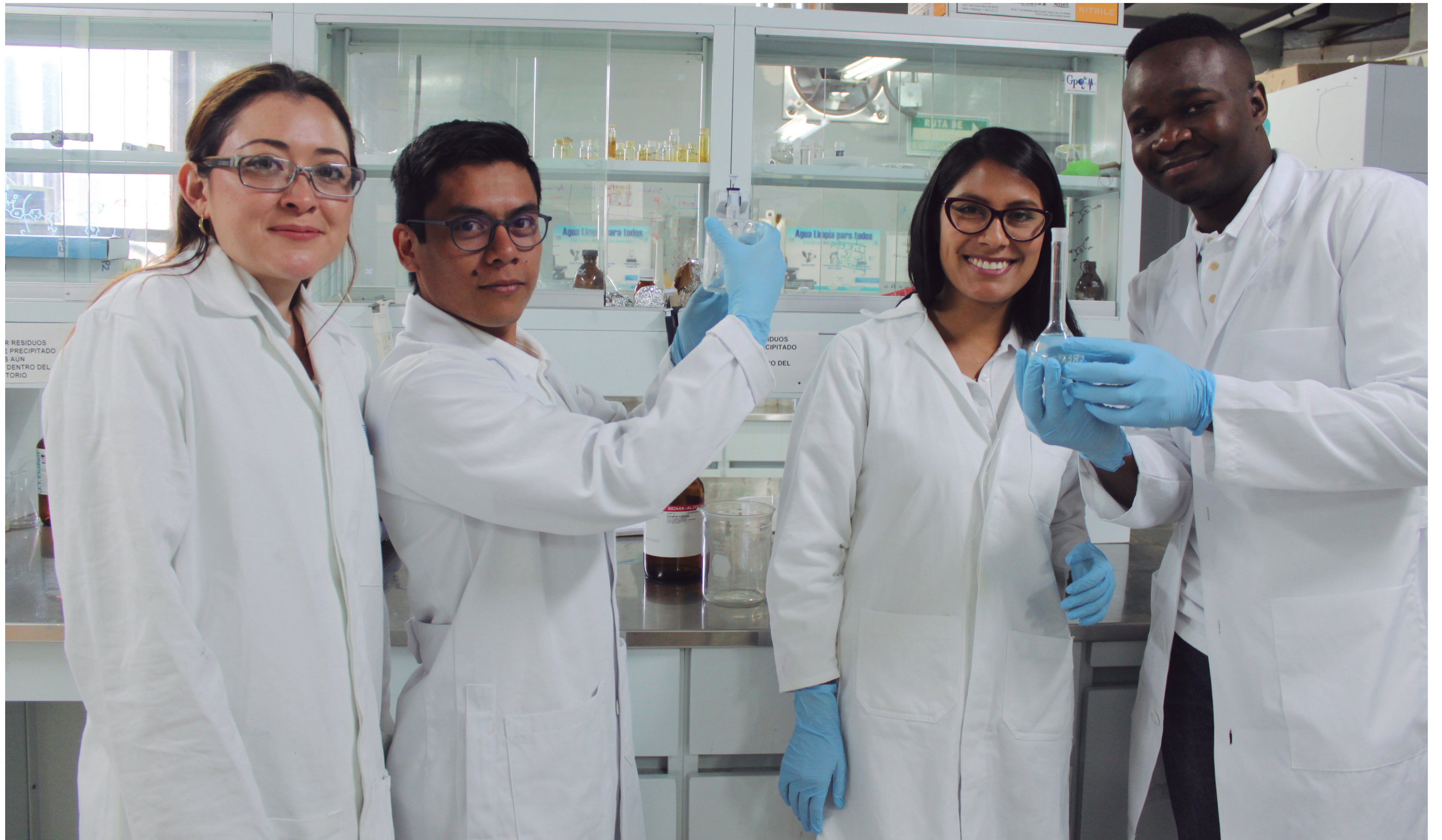
## EMOCIÓN Y VOCACIÓN

Uno de los objetivos más importantes para el CIO es realizar actividades encaminadas a fomentar las vocaciones científico-tecnológicas de los jóvenes, por medio de actividades que acercan a los estudiantes con las dinámicas de investigación y desarrollo tecnológico del Centro, tales como: estancias de verano y talleres teórico – prácticos en temas afines a la OyF. Adicionalmente, se impulsa la estancia de jóvenes de pregrado y posgrado para que realicen actividades que complementen su formación profesional con estancias de investigación, residencias y prácticas profesionales, servicio social, desarrollo de tesis de licenciatura y posgrado, entre otras. Últimamente el CIO ha venido atendiendo alrededor de 300 estudiantes externos al año, provenientes de diversas instituciones nacionales y extranjeras, que realizan alguna de las actividades arriba citadas. De estos, aproximadamente el 10% proviene de instituciones del extranjero en países como Colombia, Panamá, Guatemala, Ale-

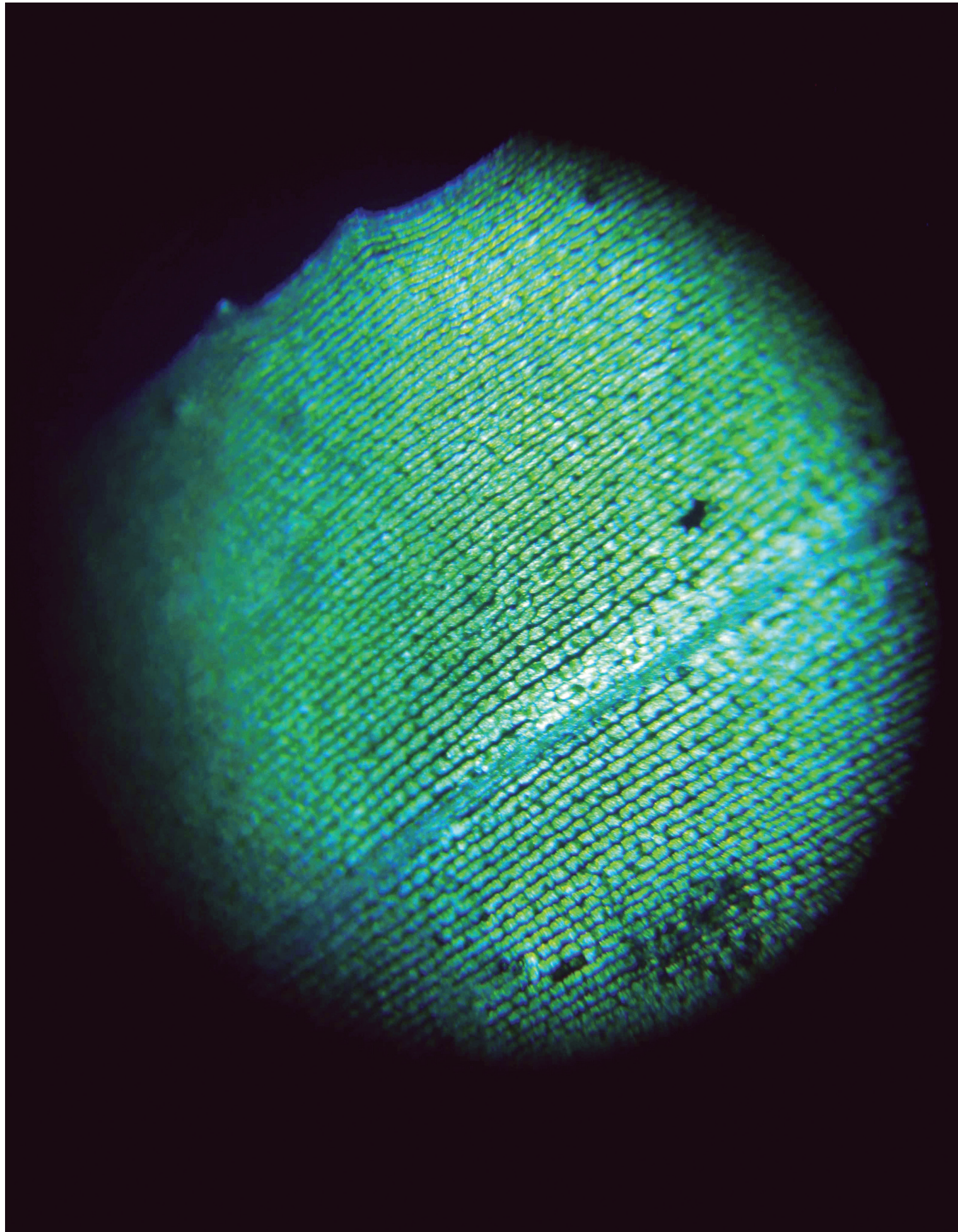
mania, Canadá, Estados Unidos de América, entre otros. La cobertura de atención a estudiantes nacionales se extiende prácticamente a todo el país. Es importante señalar que todas las actividades de los estudiantes externos son dirigidas y supervisadas por al menos uno de los investigadores del Centro; los jóvenes tienen acceso al menos a uno de los más de 40 laboratorios especializados, por lo que adquieren la experiencia de trabajar en un sistema de investigación y desarrollo tecnológico de alto nivel. El impacto de estas actividades reside en fomentar entre los jóvenes el gusto por las vocaciones científico-tecnológicas, impulsando en ellos el convencimiento de que en México pueden realizar dichas actividades, a través de un posgrado en el CIO o en cualquier otra institución con capacidades similares. En particular alrededor de un 25% de los alumnos de nuevo ingreso han participado en algún momento en alguna de estas actividades.



Barrido  
Eleonor León



Laboratorio de materiales  
Archivo fotográfico CIO



# ÓPTICA Y FOTÓNICA

Alga  
Archivo fotográfico CIO



Laboratorio de nanofotónica  
 Archivo fotográfico CIO

## ¿ QUÉ ES ?

La óptica y fotónica es una sub disciplina de la física e ingeniería que estudia las propiedades fundamentales de la luz y otros tipos de radiación electromagnética, así como su manipulación o control para su uso en aplicaciones prácticas. Es decir, estudia la generación, propagación, detección e interacción de la luz con la materia, produciendo tecnologías que se han vuelto fundamentales para la vida moderna.

Entre las tecnologías, resultado de esta área del conocimiento, podemos mencionar: las pantallas y cámaras de los teléfonos celulares y computadoras, las lámparas de los automóviles, los sistemas de comunicación por fibra óptica que hacen posible el internet, láseres, celdas solares, iluminación, imagen y diagnóstico de problemas de salud, la instrumentación médica como la mamografía, entre otros.

Esta área del conocimiento cubre la mayor parte del espectro electromagnético, aunque se enfoca mayormente en la región que abarca desde el ultravioleta profundo, la región visible, hasta el lejano infrarrojo.

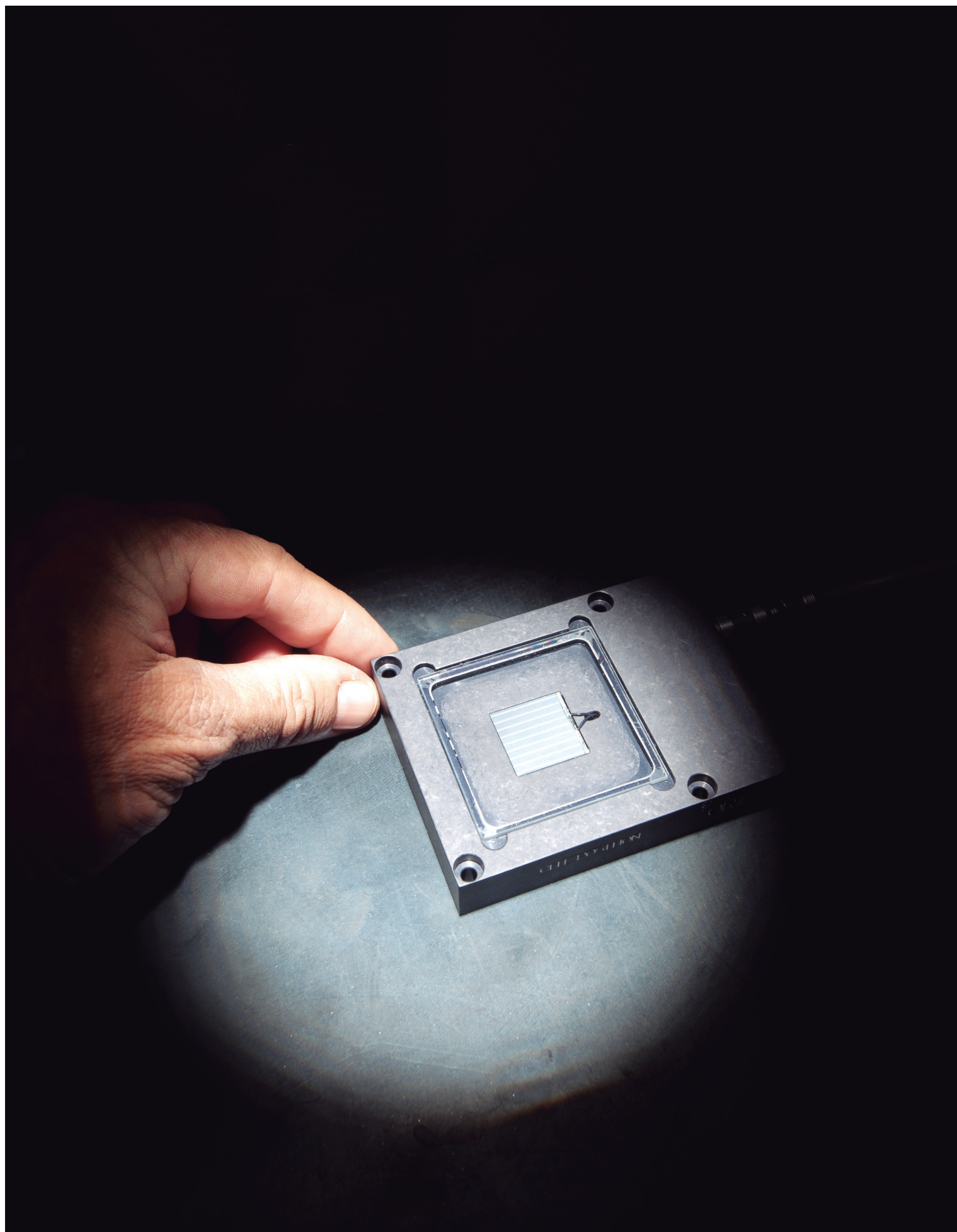
Aunque el término óptica es convencionalmente utilizado para describir la ciencia de la luz, se utiliza para describir el concepto clásico de la luz y se refiere al estudio de la visión. La fotónica hace referencia al uso del fotón que es la unidad básica o cuanto de luz con una energía que depende de la longitud de onda de la señal luminosa o electromagnética, en equivalencia a la electrónica que usa el electrón para la transmisión de señales e información. Actualmente la fotónica está ganando mayor aceptación como el término que además de incluir a la óptica describe el uso de todo el espectro electromagnético.



Medusa  
Eleonor León



Ciudad flotante



Simulador solar  
 Archivo fotográfico CIO

## | ¿ POR QUÉ IMPORTA ?

La OyF es una tecnología habilitadora, es decir, desarrolla componentes básicas o tecnologías que permiten el desarrollo de otras tecnologías que incrementan el impacto en el usuario final. Las componentes básicas tuvieron un valor de mercado de \$ 182 billones de dólares en 2014 de acuerdo a SPIE (the international society for optics and photonics) y se estima un crecimiento mayor al 12% para el 2018. Entre éstas se encuentran las componentes ópticas como lentes y espejos, LEDs, láseres, filtros, rejillas, fibras ópticas, materiales, entre otras. Estas componentes se utilizan para generar productos como: lámparas, cámaras, pantallas, láseres, procesos de manufactura, sistemas de inspección, entre otros. Estos a su vez generan productos que se utilizan en la vida cotidiana o en el sector productivo, entre ellos: sistemas de iluminación, sistemas

de imagen, realidad virtual y aumentada, sistemas de visión, teléfonos inteligentes, vehículos autónomos, etc. Estos productos permiten servicios para las personas, tales como: el internet, el comercio electrónico, los servicios de almacenamiento de información, entre otros.

Esta cadena de valor de las tecnologías basadas en OyF muestra su impacto en el usuario final, su relevancia en el desarrollo económico a nivel mundial y cómo contribuye a la solución de los problemas fundamentales que afronta la humanidad de acuerdo a la ONU. Esto explica por qué la UNESCO declaró el 2015 como el año internacional de la luz. Es un reconocimiento a la importancia de las tecnologías basadas en luz y de cómo éstas impactan la vida diaria.



Oscilación  
Archivo fotográfico C10

## ¿ QUÉ SE INVESTIGA ?

Las actividades científicas del CIO se concentran en cinco temas generales, que son sus áreas de investigación prioritarias: i) pruebas ópticas no destructivas, ii) ingeniería óptica, iii) fibras ópticas y láseres, iv) óptica no lineal, v) nanofotónica.

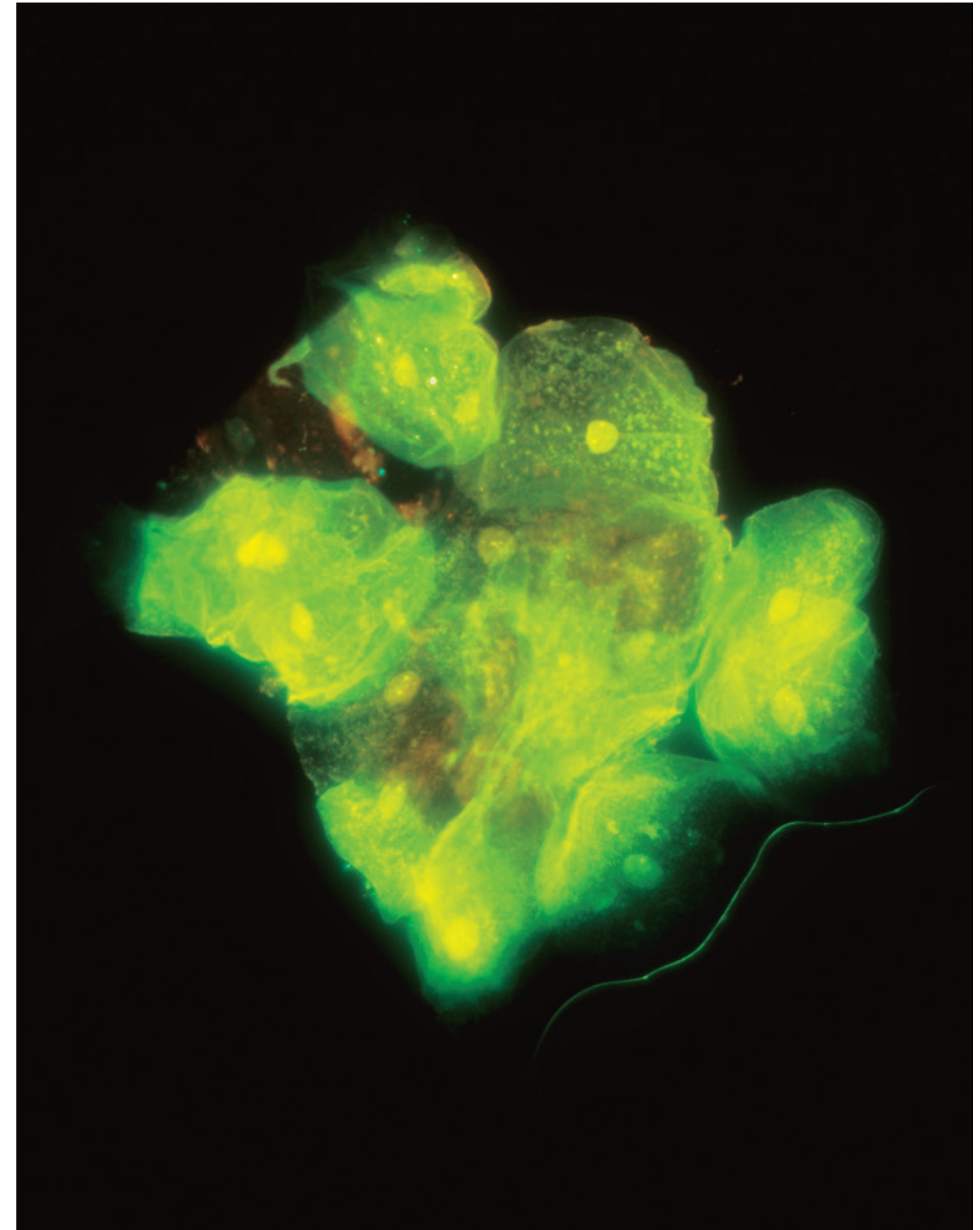
La investigación sobre *Pruebas ópticas no destructivas*, también conocida como metrología óptica, tiene por objeto desarrollar técnicas, modelos y sistemas basadas en la proyección de luz para estimar propiedades (forma, deformación, tensión, fracturas, densidad, temperatura, flujo volumétrico, etc.) de objetos. Con el uso de luz (láser o luz blanca) se detecta cualquier tipo de modificación de la estructura y composición del objeto bajo estudio sin dañarlo, de ahí que las pruebas ópticas no destructivas tengan un gran impacto en aplicaciones industriales.

