



▶ 1 Diciembre, 2015

CIENCIA

La luz: ¡qué buen rollo!

2015 ha sido el **Año Internacional de la Luz**, un fenómeno físico que tiene cada vez más aplicaciones: la biomedicina, la astronomía y otras ramas de la ciencia usan ondas luminosas y fotones para desarrollar tecnologías revolucionarias.

Un reportaje de CRISTINA SAÉZ

Cinco por ciento. Esa es la franja que ocupamos los humanos, la vida, los mundos conocidos y por descubrir. Esa es la porción ínfima del universo, según explica el físico y poeta catalán David Jou, que alberga la materia ordinaria, con sus protones, neutrones y electrones. En ese pedacito cósmico se habla, se toca y se entiende con la luz. Todo lo que vemos, esta revista, el paisaje, otras personas, el café, es el resultado de esa interacción. El 95% restante del cosmos está formado por materia y energía oscuras, de las que empezamos a saber sus efectos pero no su constitución.

La luz hace posible la vida en la Tierra y es protagonista de fenómenos que nos fascinan desde siempre: el arcoíris, las auroras boreales, los espejismos de los desiertos, la fotosíntesis o el complejo funcionamiento del ojo humano. Constituye una herramienta científica de primera magnitud, que hace posible entender los detalles más íntimos del mundo y espiar objetos lejanos en el cosmos, comprender el origen y movimiento de planetas, estrellas y galaxias. Con sus aplicaciones –rayos X, láser– podemos estudiar el organismo, diagnosticar y curar; escudriñar el mundo invisible para nuestros sentidos, escribir, leer, enviar información, manipular los componentes más diminutos de la materia. “Nos permite, en colaboración con biólogos y médicos, investigar cómo empiezan las enfermedades y qué les pasa a las células. Empezamos a tener herramientas para ver ese universo oculto de escala nanométrica y manipularlo sin dañarlo”, explica Lluís Torner, director del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), con sede en Castelldefels (Barcelona).

Muchos científicos usan la luz para impulsar las fronteras de la física, la química, la biología, la medicina, la geología, la arquitectura, la arqueología o la ciencia forense. Sin embargo, “la palabra *fotónica* no es muy conocida para el ciudadano de a pie, pese a que gran parte de las actividades de la vida cotidiana dependen de ella de manera creciente. Los códigos de barras, los cedés, los móviles, las pantallas, internet... se basan en la fotónica, porque son los fotones, esto »



► 1 Diciembre, 2015



Y también arte. Esta foto se basa en el *light painting*, técnica fotográfica que consiste en *pintar* con luz mediante una exposición prolongada. En este caso, 88 segundos con un ISO 200, apertura F/8 y 18 mm, con la máxima oscuridad posible en el plano. Y al fondo, el modelo haciendo círculos con un tubo de neón azul.

FOTO: I. SALVADOR LÓPEZ RAMÓN



► 1 Diciembre, 2015

CIENCIA**UNA HERRAMIENTA CLAVE PARA MUCHOS CIENTÍFICOS**

La fotónica es la ciencia de la generación, el control y la detección de las ondas de luz y los fotones, que son partículas luminosas. Emplea una gran variedad de longitudes de onda –rayos gamma, rayos X, ultravioleta, luz infrarroja...– y se aplica a numerosos campos, desde la electrónica de consumo a ciencias como la biología, la medicina, la física, la arqueología o la geología. En la imagen de arriba, dos geólogos estudian en un plano de luz la distribución de las capas de petróleo y gas en los estratos de roca de un terreno.

» es, los paquetes más pequeños de la luz, los encargados de transportar la energía y la información en esas aplicaciones,” dice Marta García-Martos, física del ICFO y coautora del libro *The Wonders of Light*. Por todo esto, la ONU y la UNESCO declararon 2015 como Año Internacional de la Luz y las Tecnologías Basadas en la Luz. Y es que, como asegura el físico Ignacio Cirac, director del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica en Múnich, “los principales avances de la sociedad se dan gracias a las ciencias fotónicas”. Veamos algunos de ellos, empezando por la astrofísica.

Marte pudo haber albergado vida en el pasado. Es uno de los candidatos de la Vía Láctea, junto con las lunas Europa (Júpiter) y Encélado y Titán (Saturno). El reciente hallazgo de muestras de agua líquida en el planeta rojo refuerzan esa hipótesis. Los astrofísicos calculan que más de una quinta parte de las estrellas como el Sol tiene planetas que reúnen condiciones similares a las terrestres, necesarias para la existencia, y podrían alojar al menos a microorganismos. Pero ¿cómo comprobarlo? “Usamos la luz como vehículo de transmisión de información: conocemos el universo solo a través de la que emiten los astros”, dice el investigador del Centro de Astrobiología de Madrid (CSIC-INTA) Benjamín Montesinos. Y es que a diferencia de los biólogos, geólogos o físicos, los astrónomos no pueden interaccionar con la materia que estudian. Trabajan con los datos que el cosmos envía, que vienen mayormente en forma de radiación electromagnética.

UN MONTÓN DE DISPAROS HASTA CONSEGUIR LA FOTO BUENA

“No podemos permitirnos el lujo de desperdiciar ni un solo rayo de luz. Por eso hemos creado nuevos instrumentos con los que se puede realizar una observación miles de veces por segundo para mejorar la calidad de las vistas obtenidas”, señala Álex Oscoz, jefe de Operaciones Telescópicas del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). La visión de una galaxia situada a diez millones de años luz se emborrona al atravesar la atmósfera y los rayos luminosos se curvan y deforman, ya que la capa gaseosa que envuelve nuestro planeta cambia constantemente. Solo hay unos pocos intervalos en que se mantiene estable, y esos son los que aprovechan en el IAC para hacer las observaciones. Trabajan en una nueva tecnología llamada *lucky imaging* (la imagen de la suerte), que permite

observar un objeto a muy alta velocidad y captarlo al milisegundo. “Imagínate que estás en Trafalgar Square, en Londres, y le vas a hacer una