La *Ingeniería óptica* tiene por finalidad el diseño, fabricación y prueba de sistemas basados en componentes ópticas. En el CIO esta investigación abarca desde el diseño de cámaras de aplicaciones oftálmicas, hasta el diseño de concentradores solares. Estas dos áreas de la óptica tienen gran tradición en el Centro y se fortalecen aún más para atender nuevas demandas en manufactura 4.0, visión robótica e inteligencia artificial.

El área de *Fibras ópticas y Láseres* está enfocada al diseño, fabricación y uso de fibras ópticas para el desarrollo de láseres de alta potencia en diferentes regiones espectrales, sensores para medir variables físicas, químicas y/o biológicas, entre otras.

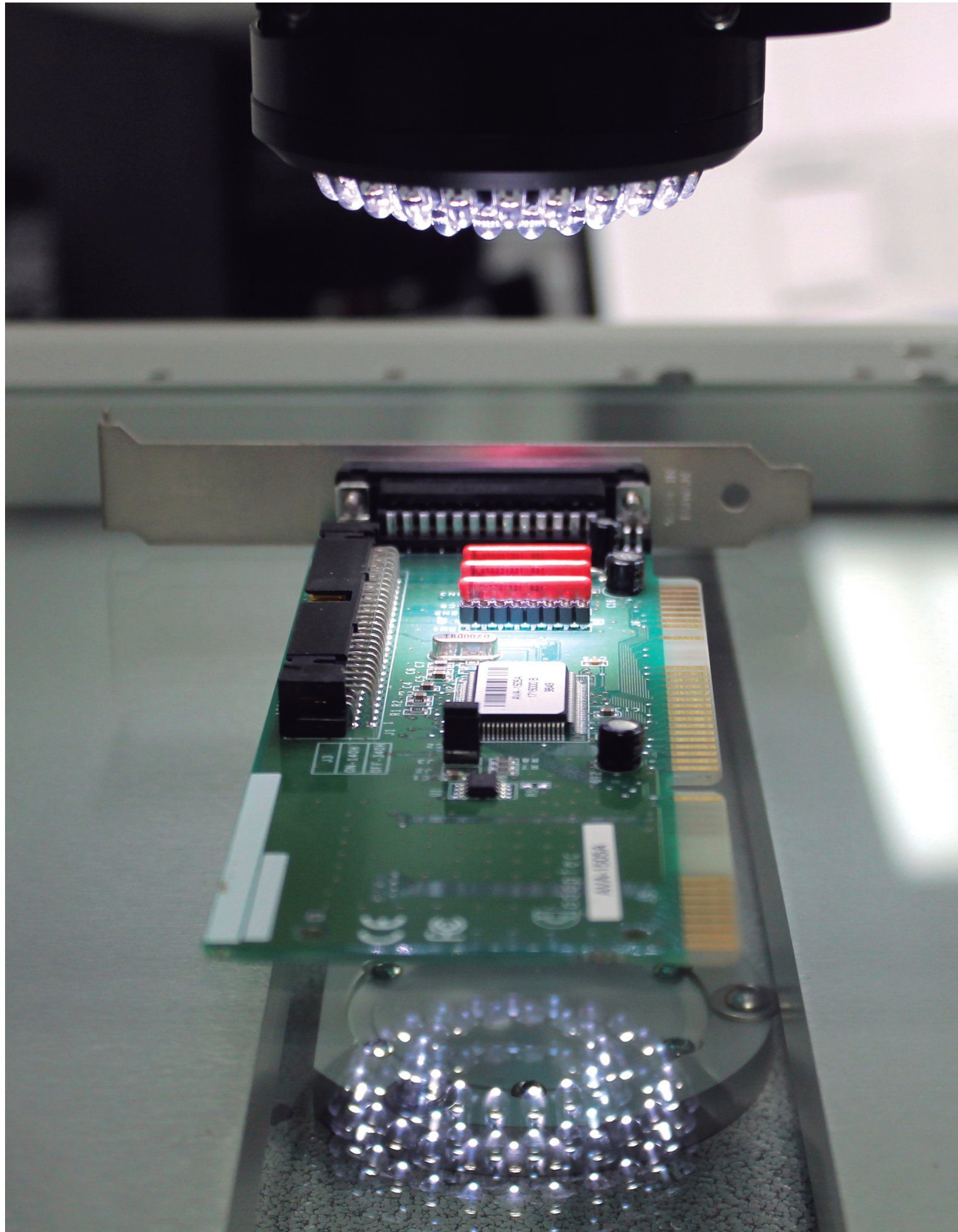
La *Óptica no lineal* es un área de investigación orientada al estudio y aplicación de fenómenos que surgen a partir de la interacción de luz láser con diversos medios y materiales a escala macroscópica, que incluyen: fibras ópticas, interfaces, cristales, vidrios, polímeros, entre otros, así como materiales a nivel nanométrico.

El área de *Nanofotónica* estudia a nivel fundamental los fenómenos de interacción de la luz con materiales nanométricos (cuyas dimensiones son del orden de una millonésima parte de un milímetro). Los efectos ópticos que emergen tanto de la óptica no lineal, como la nanofotónica abren toda una gama de ciencias multidisciplinarias y dan paso a desarrollos tecnológicos en el CIO que incluyen: la generación de THz para aplicaciones médicas e industriales, uso de nanopartículas para diagnóstico y terapia de enfermedades, desarrollo de celdas solares, protocolos de detección y cuantificación de sustancias, materiales luminiscentes eficientes para sistemas de iluminación y sistemas de señalización lumínica persistentes.



Células orales marcadas con puntos cuánticos  
Archivo fotográfico CIO

## ¿ CÓMO SE APROVECHA ?



Laboratorio de metrología  
Archivo fotográfico CIO

La tecnología en su búsqueda de resolver necesidades, es usuaria del conocimiento producido por la ciencia, en este sentido, la ciencia puede orientar la búsqueda del conocimiento hacia algún requerimiento de tecnología en específico. Así, en el CIO se tienen las capacidades de enfrentar esas necesidades y retos tecnológicos con soluciones novedosas.

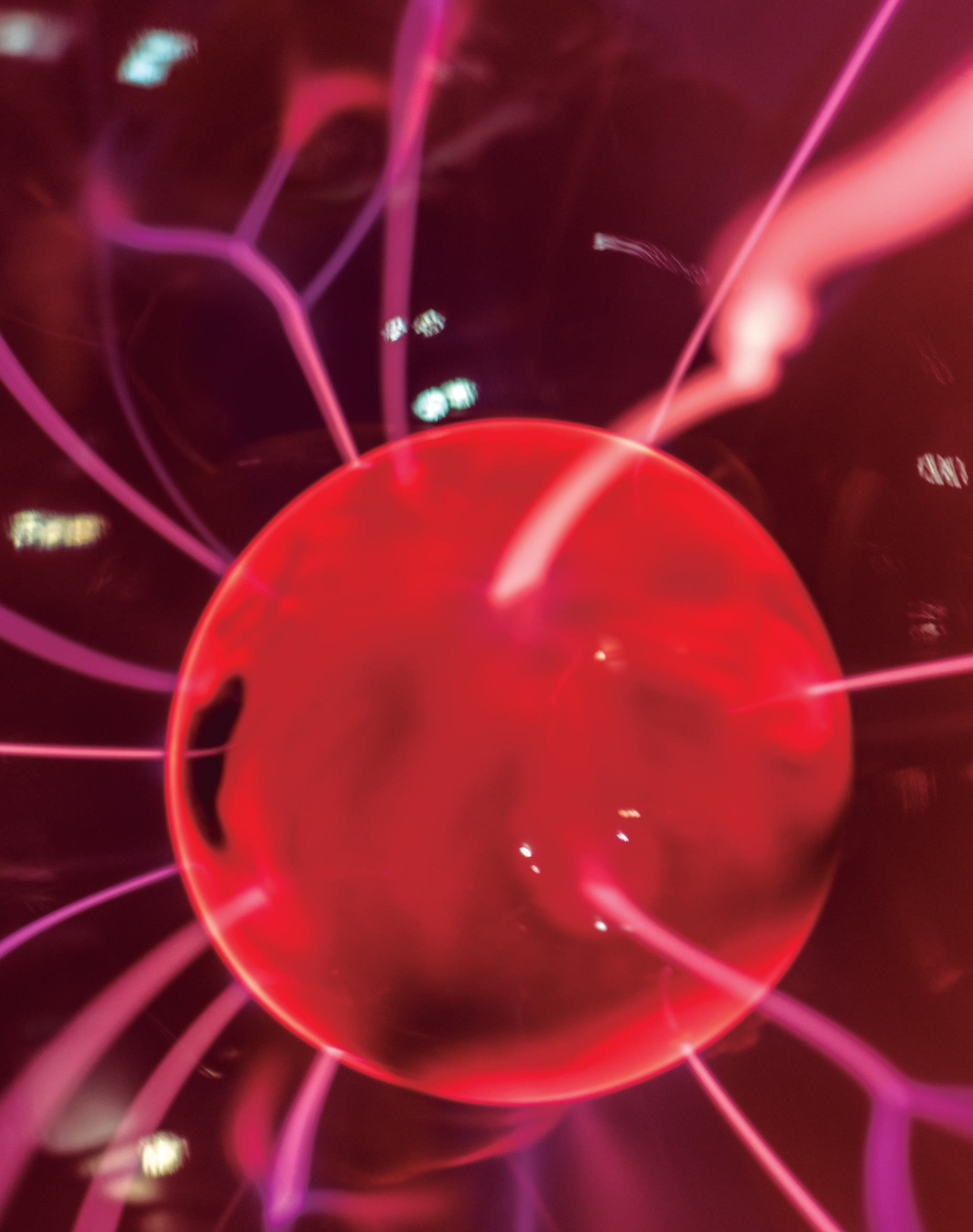
La OyF es un elemento que aporta valor agregado porque abona a que dichas soluciones sean más eficientes y posean ventajas competitivas. La Óptica brinda soluciones en diversidad de necesidades y problemáticas, algunas tan cotidianas y tan eficaces que pasan desapercibidas. En el Centro se desarrollan y dominan técnicas muy especializadas con las que se han generado resultados en temas tan variados como: instrumentación astronómica, aplicaciones láser, manufactura, diseño y fabricación de fibras ópticas, determinación de la composición de materiales, inspección de esfuerzos y fracturas, mediciones de la topografía de cuerpos con resoluciones de micrómetros, caracterización de fuentes de iluminación, visualización de fenómenos dinámicos, medición de color en condiciones poco comunes, entre otros.

Siendo que la disciplina central es la OyF, el CIO procura ofertar soluciones integrales, actividad que ha venido fortaleciendo mediante colaboraciones con otras instituciones de Investigación y Desarrollo. También se ha buscado que los proyectos de tecnología se den en un marco de cercanía y colaboración con los diferentes sectores: iniciativa privada, instituciones y gobierno; se le apoya con capacitación a la medida (láser en la industria, tecnología de fibras ópticas, etc.), servicios especializados, y asesorías de expertos. Los servicios que ofrece el Centro van desde los relacionados con sus laboratorios acreditados (la espectrocolorimetría, planos ópticos, fotometría, etc.) hasta aquellos totalmente desarrollados a la medida, contando con toda una variedad de laboratorios que realizan técnicas especializadas.

Las colaboraciones tecnológicas con los usuarios de esta tecnología, en particular las alianzas estratégicas y sociedades tecnológicas que producen una relación de largo plazo con resultados sinérgicos, permiten que el CIO enriquezca su experiencia y especialización y a sus aliados y socios entrar en una dinámica de mejora continua.



Pabellón de la luz  
Archivo fotográfico CIO

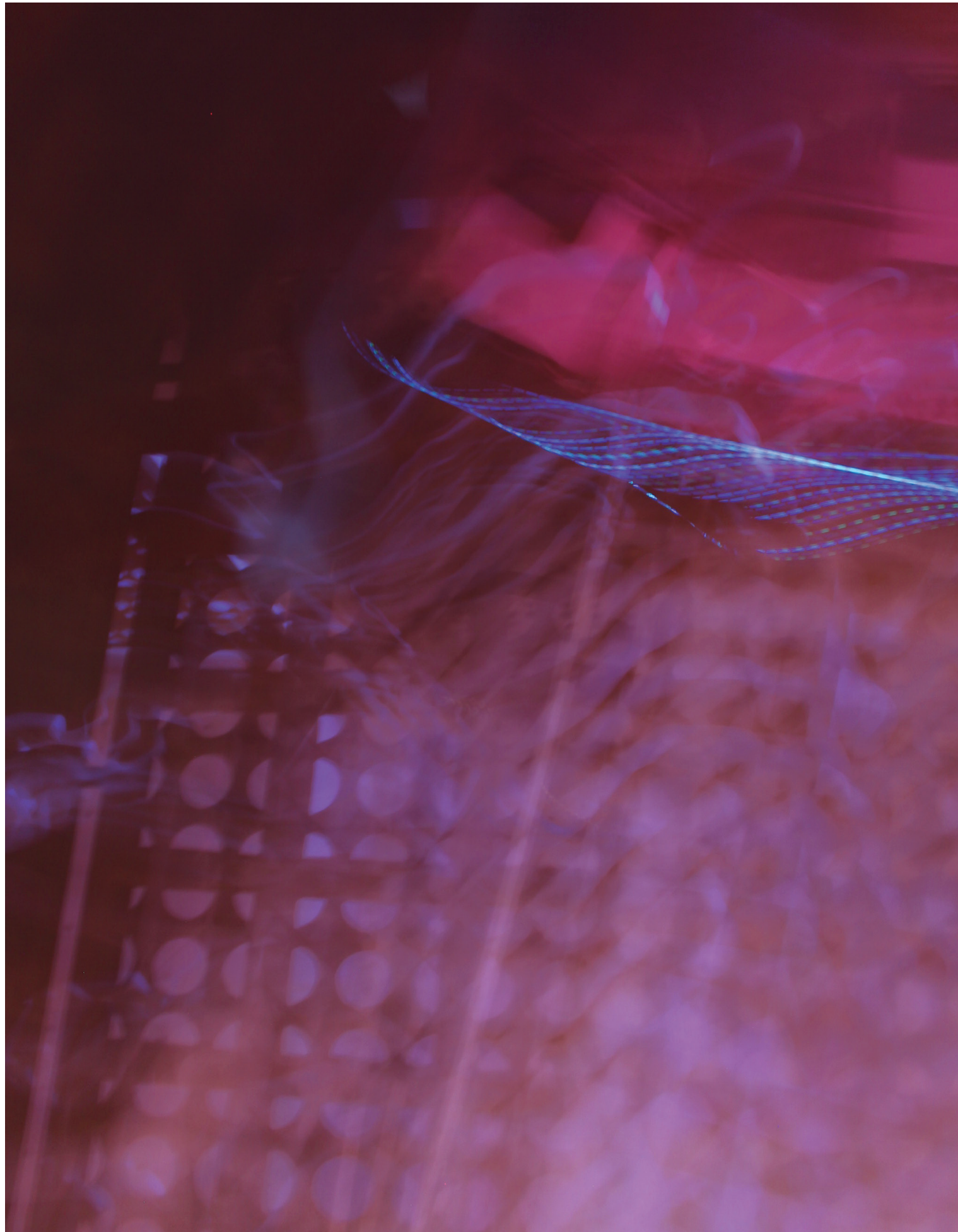


# EXPLORACIÓN

INTERACCIÓN Y APLICACIÓN DE LA LUZ

**Neurona**  
Roberto Tetlamatzin

## ESPECTRO DE LUZ



Fantasma  
Eleonor León

La luz visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir con menor o mayor sensibilidad de acuerdo a los bastones y conos que forman nuestro sistema de visión. Comprende longitudes de onda entre 380 nm a 780 nm. Cuando la luz interactúa con la materia, suceden una serie de fenómenos que nos permiten conocer características y propiedades de la luz incidente y del material con que interactúa.

El arco iris por ejemplo, se forma por la descomposición o dispersión de la luz del sol en los colores que la forman debido a la refracción que sufre la luz al atravesar pequeñas gotas de agua suspendidas en la atmósfera, que ocurre debido a que cada color viaja a una velocidad diferente. El azul del cielo es causado por esparcimiento de la luz azul, ocasionada por las moléculas o partículas muy pequeñas presentes en la atmósfera; al amanecer o atardecer la luz atraviesa una mayor cantidad de atmósfera por lo que se esparce más luz azul que no llega a nuestros ojos, dejando pasar luz amarilla o roja que se esparce por la presencia de polvo o vapor de agua, dándole a la atmósfera el típico color amarillo-rojo del atardecer. La luz se refleja, esparce y se transmite a través de una superficie lo que permite la for-

mación de imágenes con las que podemos explicar los fenómenos que vemos a nuestro alrededor.

La luz reflejada, transmitida o emitida cambia al interactuar con la materia, con los átomos o moléculas que la forman y a partir de ello podemos conocer características de ese material. El estudio de esa interacción da lugar a lo que se conoce como espectroscopía y puede ser de absorción, emisión, inelástica que se conoce como espectroscopía Raman, o elástica conservando su energía. La espectroscopía es ampliamente utilizada en varias áreas del conocimiento y puede ocurrir con radiación de todo el espectro.

En el CIO se implementan diferentes tipos de espectroscopía, denominadas de absorción, emisión, Raman, infrarroja, terahertz y se analizan las señales obtenidas en diferentes aplicaciones que incluyen biomedicina, alimentos, caracterización de materiales, entre otras. Se desarrolla la instrumentación necesaria para su implementación en situaciones prácticas fuera de laboratorio. Se usa esta tecnología para caracterizar nuevos materiales que luego pueden aplicarse en el diseño de dispositivos fotónicos como por ejemplo los LED, celdas solares, diodos láser, entre otros.



Arcoíris  
High Quality wallpaper

## INSTRUMENTOS PARA ASTRONOMÍA

Gracias a la Óptica es posible diseñar y construir instrumentos que pueden ser empleados para la observación y la investigación astronómica. A partir del momento en que Galileo Galilei utilizó el primer telescopio para observar a Júpiter y a otros objetos en el cielo, se estableció un vínculo entre la Óptica y la Astronomía que permanece hasta la fecha. Derivado de esto, la ciencia y la técnica disponen ahora de diversos instrumentos muy valiosos que permiten analizar la luz que nos llega de las estrellas y demás objetos celestes, descubrir muchas de sus características y avanzar en el conocimiento del universo. Entre los instrumentos desarrollados se encuentran: los espectrómetros, los radiómetros y una gran variedad de telescopios.

La instrumentación astronómica actual emplea técnicas de diseño y manufactura con un alto nivel de especialización. Por

esta razón, en el CIO se han utilizado nuevas prácticas de fabricación de elementos ópticos, tales como la producción de lentes y otros componentes con superficies no esféricas (asféricas) que tienen un mejor desempeño y el diseño y la aplicación de recubrimientos ópticos muy delgados en múltiples capas para optimizar el funcionamiento de cada elemento.

También se han producido instrumentos astronómicos de una gran precisión en su construcción, entre los que se encuentran: un telescopio de 60 cm para la *Universidad de Guadalajara* y tres espectrógrafos para el *Gran Telescopio Canarias* en España, con el que se podrá analizar la débil luz que se recibe de los objetos astronómicos. Dicho telescopio tiene un espejo primario de 10.4 metros de diámetro y se encuentra entre los telescopios ópticos más grandes del mundo.



Satélite  
Roberto Tetlamatzin

## INGENIERÍA DE SISTEMAS ÓPTICOS

Un sistema óptico está formado por lentes y otros elementos que en su conjunto permiten controlar de forma precisa la luz que pasa a través de ellos. El diseño de estos sistemas ha hecho posible la fabricación de dispositivos de gran importancia práctica, científica y tecnológica, entre los que se encuentran los anteojos para corregir problemas visuales, las cámaras fotográficas y de video, los microscopios, los telescopios, entre otros. Hay sistemas ópticos en los faros de los automóviles, en los proyectores de las salas de cine, en los reproductores de DVDs y en muchos otros lados.

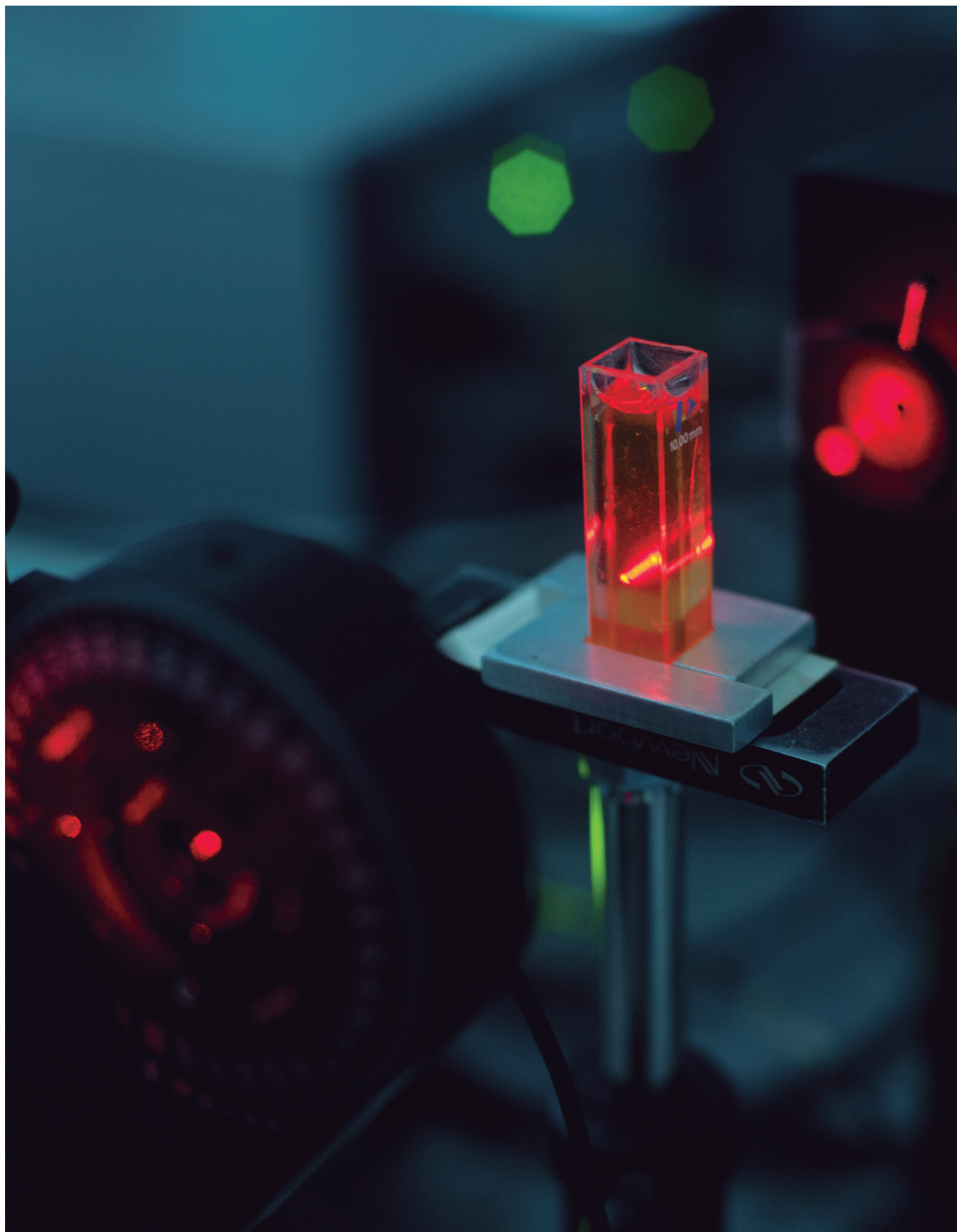
Las herramientas básicas para el diseño de sistemas ópticos son las leyes de reflexión y de refracción de la luz, la geometría y las computadoras que facilitan los cálculos. Aunque a primera vista el diseño óptico pareciera una tarea sencilla, puede llegar a ser complicado. Hoy en día, se sigue llevando a cabo investigación para

desarrollar nuevas técnicas que mejoren el desempeño de los sistemas ópticos. Su calidad es cada vez mayor debido al empleo de formas no convencionales para las superficies de las lentes y los espejos, y al uso de nuevos materiales para producirlos. Se siguen desarrollando sistemas ópticos sumamente elaborados para diferentes aplicaciones, tales como la investigación científica y el diagnóstico médico de diferentes enfermedades.

En el CIO se diseñan componentes y sistemas ópticos que se utilizan en el desarrollo de dispositivos y equipos especializados para aplicaciones médicas, en particular en salud visual e instrumentación científica tales como el diseño y fabricación de un dispositivo muy especializado que permite analizar con gran detalle la luz de las estrellas y que forma parte de los instrumentos científicos de uno de los telescopios más grandes del mundo, ubicado en las Islas Canarias, en España.



Producción  
Roberto Tetlamatzin



## | POLARIZACIÓN

La polarización es una propiedad de la luz que es útil para estudiar materiales de cualquier tamaño, forma y composición física, química o biológica, tanto en nuestro planeta, como a nivel astronómico.

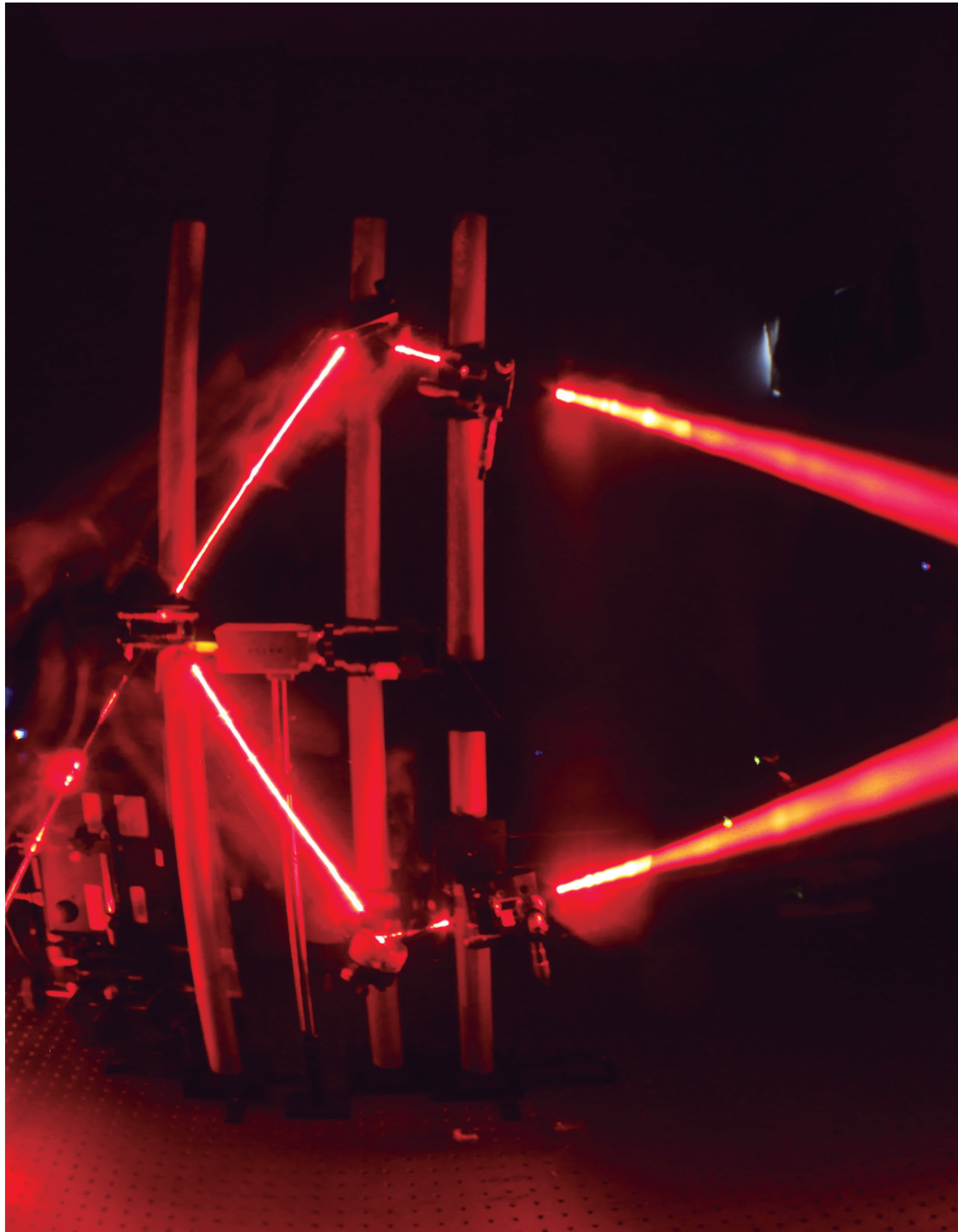
Es la herramienta apropiada para estudiar cualquier objeto, cuya respuesta dependa del comportamiento de la orientación del campo electromagnético con que se perturbe, de allí que la polarización esté presente en prácticamente todas las técnicas ópticas o fotónicas que existen. La metodología consiste en iluminar una muestra mediante un haz de luz con polarización conocida, se analiza en haz de luz modificado después de la interacción y se propone un modelo físico que explique dichos cambios.

El desarrollo y aplicación de los fundamentos de la luz polarizada han dado ori-

gen a una serie de técnicas que han impactado en las áreas de comunicaciones, salud, alimentos, energía y manufactura.

El fenómeno de la polarización de la luz ocurre de manera natural al interactuar la luz solar con la atmósfera y con todo objeto que ilumina e impacta a muchas formas de vida en la Tierra, por ejemplo a los seres polarotáticos que la utilizan como sistema de navegación y localización y que se encuentran en el agua, tierra o aire. Por su importante labor de polinización, las abejas es un ejemplo de ser polarotático.

En el CIO se desarrolla investigación en el área de la polarización, es decir, nuevas formulaciones y aplicaciones de formulismos para el estudio que van desde la autenticación de la miel hasta aplicaciones cuánticas.



Pruebas ópticas y mecánicas  
 Archivo fotográfico CIO

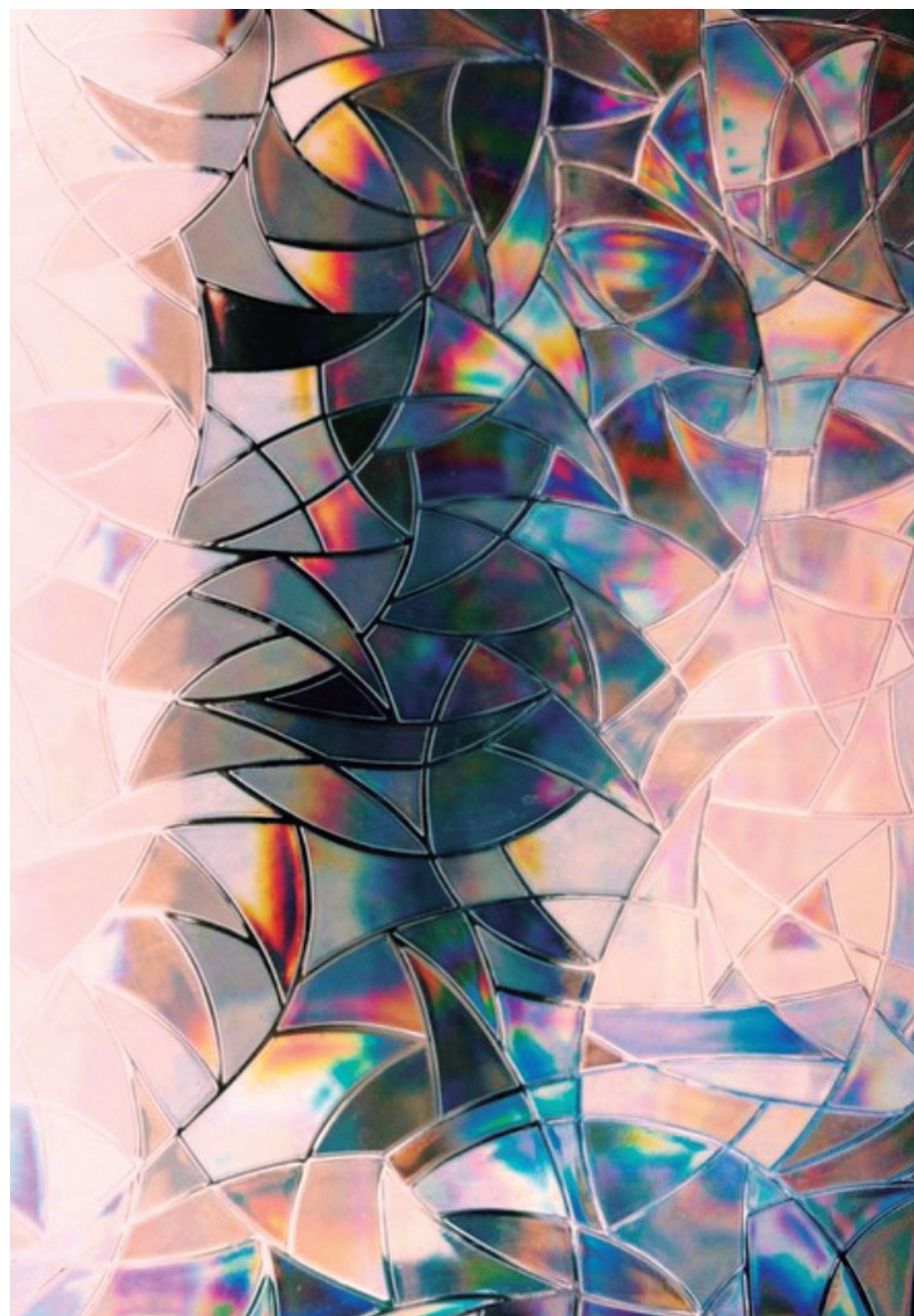
## MEDICIONES CON LUZ

Hoy en día la mayoría de las industrias que compiten internacionalmente, usan como parte fundamental en sus procesos de diseño, manufactura, innovación y control de calidad a la metrología en todas sus manifestaciones, ya que ésta representa una parte primordial en el establecimiento de estándares de medición y aún más, es parte del aseguramiento de la propiedad industrial de un país. La metrología es lo que da cabida a procesos de manufactura de calidad y de clase mundial.

Actualmente los métodos de medición más precisos son aquellos que utilizan técnicas ópticas, en particular aquellos que usan a la luz como una herramienta de medición. Dentro de la metrología óptica destacan las técnicas para realizar pruebas ópticas no-destructivas (POND), o no invasivas, que están basadas y se han desarrollado a partir de los experimentos de interferometría de Thomas Young en 1801. Básicamente estas prue-

bas consisten en iluminar un objeto del cual se quiere extraer información sobre su forma y/o sobre alteraciones físicas y mecánicas que sufre, debido a agentes externos que cambian sus condiciones originales. Las POND son capaces de medir estas alteraciones en objetos que van desde algunos metros hasta objetos de tamaño nanométrico, con un rango de mediciones de parámetros físicos (por ejemplo desplazamientos y/o deformaciones) de milímetros hasta nanómetros.

Desde la década de los 90s en el CIO se investiga, desarrolla e innova en diversas POND, siendo reconocidos mundialmente como generadores de conocimiento y tecnología en esta disciplina, con colaboraciones con empresas regionales, nacionales e internacionales, por ejemplo en las áreas de generación de energía, automotriz, aeroespacial, manufacturera (enseres domésticos entre otros), de la piel y el calzado y en años recientes en el sector de la Biomedicina.



Escamas  
Eleonor León



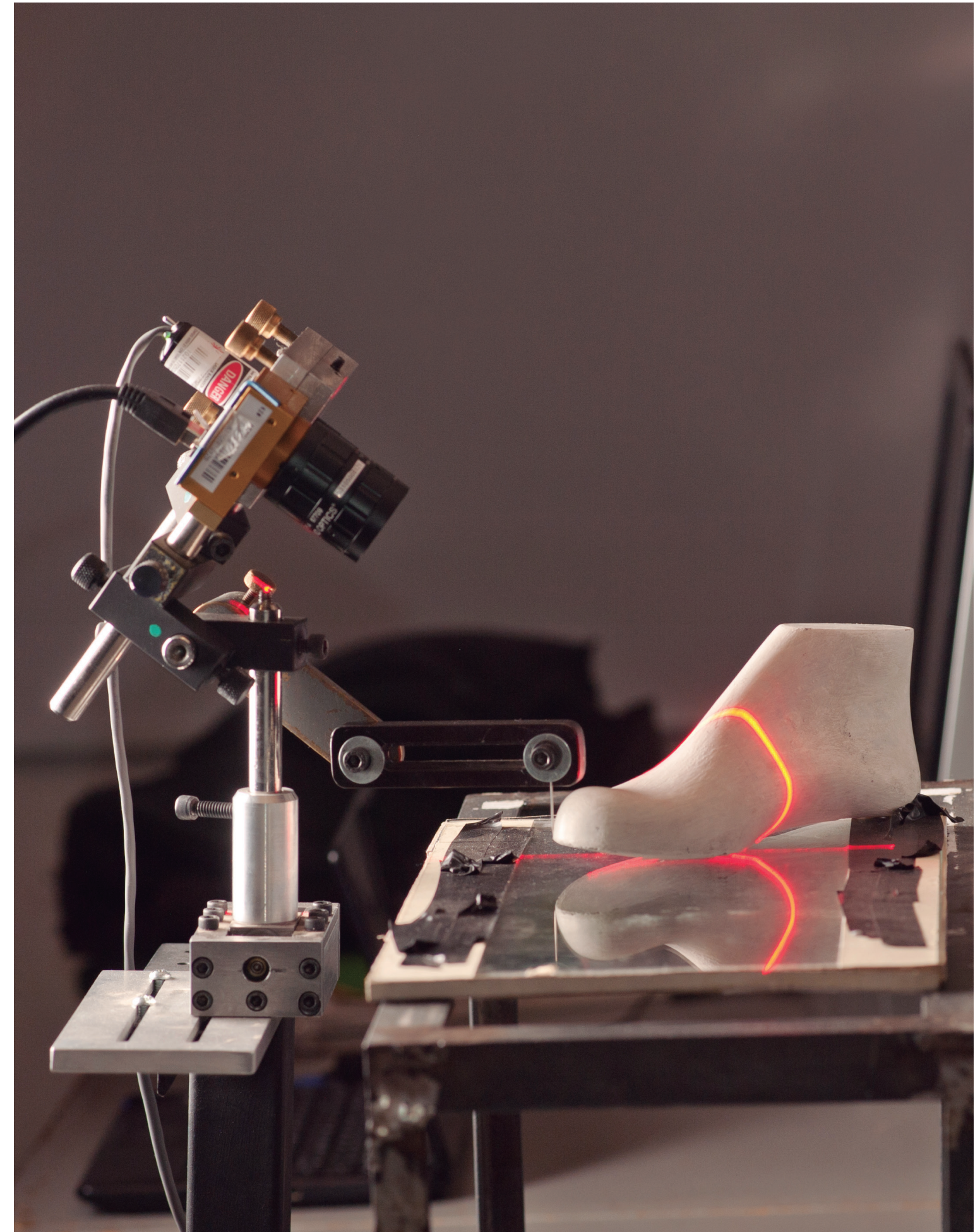
Dulce luz

## PROCESADO DIGITAL DE SEÑALES

Gracias a la tecnología es posible recuperar señales de gran interés procedentes de la naturaleza, de una máquina o del propio cuerpo humano, por ejemplo, el latido del corazón produce una señal eléctrica que es posible detectar para conocer su estado de salud. El procesamiento digital de señales es un conjunto de técnicas que permiten tratar las señales para que la información que contienen pueda ser utilizada para un determinado propósito, como: eliminar el ruido a una señal de voz, mejorar los detalles de una imagen, etc. El procesamiento digital de señales es utilizado en seguridad, en el sector salud y en la industria; por ejemplo, se emplea para el reconocimiento de voz, de imágenes y huellas dactilares; se usa para mejorar el contraste de las imágenes del cuerpo y así facilitar el diagnóstico a los médicos; en la industria se

utiliza en la visión robótica y el control de procesos.

En el CIO se desarrollan algoritmos computacionales que facilitan la extracción de información de interés en las señales y se utiliza principalmente para procesar imágenes con aplicaciones industriales y médicas. Por nombrar sólo algunos ejemplos, se ha utilizado para estudiar el funcionamiento del tímpano del oído, con el objetivo de contribuir al diagnóstico y tratamiento de ciertos padecimientos auditivos; para estudiar con gran detalle el vuelo de las mariposas, cuyo entendimiento tiene aplicaciones en la tecnología de vuelo; para optimizar el funcionamiento de quemadores de estufas y el enfriamiento de refrigeradores estudiando el flujo de aire en su interior, lo que aumenta su seguridad y eficiencia.



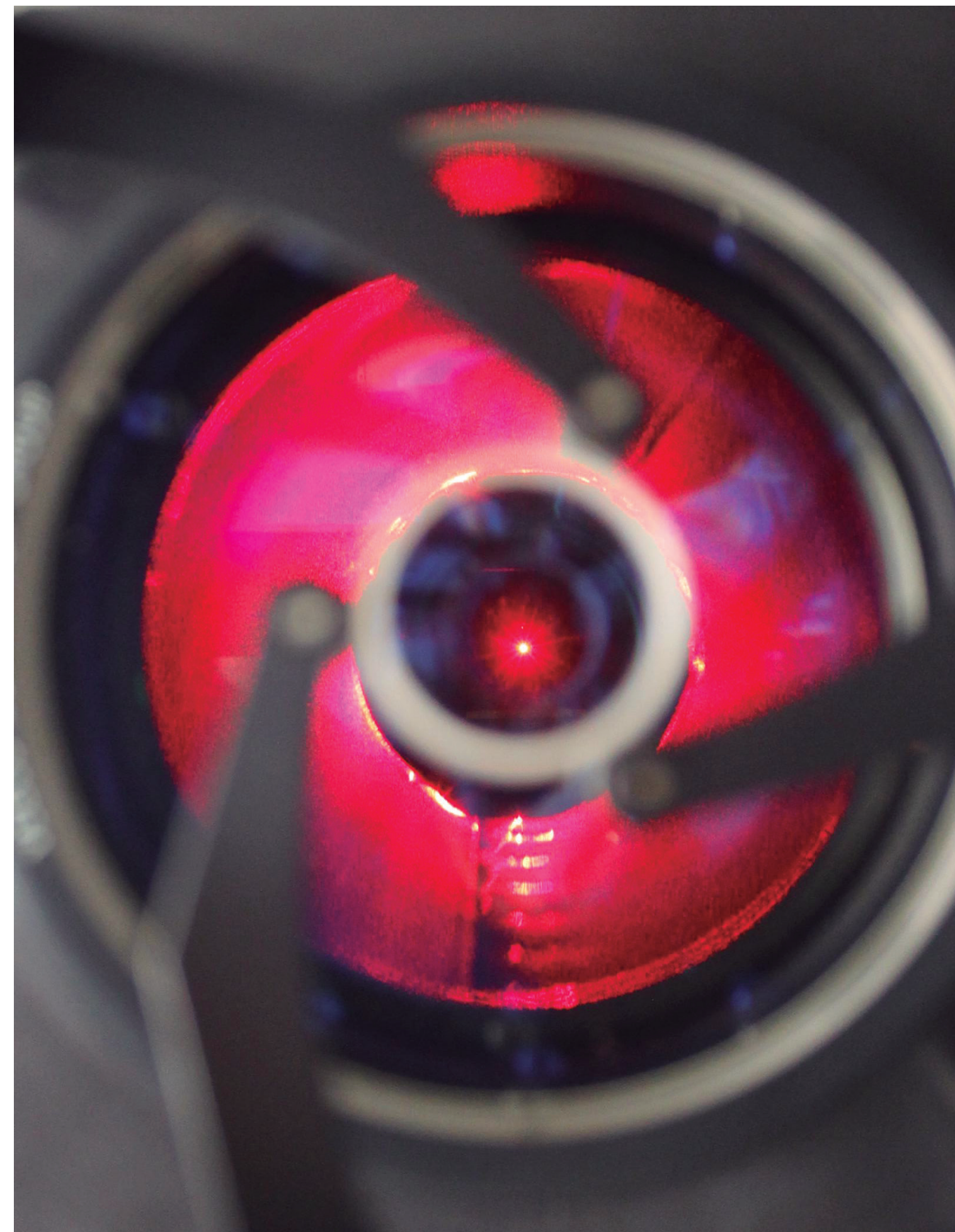
Laboratorio de procesamiento digital de imágenes  
 Archivo fotográfico CIO

## VISIÓN ROBÓTICA

Las máquinas provistas de visión robótica son capaces de reconocer formas con colores y objetos y de tomar decisiones con base a ello. En los últimos años, la visión robótica ha avanzado mucho, hoy en día existen plantas industriales completamente controladas por máquinas inteligentes que utilizan la visión robótica para llevar a cabo de forma eficiente tareas repetitivas y tomar decisiones sin intervención humana; esta capacidad otorga a las empresas una enorme ventaja competitiva. Por ejemplo, en la industria automotriz los sistemas de visión artificial para el control de calidad juegan un papel muy destacado ya que permiten inspeccionar la presencia o ausencia de piezas en los ensambles y su correcta colocación en el automóvil. Otra rama im-

portante de la visión robótica hace uso de la tecnología GPS para el guiado y control de vehículos, como por ejemplo los llamados autos autónomos (sin conductor) y los vehículos aeroespaciales.

En el CIO se llevan a cabo trabajos en el campo de la visión robótica que han dado respuesta a varios problemas de interés para la industria, entre los que pueden mencionarse: la obtención de la forma tridimensional de piezas automotrices y la clasificación y selección de frutas y verduras con base a su color y tamaño. También se ha utilizado esta tecnología en la preservación del patrimonio cultural al digitalizar y crear réplicas de piezas arqueológicas.



WYKO  
Archivo fotográfico CIO



Réplica de la máscara de Pakal en 3D  
 Archivo fotográfico CIO

## IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D o manufactura aditiva es una tecnología que permite la realización de prototipos sólidos a partir de diseños hechos por computadora y que está encontrando múltiples aplicaciones en la industria.

El uso de la impresión 3D tiene la ventaja de poder determinar errores en la etapa de diseño, reducir los costos y los tiempos de desarrollo y agilizar la incorporación del producto final en el sector industrial.

Las aplicaciones más frecuentes de la impresión 3D o manufactura aditiva se encuentran en: el diseño mecánico, la industria automotriz, el sector aeronáutico, la arqueología, la industria del cuero y calzado, del entrenamiento, la fabricación de mobiliario y en el área de la salud, entre otras.

Hoy en día la impresión 3D se emplea desde la construcción de casas y componentes para la industria, hasta la reproducción de órganos como el hígado o el

corazón, con lo que se pueden determinar las afecciones con mayor precisión antes de una intervención quirúrgica. La impresión 3D o manufactura aditiva hace uso de la tecnología láser y se espera que genere una revolución en los procesos de fabricación en el sector productivo.

El CIO tiene la capacidad de imprimir objetos 3D con alta calidad, lo que da como resultado piezas bien definidas y nítidas, con el color preciso que se desea en ellas en un solo paso y en poco tiempo. Para lograrlo, se combina tecnología de impresión 3D con la medición de la coordenada de color pixel por pixel. Por ejemplo, por solicitud del *Museo Nacional de Antropología e Historia* y del *Instituto Nacional de Arte e Historia* (INAH), esta herramienta se utilizó para analizar y generar, una réplica tridimensional del ajuar y de la máscara que se encontraron en la tumba del rey maya Pakal en la zona arqueológica de Palenque, en Chiapas, sin la necesidad de tocar las piezas arqueológicas y provocarles algún daño.



Atardecer  
Roberto Tetlamatzin

## ENERGÍA SOLAR

La energía solar es el conjunto de radiaciones que provienen del Sol en forma de luz visible e invisible para nuestros ojos, como la luz ultravioleta y la infrarroja. Este recurso constituye una fuente de energía renovable muy abundante: en una hora incide sobre la superficie terrestre una cantidad de energía mayor que la que consume la población mundial en todo un año. Actualmente, se han desarrollado una gran variedad de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, tales como: los paneles solares que convierten directamente la luz en electricidad, los concentradores solares que generan calor de proceso a partir del cual pueden generar electricidad, los calentadores solares de agua, la refrigeración solar, la fotosíntesis artificial, entre muchas otras. La industria incorpora cada vez más estas tecnologías para disminuir el impacto ambiental, mejorar su eficiencia y reducir costos en el consumo de energía.

La investigación que se realiza en el CIO para el aprovechamiento de la energía solar consiste principalmente en el desarrollo de celdas solares novedosas, orgánicas, puntos cuánticos inorgánicos y de materiales híbridos, para generar electricidad con una alta eficiencia, así como el diseño y análisis de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar térmica para producir y concentrar una gran cantidad de calor. En el CIO se cuenta con la capacidad de llevar a cabo estudios de evaluación de la energía solar que recibe una localidad, para diseñar concentradores solares, implementar sistemas automatizados para el seguimiento del Sol, así como para la fabricación de celdas solares. Como ejemplos de desarrollos recientes se pueden mencionar: la fabricación de módulos de celdas solares con tecnología propia y la colaboración con la compañía Inventive Power para el mejoramiento de la eficiencia de un concentrador solar de canal parabólico.



El final  
Archivo fotográfico CIO

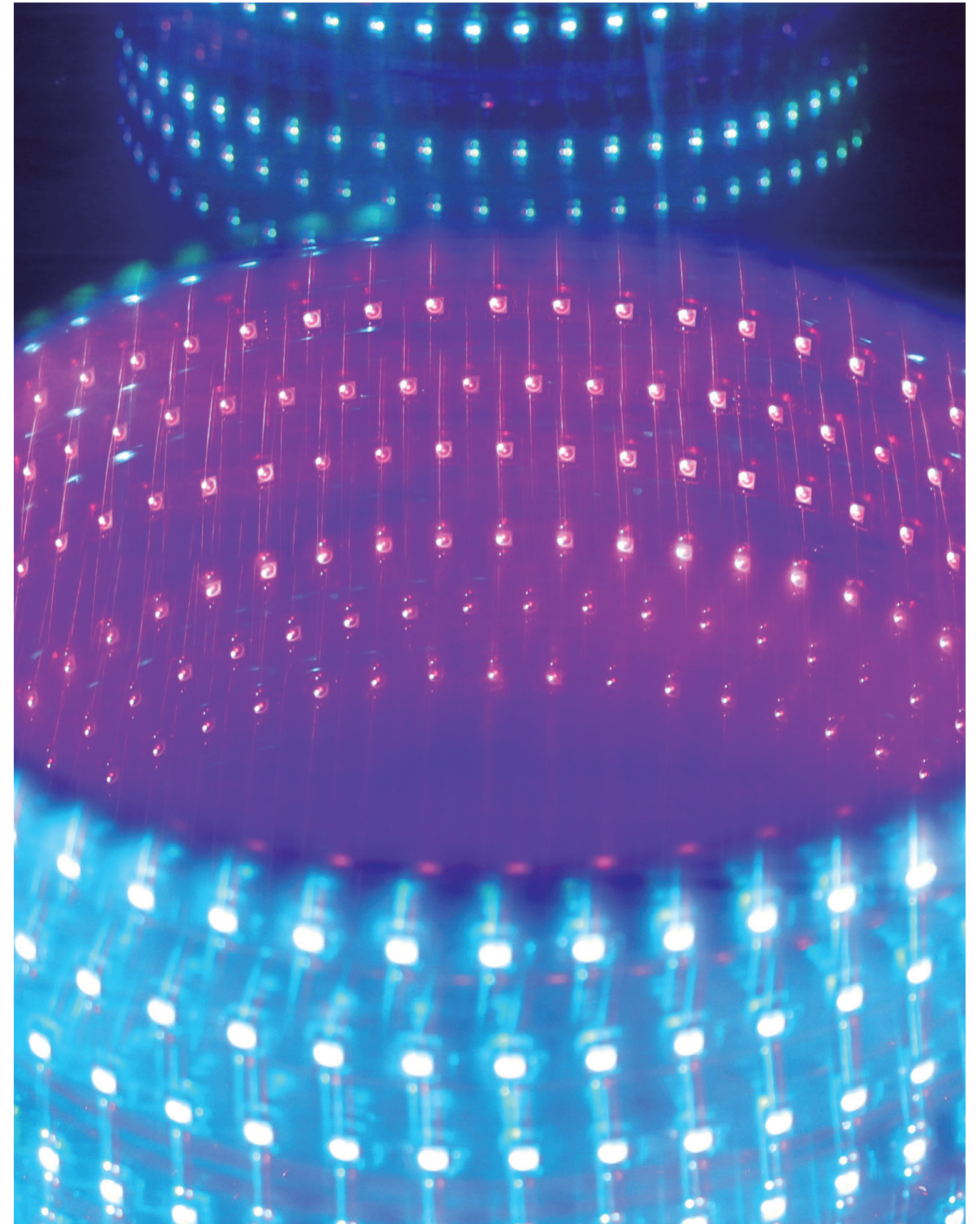
## FUENTES DE ILUMINACIÓN LED

La iluminación de estado sólido es un tipo de iluminación en el que se utilizan diodos emisores de luz comúnmente llamados LEDs y que tienen la ventaja de ser muy compactos, de bajo consumo energético y altamente eficientes lo que se traduce en un ahorro significativo en los costos de energía. Las luminarias que se construyen con este tipo de dispositivos son considerados como la próxima generación de fuentes de iluminación a nivel mundial, y ganan cada día más posición de mercado. Además, es posible agrupar los LEDs para formar luminarias con distintas geometrías o formas lo que le da mayor versatilidad. Hoy día, es posible encontrar este tipo de tecnología en nuestra vida diaria en aplicaciones tales como automotriz, residencial, iluminación pública, decoración, pantallas, semáforos, etc.

El beneficio global que proporciona este tipo de iluminación es tan amplio que

algunas ciudades enteras están reemplazando sus sistemas de iluminación tradicionales basados en focos incandescentes y lámparas fluorescentes por luminarias de estado sólido.

En el CIO se realiza investigación para el desarrollo de nuevos materiales llamados fósforos para el desarrollo de fuentes de iluminación de estado sólido. Estos materiales se usan en combinación con fuentes LED con emisión de luz azul, que combinados con la emisión de los fósforos producen luz blanca. Se estudian nuevos materiales para la fabricación de LED y diodos láser (LD) tanto orgánicos como inorgánicos. Se diseñan prototipos de luminarias a base de LED y se caracterizan sus propiedades como brillantez, color y eficiencia. Recientemente, se han desarrollado proyectos con el sector productivo para incorporar este tipo de materiales en diferentes aplicaciones, en particular para el sector automotriz.

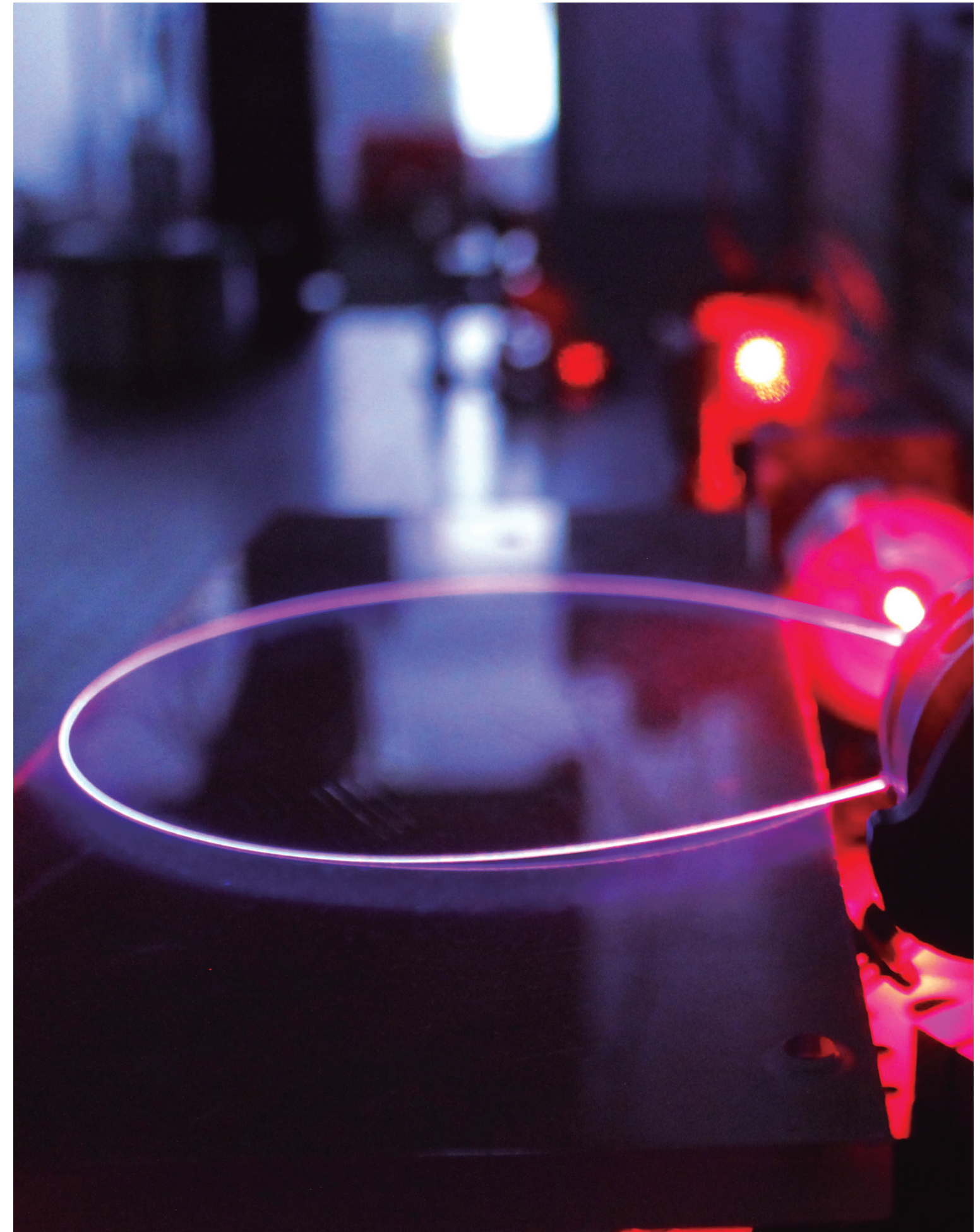


Infinito  
Archivo fotográfico CIO

## FIBRAS ÓPTICAS

Las fibras ópticas son hilos muy delgados hechos de vidrio o de plástico dentro de los cuales se conduce la luz de forma muy práctica y eficiente. Algunas fibras son tan delgadas como un cabello y pueden medir varios kilómetros de longitud. La luz transportada por ellas se emplea para llevar una gran cantidad de información a través de grandes distancias y a la máxima velocidad, lo que ha hecho de las fibras ópticas una pieza fundamental de los sistemas de comunicación modernos, es lo que hace posible el internet y con ello la transmisión de grandes volúmenes de información de voz y datos. Hoy en día, el internet como lo conocemos no sería posible sin la existencia de las fibras ópticas. Pero sus aplicaciones son muy variadas; por ejemplo, gracias a instrumentos basados en fibras ópticas los médicos pueden hacer diagnósticos más rápidos y cirugías menos invasivas; a nivel industrial, por medio de láseres basados en fibras ópticas se puede cortar, perforar y soldar materiales como madera, cuero, plástico y metales con gran precisión.

En el CIO se diseñan y producen fibras ópticas especiales que permiten el desarrollo de láseres para procesar diferentes tipos de materiales y para maquinar piezas con detalles muy pequeños, micro maquinado, que no pueden obtenerse mediante el maquinado convencional. En cuanto a las aplicaciones médicas, las investigaciones han permitido aportar nuevo conocimiento e implementar láseres que pueden ser usados para cortar tejidos, bisturí óptico, para eliminar cálculos en las vías urinarias, etc. Las fibras ópticas también se usan para desarrollar sensores que son dispositivos que nos permiten medir diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos. Un ejemplo de ellos son los sensores de fibra desarrollados para medir esfuerzos y deformaciones, especialmente útiles para vigilar de forma remota el estado de puentes y estructuras de gran tamaño, con lo que se pueden prevenir fallas.



Fibra óptica  
Archivo fotográfico CIO



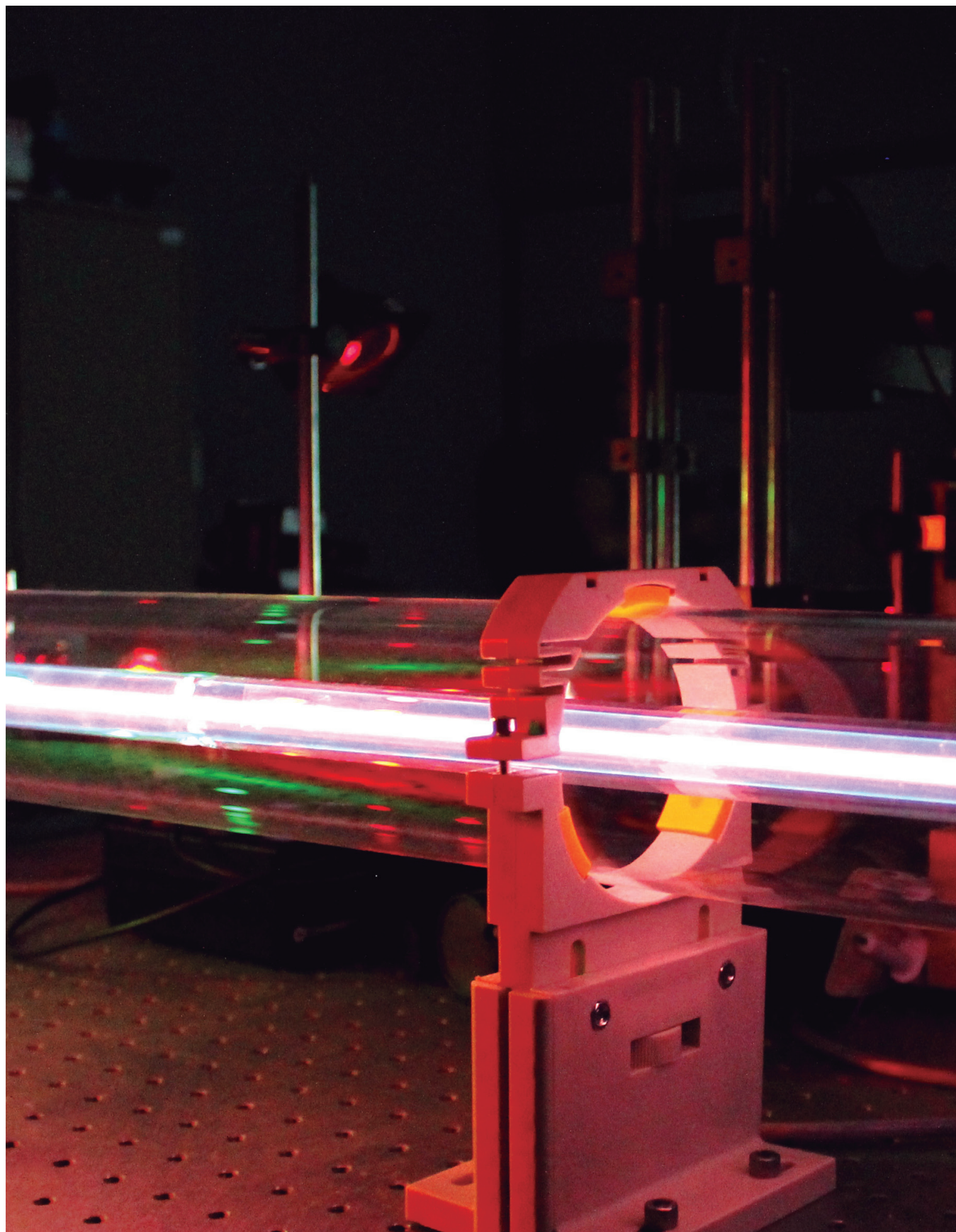
Laberinto  
Eleonor León

## SENSORES ÓPTICOS

Los sensores son dispositivos que permiten detectar cambios en el entorno; estos cambios pueden ser de muchos tipos, como por ejemplo: la presencia de un contaminante en una sustancia, la temperatura de un objeto, la velocidad de una pieza de máquina, etc. En realidad, el cuerpo humano posee una gran cantidad de sensores: unos le brindan información sobre el exterior (se conocen como los cinco sentidos) y otros le permiten monitorear el funcionamiento y estado de todas sus partes. Los sensores son también de gran importancia en todos los procesos industriales, en la robótica, en los automóviles, los aviones, la distribución de agua y combustibles, en la elaboración de alimentos, etc. El desarrollo de sensores más resistentes, precisos, económicos, compactos y que permitan medir otras variables es un campo de investigación de gran interés. Los sensores ópticos, es decir, que hacen uso de la luz para hacer la detección, ofrecen enormes ventajas

respecto a otro tipo de sensores, entre las que destacan las siguientes: miden muy rápido y sin tener que tocar la muestra que se desea medir, son precisos, compactos y no son afectados por interferencias eléctricas.

En el CIO se han desarrollado varias técnicas ópticas que pueden ser utilizadas en el diseño de sensores para el monitoreo de diferentes sustancias químicas en procesos de control de calidad, medición de esfuerzo, temperatura o de algunos agentes biológicos que el cuerpo humano produce como consecuencia de un determinado padecimiento, facilitando así el diagnóstico temprano de enfermedades. Además de ello, se diseñan y fabrican materiales moleculares y nanométricos que emiten luz bajo ciertas condiciones y que pueden emplearse también para la detección de sustancias químicas contaminantes, proteínas sobre expresadas en problemas de salud o de células cancerosas.



Helio - Neón  
 Archivo fotográfico CIO

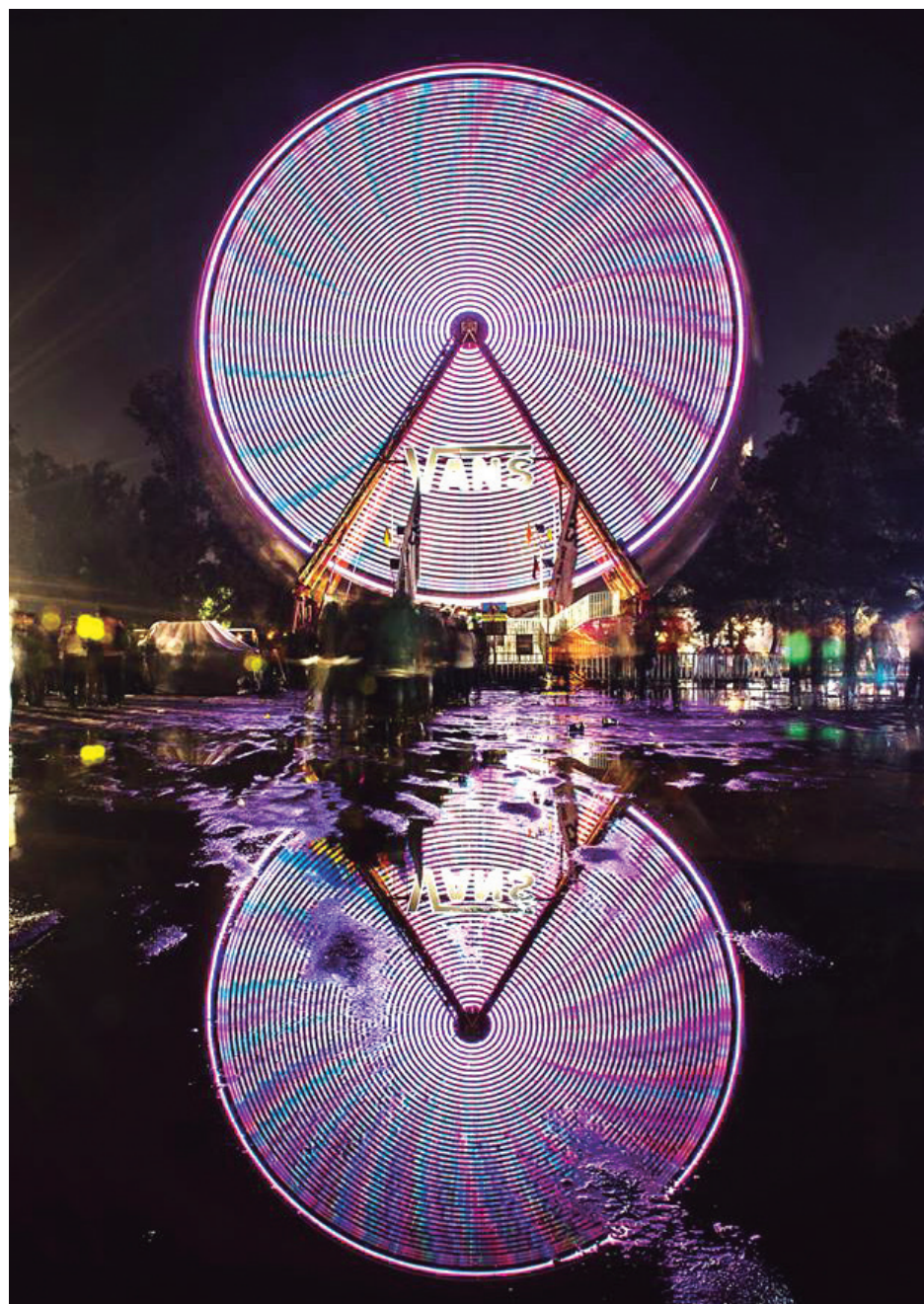
## LÁSERES

Un láser es un dispositivo que genera un haz de luz de un solo color o monocromática altamente direccional, como si fuera un rayo de luz que se propaga manteniendo un alta energía en un área muy pequeña de unos cuantos milímetros, al primero se le llama coherencia temporal y al segundo coherencia espacial. Los láseres pueden emitir una señal continua o pulsada, en este último caso la cantidad de energía es muy alta pero con una duración muy corta; ambos tipos de láseres se diseñan con emisión en el ultravioleta, la región visible y el cercano infrarrojo. Las aplicaciones son ilimitadas y se puede decir con certeza que la tecnología láser ha cambiado nuestra vida diaria.

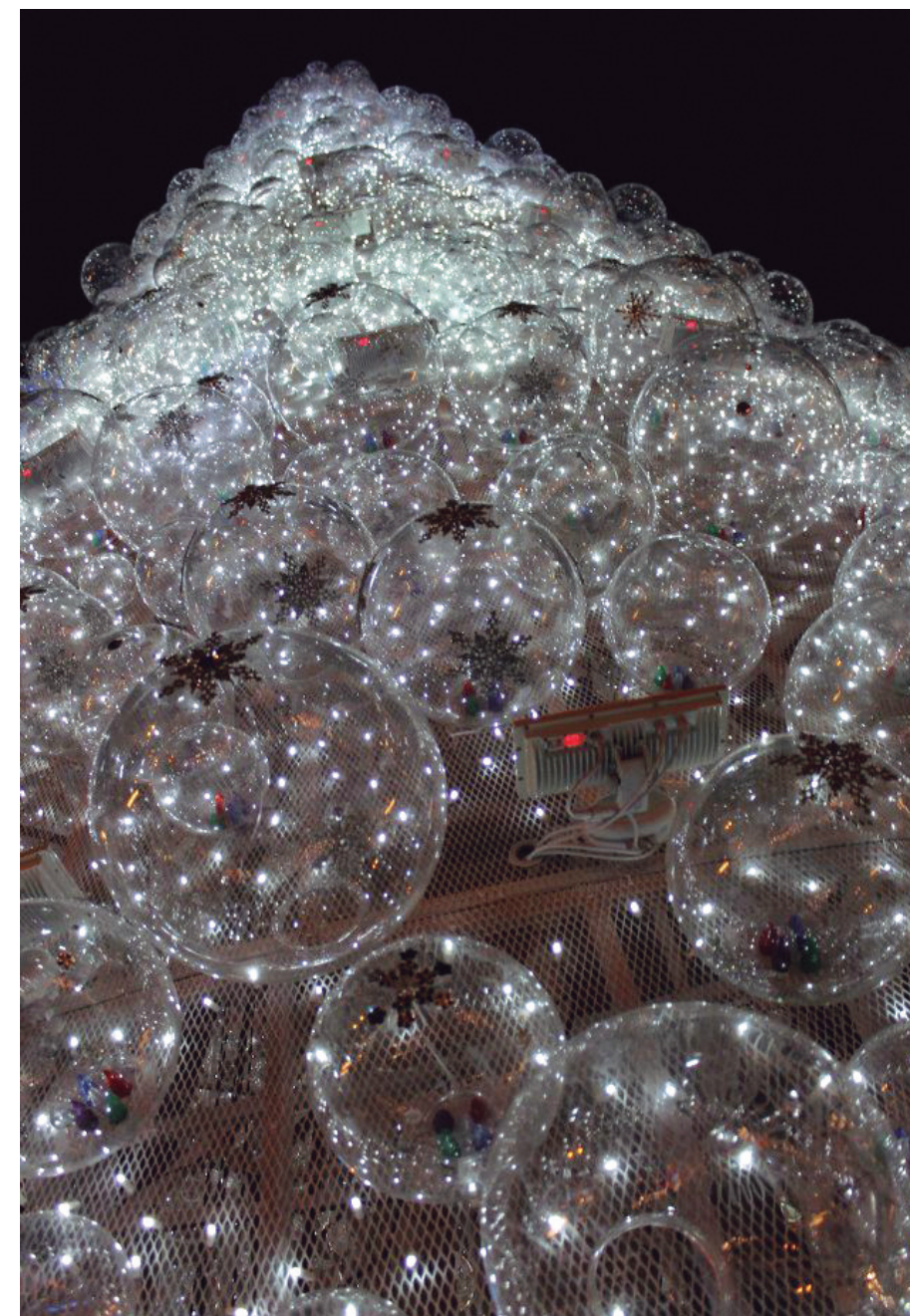
Los láseres juegan un papel muy importante en la industria donde se utiliza para cortar, soldar, maquinar e inclusive sintetizar materiales, lo que recientemente ha dado lugar a la impresión 3D o manufactura aditiva. También se usan en las aplicaciones médicas donde se utiliza como

un bisturí óptico de alta precisión. La luz láser se usa para transmitir información en forma más eficiente que las microondas. Se utiliza también para la lectura de discos compactos, en este caso se aprovecha el diámetro del haz que es más pequeño para longitudes de onda más cortas con lo que se puede almacenar más información, por eso se pasó de los CD (780 nm) a los DVD (650 nm) y luego a los discos de luz azul (Blue-ray, 405 nm). La luz láser es ampliamente utilizada en la industria militar, así como en la investigación científica para generar nuevo conocimiento de donde se deriva nuevas tecnologías.

En el CIO se desarrollan láseres de fibra óptica de alta potencia para aplicaciones industriales que incluyen corte, soldadura y marcado láser, así como dispositivos de menor potencia para aplicaciones médicas. También se estudian láseres con características especiales para aplicaciones en comunicaciones, así como láseres de fibra con emisión en la región visible.



La fortuna  
Archivo fotográfico CIO



Esferas  
Eleonor León

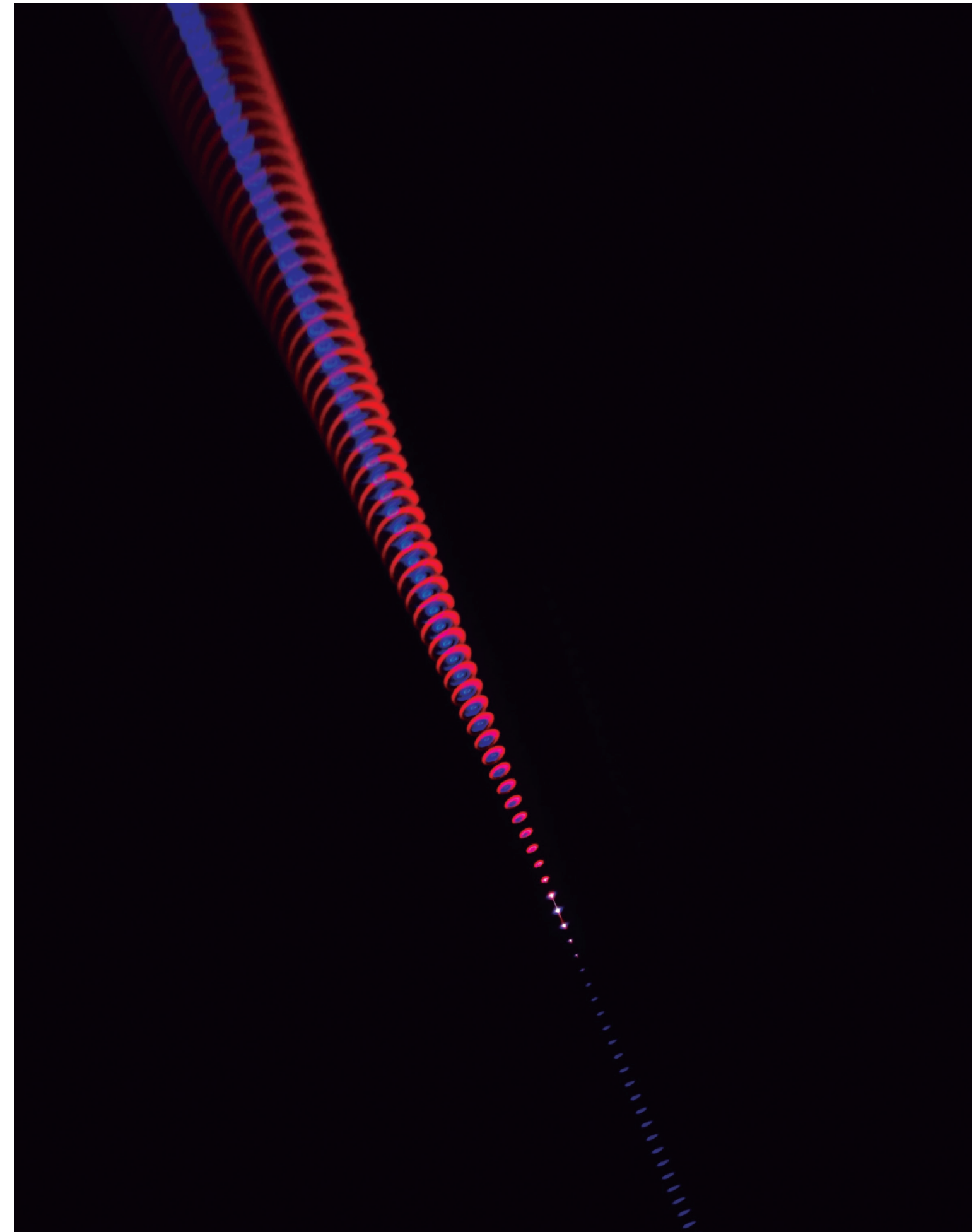
## FENÓMENOS ULTRARRÁPIDOS

Muchos eventos ocurren tan rápido que nos es imposible percibirlos y entenderlos sin la ayuda de la tecnología, como por ejemplo el movimiento de las alas del colibrí o el inflado de una bolsa de aire en un automóvil. Gracias al empleo de pulsos de luz muy cortos (el flash de una cámara es un ejemplo de un pulso de luz) es posible ver estos eventos con gran detalle, obteniendo como resultado información de cada etapa de su evolución.

La óptica ultrarrápida estudia la producción y el uso de pulsos de luz con duraciones extremadamente cortas, más de un millón de veces más pequeñas que el tiempo en el que parpadeamos. Este tipo de pulsos se caracterizan por tener un pico de energía muy alta pero con una duración muy corta, lo que hace posible evaluar fenómenos que ocurren en tiempos extremadamente cortos. La rapidez de la interacción entre este tipo de pul-

sos y una superficie evita que haya calentamiento, lo que permite usarlos para cortar o desgastar un material. Con tales características, este tipo de pulsos tienen aplicaciones en la industria electrónica, en la fabricación de celdas solares, en manufactura avanzada para la fabricación de estructuras 3D y micro maquinado, en seguridad, en el estudio de muchos procesos biológicos de gran interés en el área médica, etc.

En el CIO se cuenta con láseres capaces de producir pulsos ultracortos (una mil billonésima parte de un segundo) que se emplean en el estudio de materiales semiconductores para el diseño de dispositivos electrónicos y de celdas solares, en el micro maquinado de materiales, la conservación de obras de arte de gran valor cultural, el estudio de la resistencia a la sequía de plantas y el desarrollo de fuentes de luz más eficientes.



Pulsos ultrarrápidos  
Enrique Castro

## FOTÓNICA CUÁNTICA

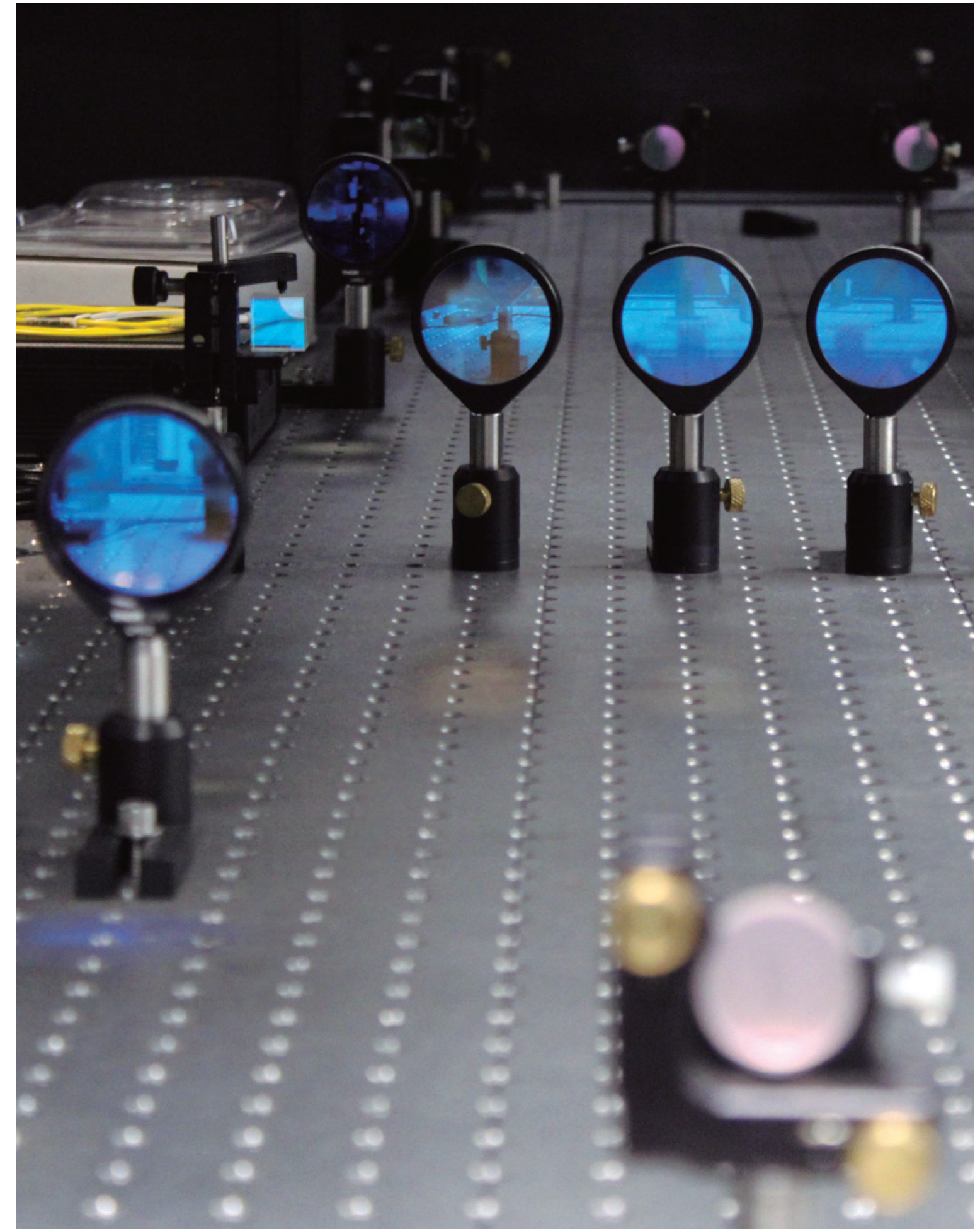
La fotónica cuántica es el área de estudio que busca entender y aprovechar propiedades de los estados cuánticos de la luz para el desarrollo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones, cómputo, imagenología y metrología, en lo que se conoce como tecnologías de información cuántica.

La luz se compone de partículas cuánticas fundamentales: los fotones, los cuales pueden configurarse en dos tipos generales de estados: estados clásicos de la luz y estados cuánticos de la luz. Los estados clásicos son la configuración de la luz con la que estamos acostumbrados a interactuar, como la luz térmica que emiten los focos o que llega del sol o la luz coherente que emite un láser. Además de estas configuraciones, en décadas recientes se han descubierto los llamados estados cuánticos fotónicos los cuales presentan nuevas propiedades como: el enredamiento cuántico, las cuales pueden ser utilizadas para alma-

cenar, transmitir y procesar información de forma muy eficiente en revolucionarios protocolos de información cuántica.

Para hacer realidad estas tecnologías, es necesario también desarrollar técnicas que permitan implementar los protocolos de información cuántica en chips fotónicos integrados, para su fabricación a gran escala.

En el CIO se hace investigación integral en el área de fotónica cuántica realizando: 1) Diseño e implementación de sistemas para la generación de estados cuánticos fotónicos 2) Diseño teórico y pruebas de funcionamiento experimental de protocolos de información cuántica 3) Desarrollo de técnicas de fabricación de circuitos fotónicos integrados, diseñando y fabricando enteramente en el CIO chips que implementan protocolos de información cuántica.



Laboratorio de óptica cuántica  
Archivo fotográfico CIO



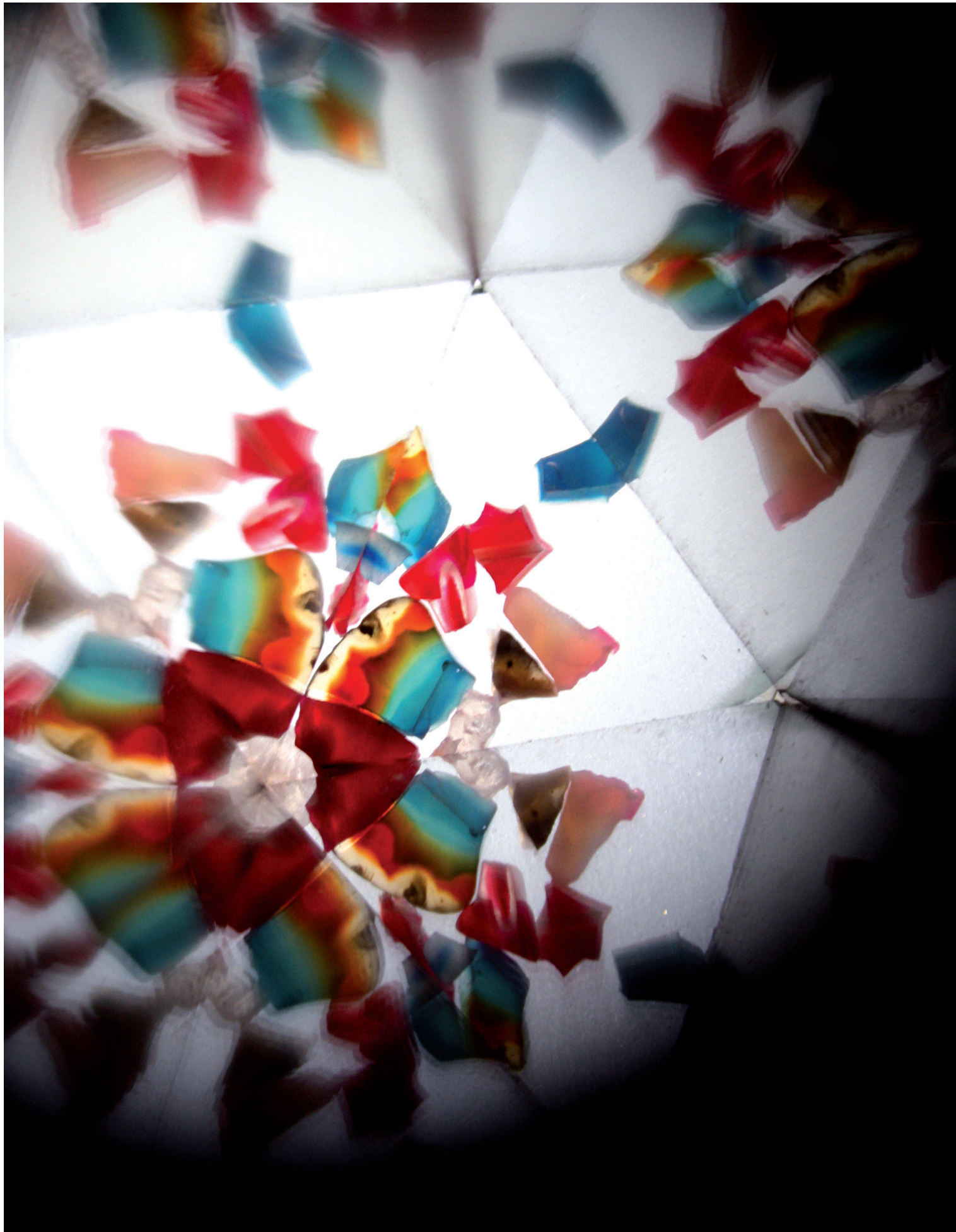
Laboratorio de nanofotónica  
 Archivo fotográfico CIO

## BIOMEDICINA

La Óptica es un área de la Física que estudia la luz y que tiene muchas aplicaciones en las ciencias de la salud. Por ejemplo, el uso de la luz permite estudiar las células y los tejidos del cuerpo, formar imágenes del interior del organismo, eliminar el tejido dañado o no deseado con gran precisión y cuantificar sustancias vitales en la sangre como la glucosa y el oxígeno. Gracias a ello, es posible diagnosticar y tratar muchas enfermedades. Entre las aplicaciones biomédicas de la Óptica se encuentran las cirugías láser para la corrección de diversos problemas de visión, el diagnóstico de padecimientos en el interior del cuerpo mediante la endoscopia, la determinación de la cantidad de oxígeno en la sangre, entre otras. En la actualidad, en el mundo se llevan a cabo muchas investigaciones para utilizar la luz en el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento de enfermedades de manera no invasiva, es decir, sin tener que usar el bisturí. Para ello, se

están empleando las nanotecnologías, el procesamiento de imágenes que faciliten el diagnóstico a los médicos, los láseres, los laboratorios en un chip, etc.

Aproximadamente, el 25 % de los investigadores del CIO trabaja en temas relacionados con aplicaciones biomédicas, y la institución cuenta con una infraestructura científica de vanguardia. Como ejemplos de los desarrollos en el CIO, se puede citar un dispositivo basado en fibras ópticas para el tratamiento de la ictericia neonatal (afección en los recién nacidos que ocasiona una coloración amarillenta en la piel y los ojos y que en niveles elevados puede ser grave), el desarrollo de una técnica para la evaluación del estado de los pies en pacientes con diabetes, el desarrollo de biosensores para detectar proteínas sobre expresadas en problemas de salud, así como la detección y terapia de células cancerígenas.



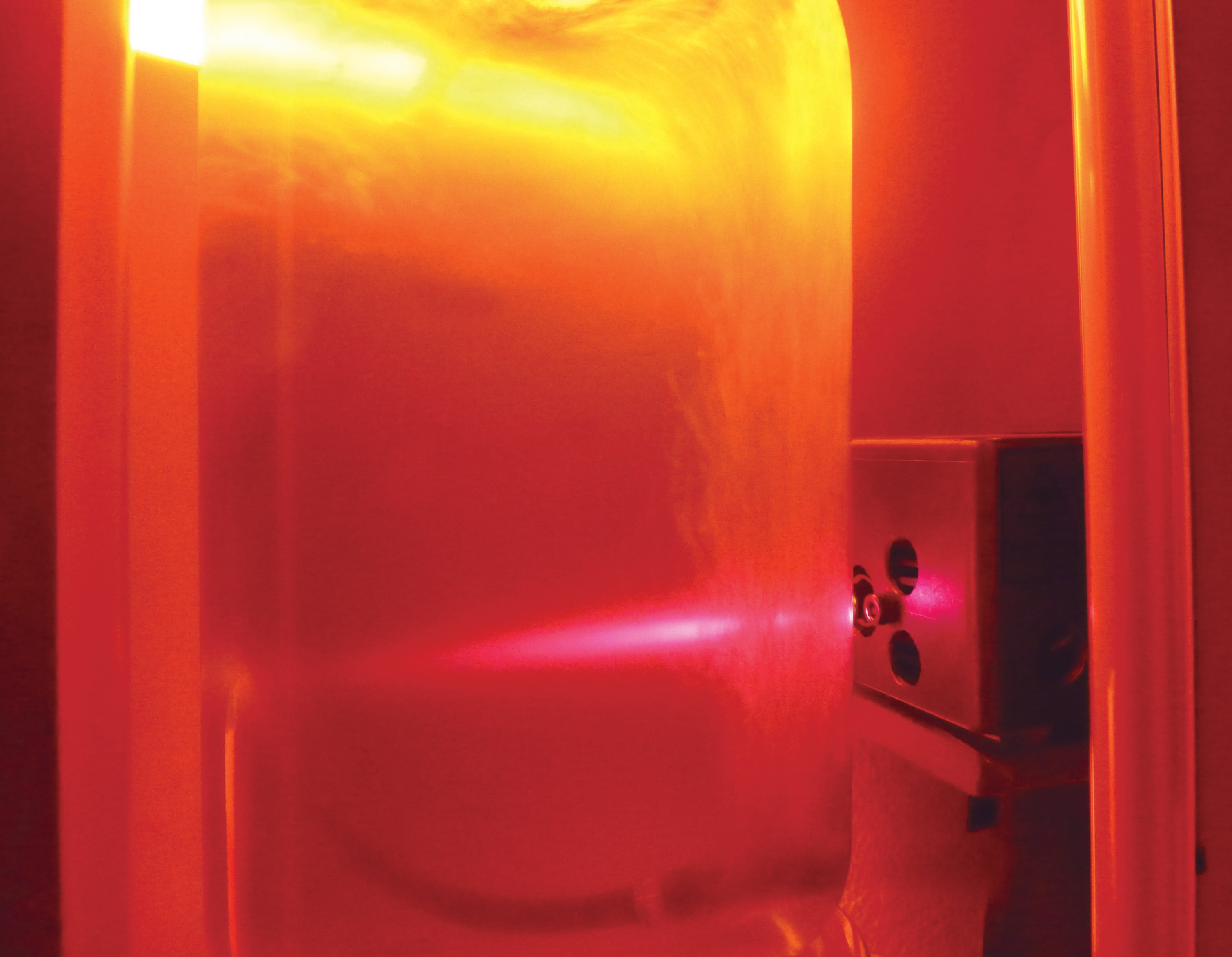
Caleidoscopio  
 Archivo fotográfico CIO

## VISIÓN HUMANA

El sentido de la visión es uno de los más importantes que tenemos, ya que gracias a él podemos percibir una gran cantidad de información acerca del mundo que nos rodea. Su funcionamiento es maravilloso e involucra procesos biológicos, físicos y psicológicos. Sin embargo, con frecuencia se pueden presentar anomalías en el ojo que disminuyen su capacidad de ver adecuadamente. A nivel mundial, problemas de la visión como la miopía, la hipermetropía, el astigmatismo y la presbicia constituyen la causa más importante de discapacidad visual, condición que puede llegar a afectar considerablemente el rendimiento escolar, la vida profesional y personal.

El Laboratorio Nacional de Óptica de la visión del CIO tiene como objetivos el investigar el funcionamiento del ojo hu-

mano para comprender los mecanismos de la visión, el diseño y la producción de instrumentos para el diagnóstico de enfermedades del ojo y para la corrección de problemas visuales y también proporcionar servicios clínicos especializados a la población a través de convenios con instituciones del sector salud. Para lograr estos objetivos, en este laboratorio se tienen equipos de la más alta tecnología sobre la visión, se cuenta con un equipo multidisciplinario de profesionales de áreas como la Física, la Medicina y la Ingeniería y está a la disposición de investigadores externos para la realización de los más ambiciosos proyectos científicos sobre la visión.



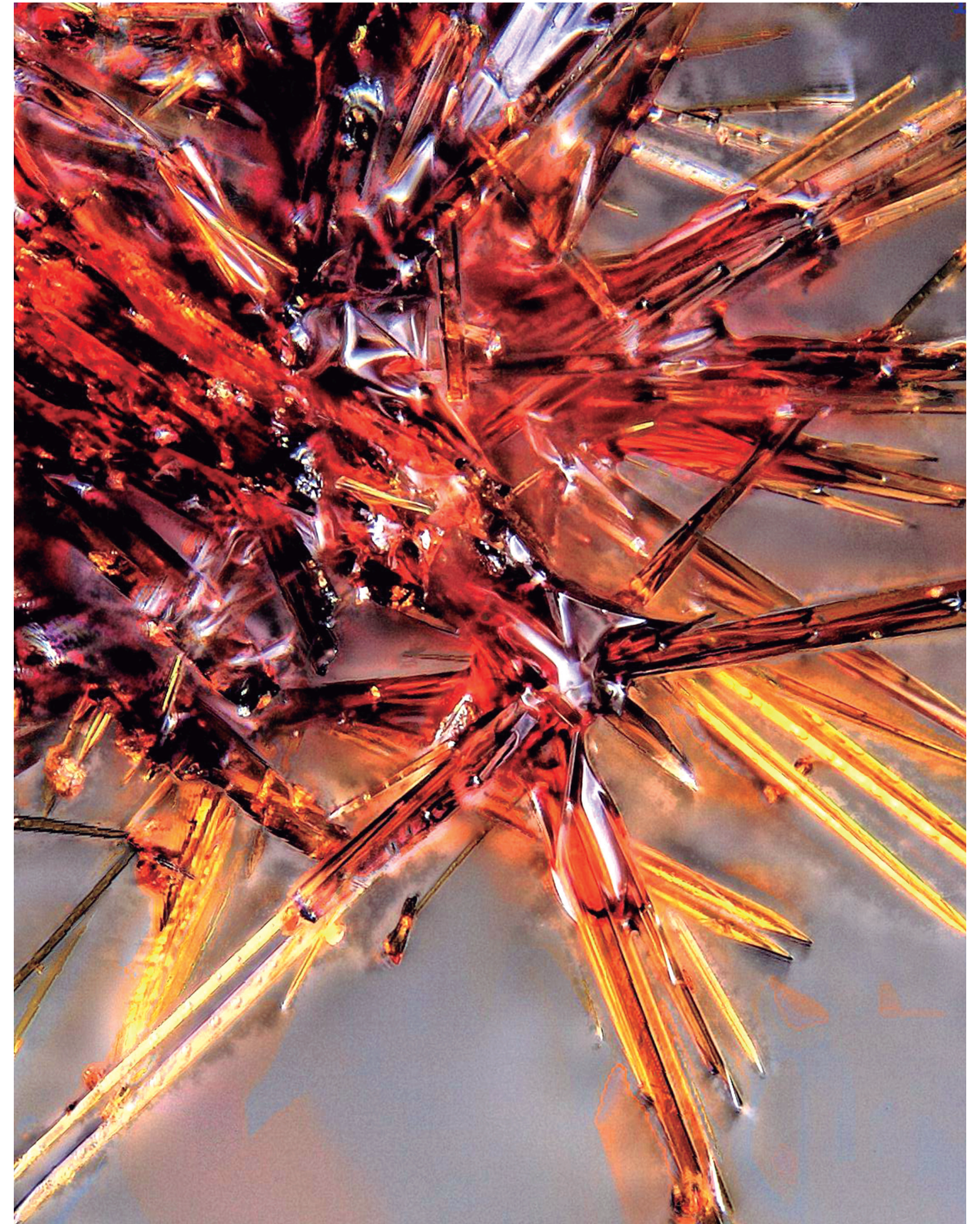
**Fluorescencia**  
Hugo Enrique Lazcano

## NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología estudia los materiales de tamaño nanométrico, a los que se les llama nanomateriales, nanopartículas o nanoestructuras y pueden ser orgánicos e inorgánicos, cuyas propiedades dependen de su tamaño y forma. La nanofotónica es la fusión de la nanotecnología y la fotónica. Es un campo multidisciplinario que estudia las propiedades ópticas y electrónicas de las nanoestructuras y su interacción con la luz. Estos materiales han despertado gran interés para su uso en una gran diversidad de aplicaciones. Entre ellas las aplicaciones en salud tanto para la detección como terapia lo que da lugar a la nanomedicina; aprovechamiento de la energía solar para la generación, ahorro y almacenamiento; medio ambiente incluyendo tratamiento y desalinación de agua; diseño de fuentes de luz y dispositivos para sistemas de comunicación óptica. Para tener una idea de qué tan pequeño es un nanómetro ( $10^{-9}$ m) pode-

mos mencionar que un milímetro tiene un millón de nanómetros; el diámetro del cabello humano mide entre 10 000 y 50 000 nanómetros; el ancho de la cadena de ADN mide 2.5 nanómetros mientras que los glóbulos rojos y blancos miden entre 2000 y 5000 nm.

En el CIO se realiza investigación en el área de la nanofotónica, se preparan y estudian nanomateriales para el diseño de biosensores para distintas aplicaciones; para la detección, imagen y terapia de cáncer; para diseño de sensores químicos; para el desarrollo de celdas solares de nueva generación y dispositivos emisores de luz (LED); para la generación de hidrógeno y tratamiento de agua. Se realiza también modelación de la superficie de las nanoestructuras que definen las propiedades ópticas y electrónicas con lo que se obtienen diseños más rápidos de dichos nanomateriales.



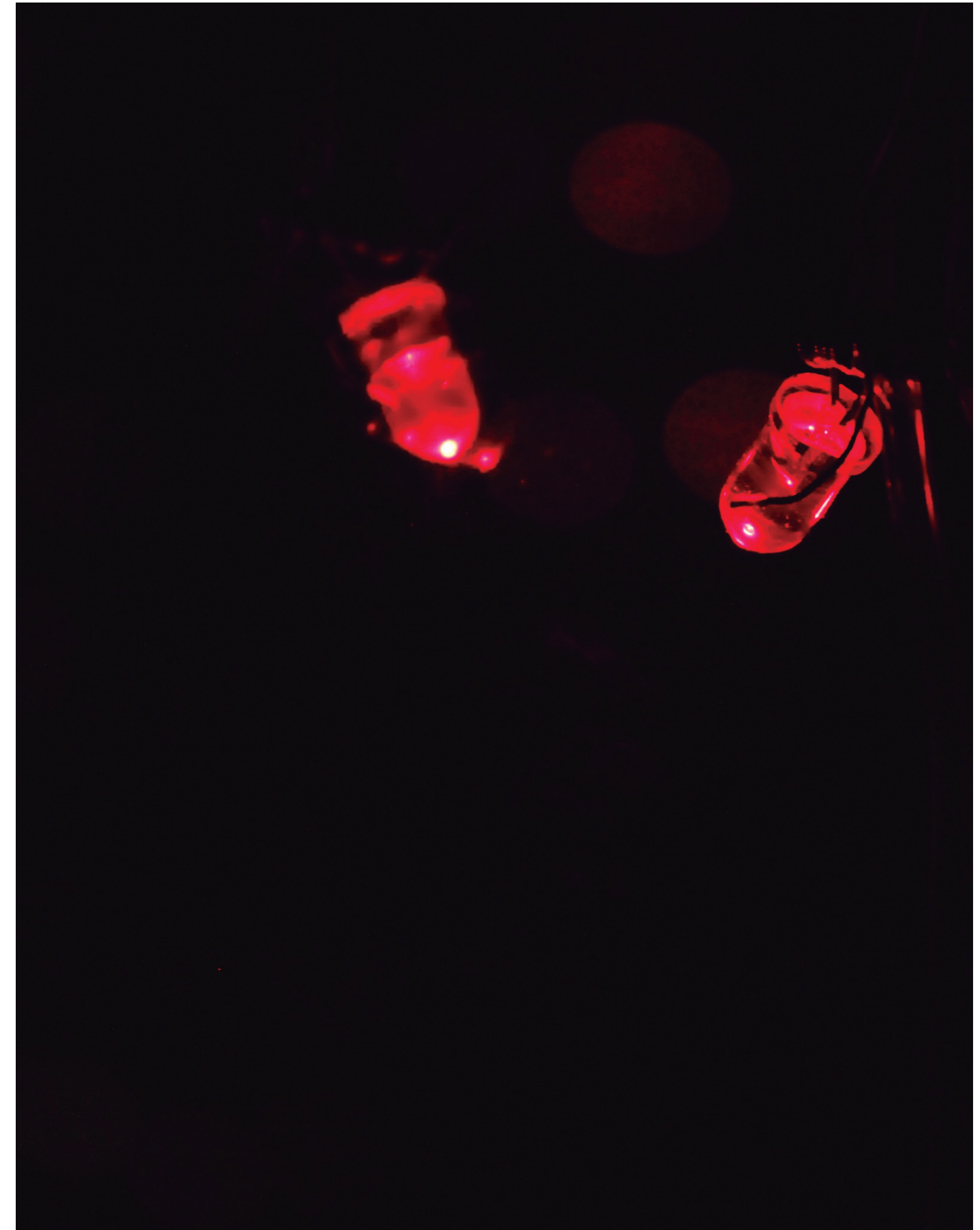
Cristales  
Archivo fotográfico CIO

## LABORATORIO EN UN CHIP

Un laboratorio en un chip es un dispositivo de tan sólo unos milímetros a unos pocos centímetros cuadrados de superficie, en el que se integran en miniatura varias de las funciones que llevan a cabo algunos instrumentos de mayor tamaño en un laboratorio convencional. Mediante estos dispositivos fácilmente transportables, se pueden analizar muestras químicas o biológicas extremadamente pequeñas (menores que una gota) en el lugar en que se recolectan, en vez de tener que transportarlas hasta un laboratorio para su estudio. Gracias a ello, los resultados se pueden obtener en un tiempo considerablemente más corto que por los métodos usuales, lo que es de gran importancia en el diagnóstico y tratamiento médico. Actualmente, esta tecnología se emplea en biología y medicina para determinar la información genética contenida en las células de los seres vivos y la integración de

elementos ópticos en estos chips podría revolucionar la manera en que se hacen los análisis bioquímicos, lo que tendría aplicaciones en el monitoreo ambiental, la detección de patógenos en alimentos, los análisis clínicos, etc.

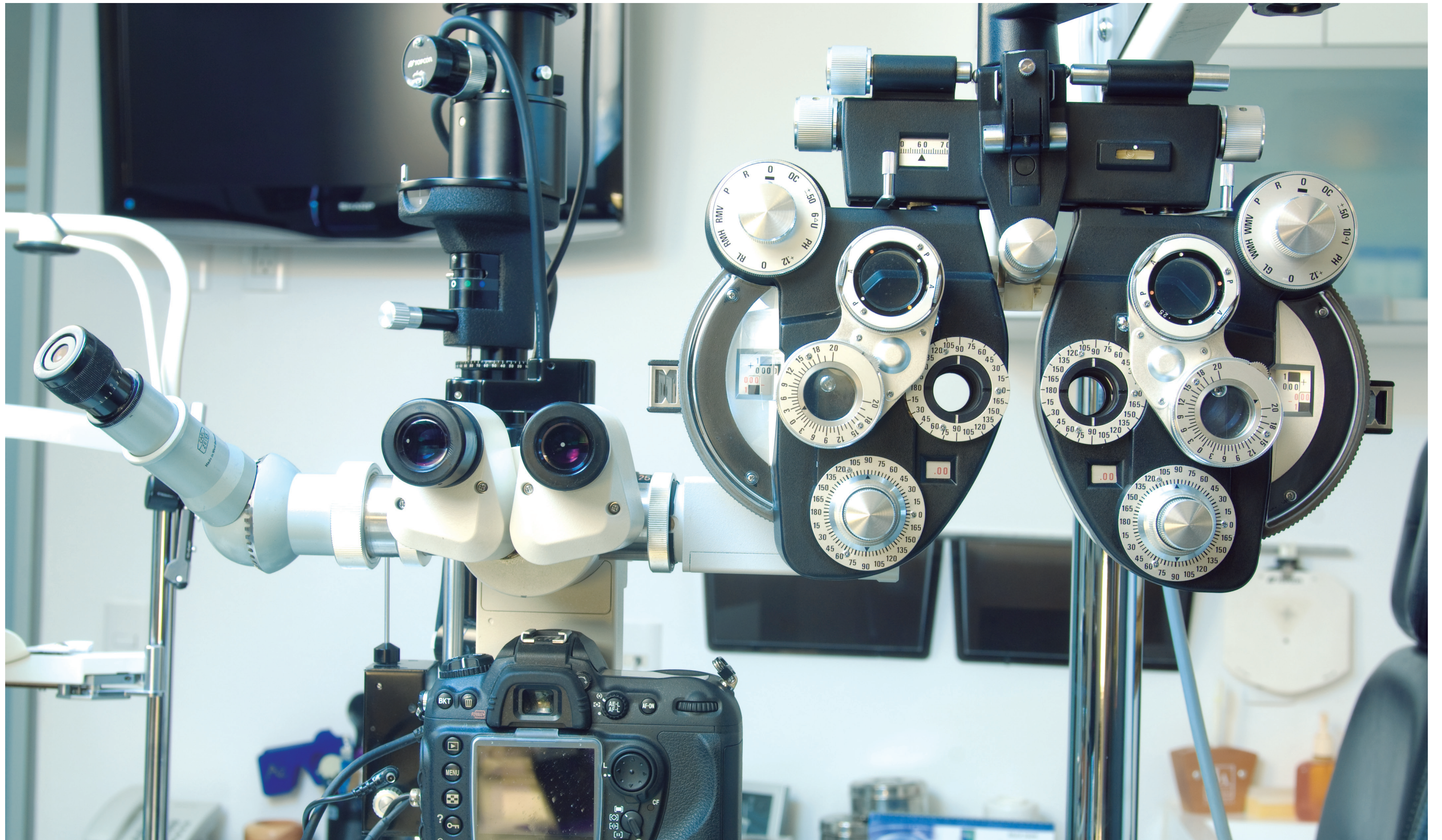
Las investigaciones que se llevan a cabo en el CIO en este campo, están centradas en el desarrollo de microdispositivos ópticos para la medición de índice de refracción, temperatura, pH y otros parámetros físicos de gran utilidad práctica para realizar análisis bioquímicos. Utilizando esta tecnología, en el CIO se ha logrado medir el índice de refracción de una muestra en tubos capilares muy delgados y la presión al interior de pequeñas lentes líquidas. También se ha desarrollado un método de fabricación de microlentes líquidas cuya distancia focal se puede controlar.



LEDs  
Archivo fotográfico CIO



CDMX  
Roberto Tetlamatzin



Óptica visual  
Roberto Tetlamatzin



# LUZ

ARTE Y CULTURA

Sendero  
Roberto Tetlamatzin



Efecto CMYK  
Archivo fotográfico CIO

## CIENCIA PARA TODOS

Cuando compartimos lo que sabemos, hacemos que los otros hagan suyo ese nuevo conocimiento, acortando el tiempo de aprendizaje y enriqueciéndolo con nuestra experiencia.

En el CIO se crean programas y se impulsan actividades para que la ciencia y la tecnología que se desarrollan puedan ser conocidos por la sociedad y que además este conocimiento pueda funcionar como una solución a sus necesidades. Se llevan a cabo actividades para lograr un mayor entendimiento de la óptica y la fotónica, tales como: talleres de ciencia, visitas guiadas, observaciones astronómicas, charlas escolares, clubes de ciencia, entre otros. Además cuenta con un planetario y un museo

que ofrecen espacios interactivos que promueven la cultura científica de la sociedad, para propiciar un acercamiento a la ciencia de la luz y sus tecnologías, fomentando el gusto por descubrir e innovar.

El Centro busca despertar vocaciones en niños y jóvenes, ofreciendo actividades para el desarrollo de habilidades científicas, tecnológicas y de innovación; enriquecer la oferta de espacios culturales públicos de la región, mediante actividades atractivas y exhibiciones interactivas como un método de acercamiento a la ciencia de la luz y sus tecnologías, así como fomentar la cultura científica en la sociedad, mediante la apropiación de su quehacer científico y tecnológico.



Siguiendo la luz  
Eleonor León



Espía



Museo Soumaya  
Roberto Tetlamatzin

## LA SOCIEDAD DE LA LUZ

La luz se utiliza en la pintura, dibujo, fotografía, arquitectura, impresión, video e incluso en la escultura. En un edificio, la luz natural introduce un elemento de la naturaleza en el ambiente. Los fotógrafos pueden utilizar equipos de iluminación artificial, pero también entienden el valor de cierta iluminación natural para una fotografía. La luz es estudiada y captada en dibujos, pinturas e incluso impresiones; es utilizada en obras de arte para crear contraste en un ambiente o espacio.

La iluminación añade variedad visual en un trabajo, provocando interés y ayuda a determinar la disposición de la composición. Una obra de arte puede ser diseñada enteramente alrededor de la técnica de iluminación que utiliza.

Actualmente existen nuevos usos de la luz que impactan en nuestra cultura, por la

forma en que nos comunicamos y apreciamos lo que vemos. Gracias a la luz las expresiones artísticas se resaltan e introducen nuevos elementos ampliando las capacidades para el diseño y creación de obras de arte. La luz ilumina, transporta energía y también puede llevar información eficientemente a la velocidad más alta, que es de casi 300 mil kilómetros por segundo. Para que esa información, ya sea música, video, una llamada telefónica, una página web o una videoconferencia, llegue de una ciudad a otra en el mundo, la luz se conduce por una fibra óptica que puede pasar incluso por debajo del mar. Cada vez más personas conversan por teléfono y hacen uso de Internet para estudiar, trabajar o por entretenimiento. Por eso se investigan y desarrollan tecnologías para contar con conexiones cada vez más rápidas y seguras.



Museo Nacional de Arte (MUNAL)  
Roberto Tetlamatzin

## LA LUZ COMO FUENTE DE INSPIRACIÓN

Hoy en día se encuentran al alcance imágenes de nuestro planeta o nuestro organismo, que nunca antes habían sido tan visualizadas, como algunos planetas y las fotografías microscópicas de unas células. Pensemos por un momento en la posibilidad de contabilizar el total de imágenes que vimos al final de un día común: desde la cara de nuestros familiares o compañeros de la escuela, hasta la película que proyectan en el cine. En todas ellas está presente la luz, sus aplicaciones y sus complejos fenómenos.

Las imágenes, que se forman gracias a la luz y a los procesos ópticos que realiza nuestro cerebro, las encontraremos evidentemente en el televisor, una pintura, los periódicos, la Internet, los teléfonos celulares, los espectaculares, pero no sólo los medios de comunicación y la tecnología las contienen, las imágenes también están ahí en la caja del cereal que comemos, en la fotografía que decora la sala, en la bandera del equipo de fútbol, en una escultura del parque, en el edificio del centro histórico de una ciudad, en la tarjeta de crédito, en los mensajes de texto, en nuestro lenguaje y en la manera en que recibimos y procesamos la información del mundo que nos rodea.

El ser humano es un ser visual y fotosensible, una muestra clara de ello es el hecho de que nuestros procesos cognitivos ocu-

rren mediante imágenes, es decir, comprendemos y aprendemos con imágenes. Si hacemos el ejercicio de pensar en una cantidad numérica, cualquiera que sea, nuestra mente nos dará la referencia de un lenguaje o código que ya conocemos: los números. Así pues, el número que hayamos pensado será en imagen, visualizaremos un “dos”, por ejemplo, ya sea como palabra o como número que finalmente está representado por una imagen.

La luz no sólo hace que podamos ver, percibir, interpretar y cohabitar en nuestra realidad y la de los otros, sino que además nos ha permitido desarrollar objetos para apreciar la naturaleza, nos ha inspirado a crear obras de arte, nos motiva a generar tecnología que acorta distancias, nos da la posibilidad de comunicarnos verbal, visual, sonora y tecnológicamente.

Hoy podemos por ejemplo, ir a un espectáculo de luces y sorprendernos con sus colores y la realidad virtual, nuestras formas de comunicarnos son más veloces, el arte y la cultura (tangibles e intangibles) se pueden conservar, restaurar y salvaguardar en un chip, en datos, en una fotografía digital, con métodos de escaneo y medición no invasivos. Todo lo que podemos ver ahora y que antes era invisible ante nuestros ojos o imposible para la creatividad de un artista, se lo debemos a las tecnologías de la luz.



Ojo de luz  
Roberto Tetlamatzin



Luz y arte  
Roberto Tetlamatzin



Zócalo, ciudad de México  
Roberto Tetlamatzin



# Y SE HIZO

LA LUZ

Huellas  
Roberto Tetlamatzin



Concierto  
Roberto Tetlamatzin

## | ¡Y SE HIZO LA LUZ !

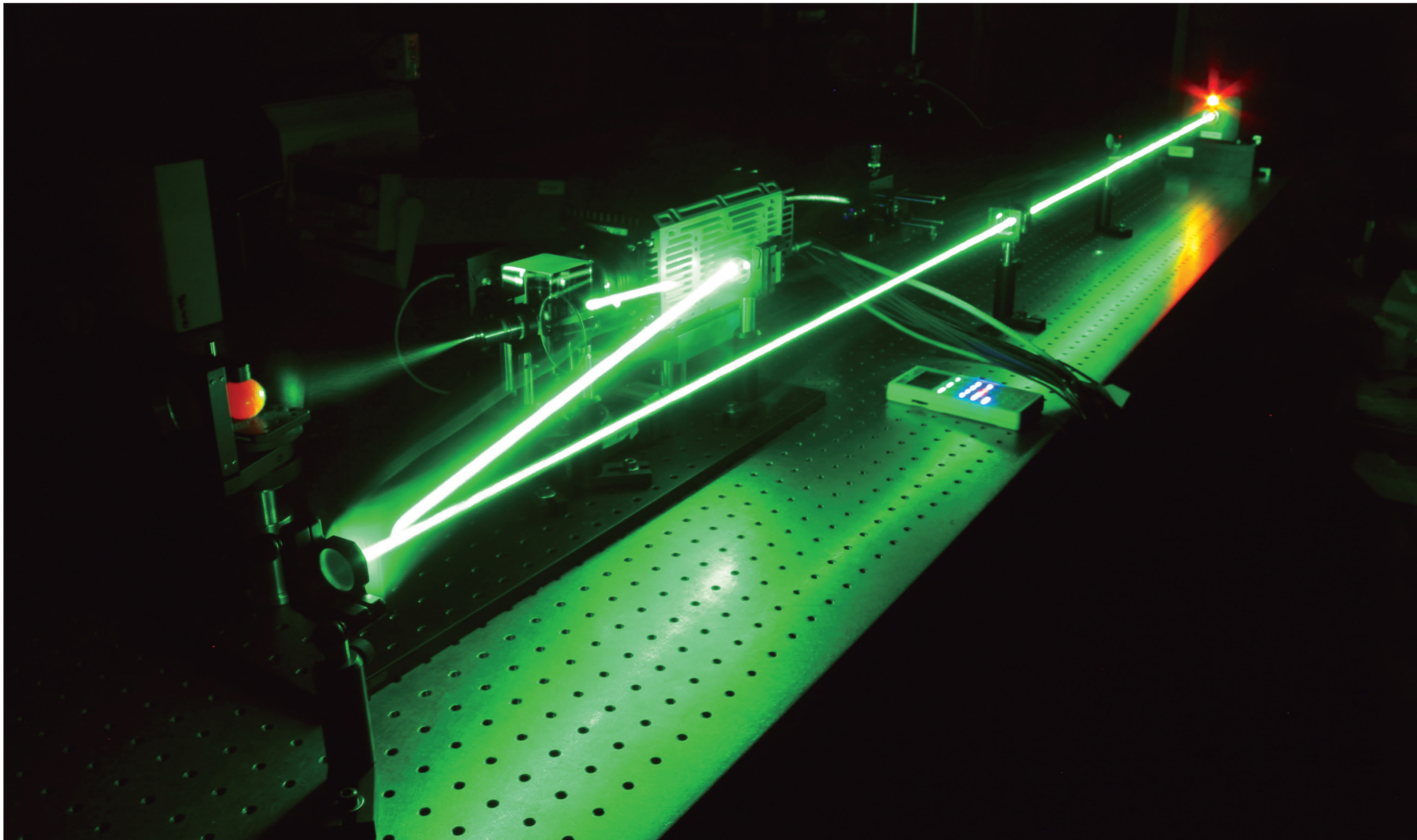
Cuando la luz del sol incide sobre las plantas, una parte de ella es absorbida para producir el fenómeno de la fotosíntesis. Con esa luz las plantas generan energía química, básicamente se producen azúcares a partir de CO<sub>2</sub> disponible en la atmósfera y desechan a cambio oxígeno que es fundamental para la vida como la conocemos.

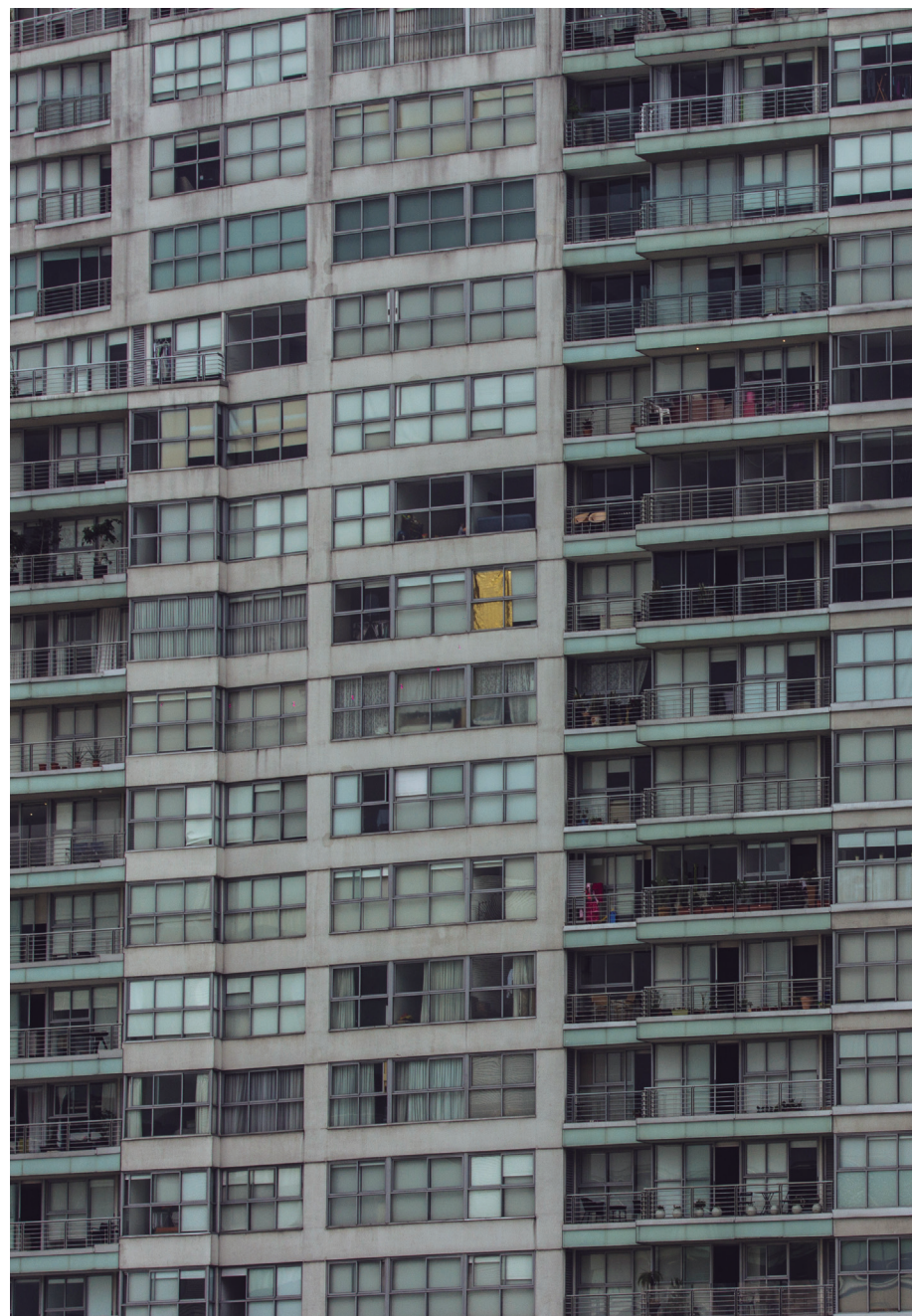
El sistema de visión de los seres vivos evolucionó de acuerdo a las características de la luz, no solo para detectar las señales luminosas sino también para distinguir los colores que la forman. La luz modula nuestra vida diaria, establece horarios, regula nuestros ciclos de sueño, nos permite percibir nuestro mundo alrededor, nos permite estudiar el origen del universo. Todo lo que somos y hacemos está fuertemente ligado a la presencia de la luz.

Estamos tan acostumbrados a la luz que quizás es por eso que rara vez pensamos cómo sería nuestro mundo sin ella ¿Te imaginas un mundo sin internet, sin tele-

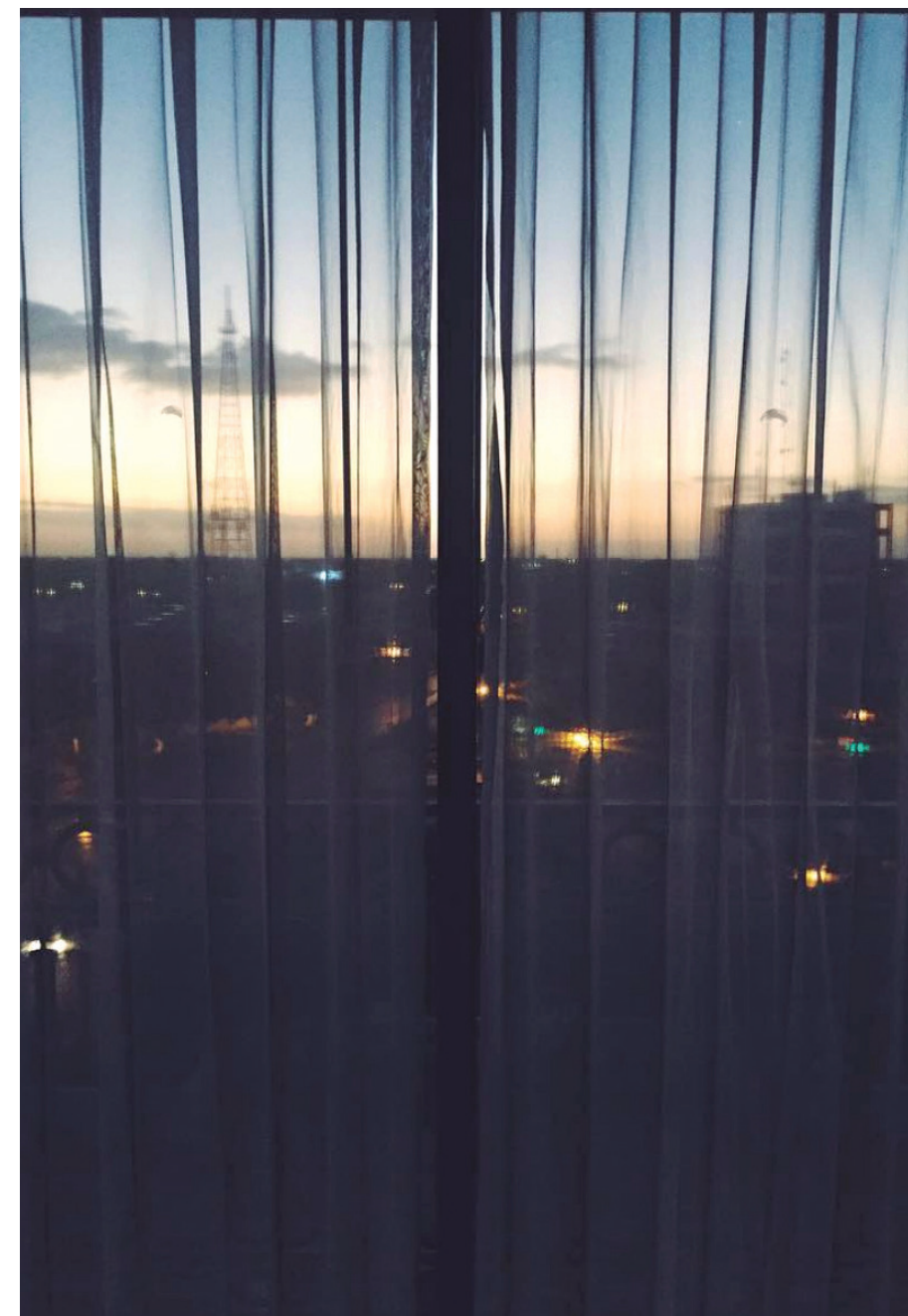
visión, sin iluminación, sin teléfonos inteligentes? ¿Te has preguntado cómo sería nuestro mundo sin colores? ¿Y si no hubiera luz? Quizás no tendríamos fotosíntesis y nuestra atmósfera no contaría con el oxígeno que requiere nuestro cuerpo. Lo cierto es que, probablemente nuestro planeta no tendría vida o habríamos evolucionado en forma diferente.

Celebrar el Año Internacional de la Luz es algo que hacemos diariamente sin darnos cuenta: al utilizarla en la noche para leer, al conducir de manera segura en nuestros vehículos, al asistir a un concierto, al plantar un árbol, al ver el televisor o comunicarnos al otro lado del mundo. La importancia de la luz y las tecnologías que de ella se han desarrollado, ha hecho de nuestra realidad una experiencia más placentera, segura y cómoda. Como has podido darte cuenta, en el CIO se desarrolla conocimiento sobre la luz y con ello tecnologías que impactan la vida como la conocemos.





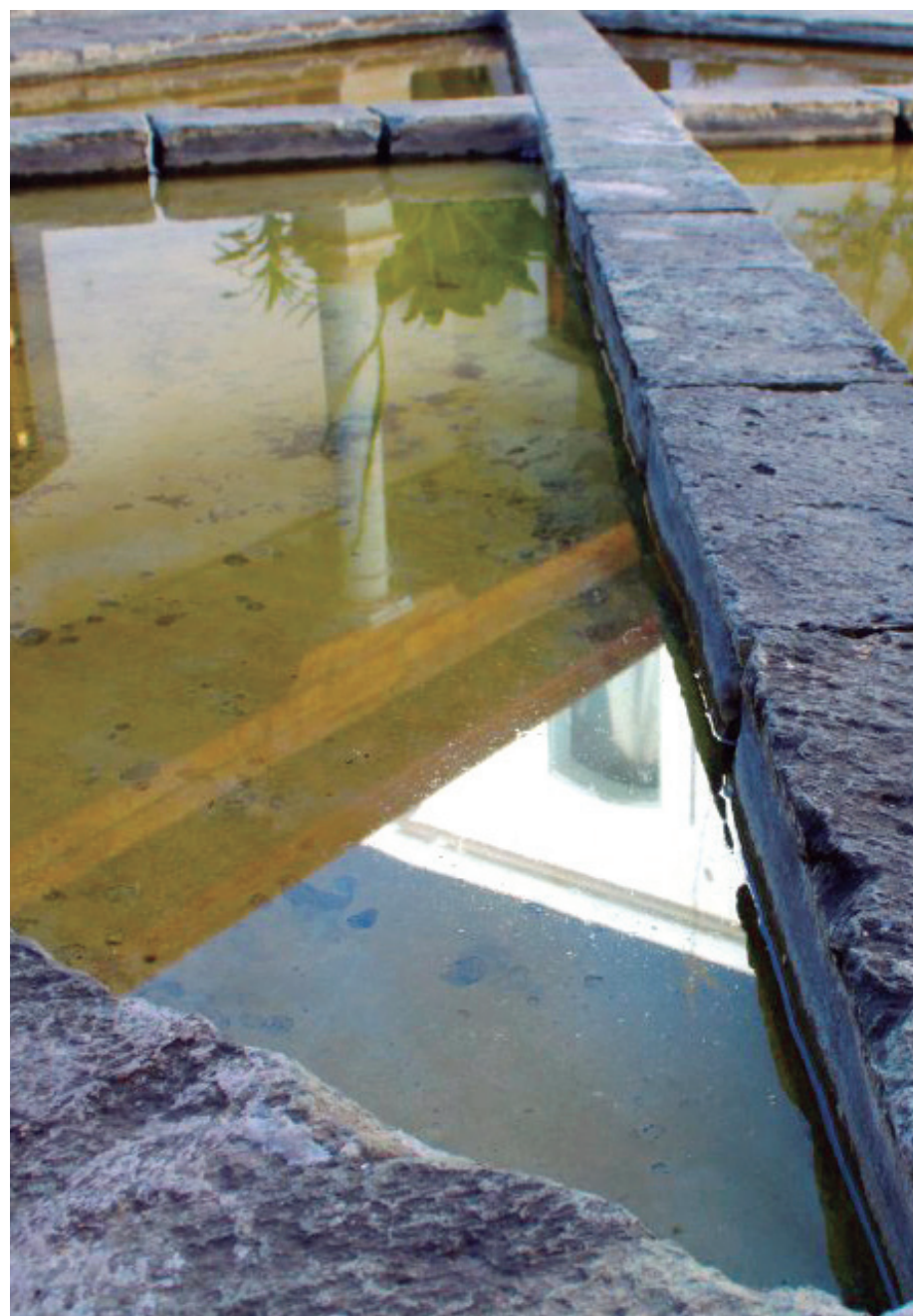
**Panal**  
Roberto Tetlamatzin



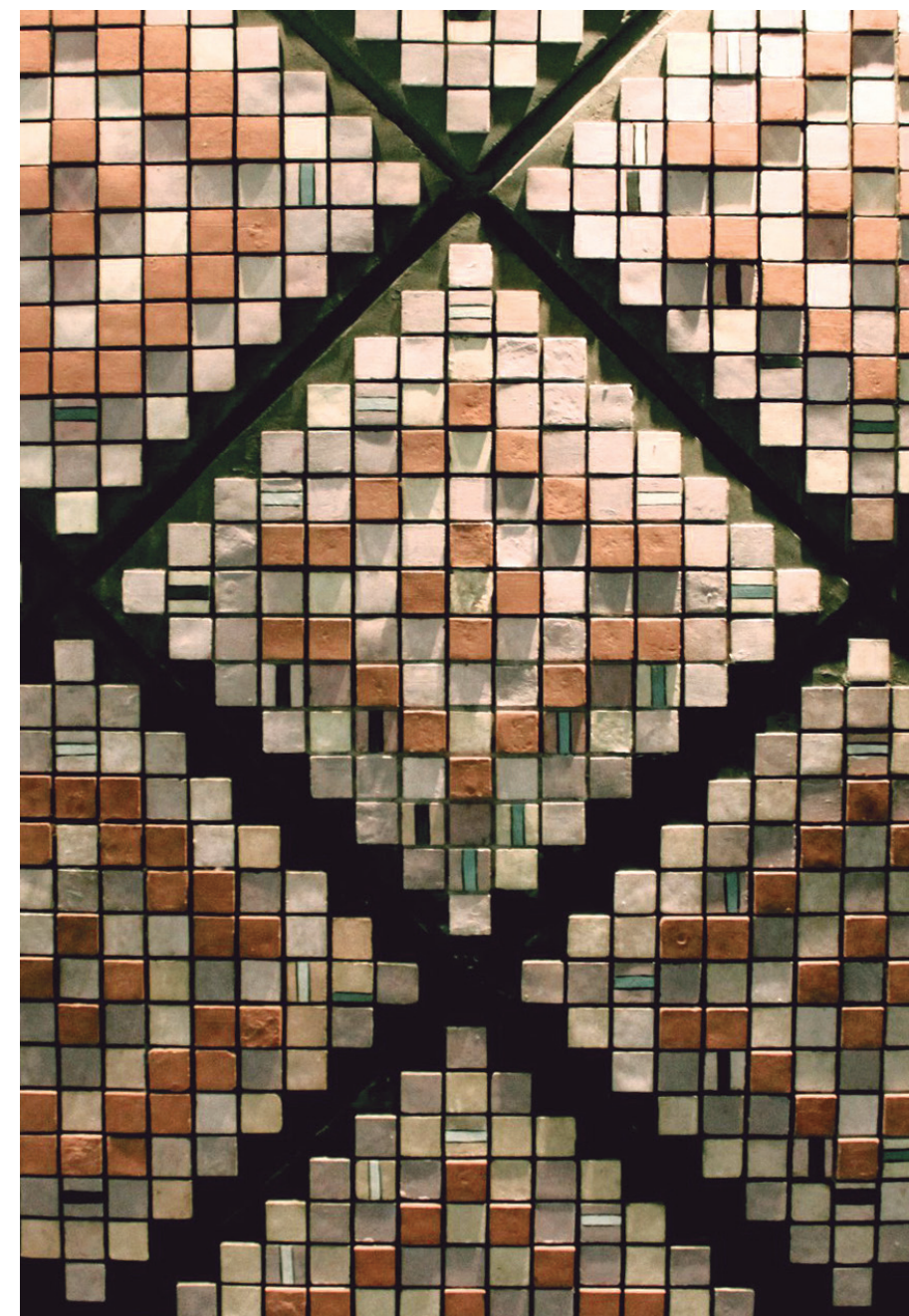
**Mérida**  
Eleonor León



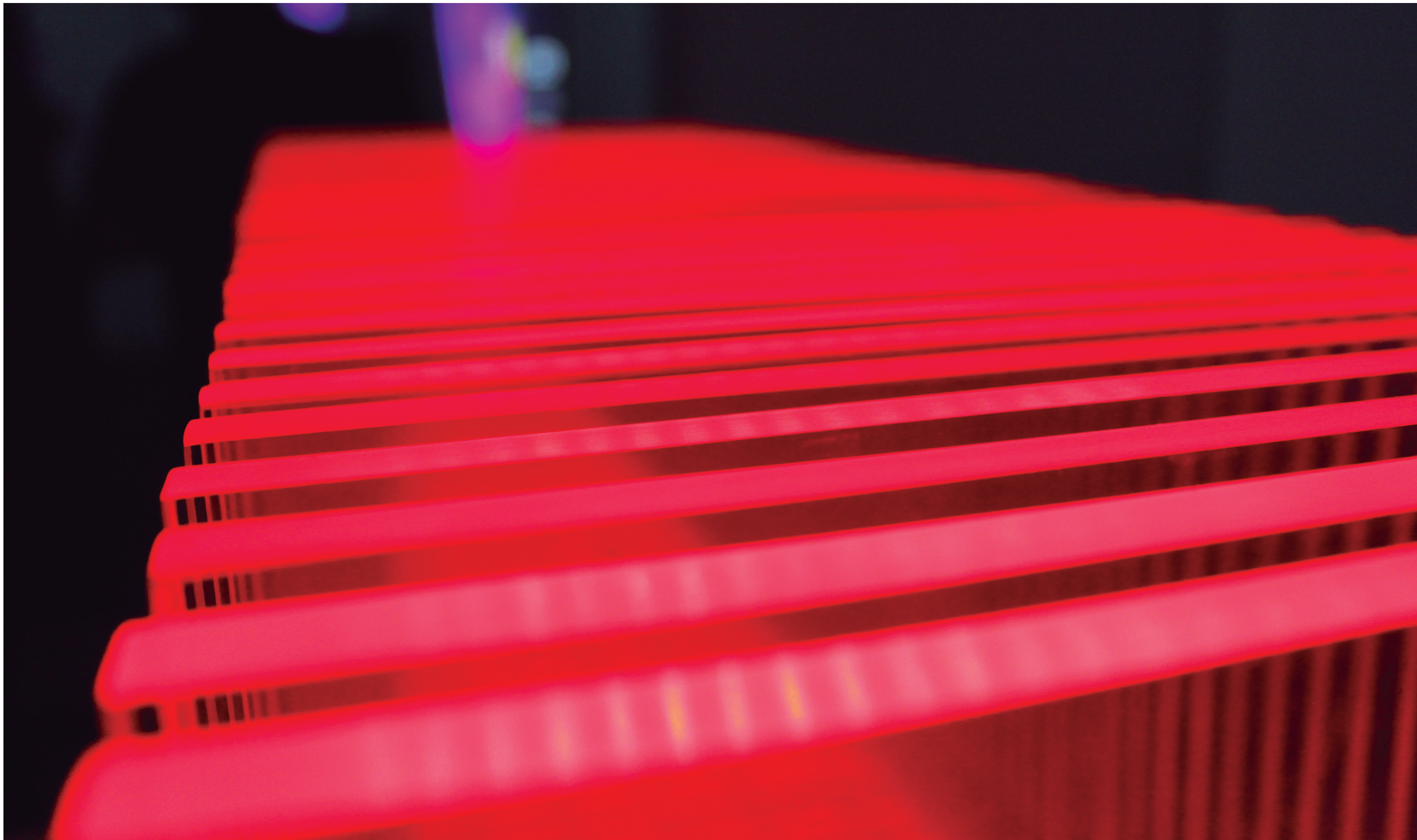
Globo aerostático  
Roberto Tetlamatzin



Espejo de agua  
Eleonor León



Universum



Pabellón de la luz II  
Archivo fotográfico CIO

Esta publicación es de carácter cultural y educativo,  
sin fines de lucro

Obra del © Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO)

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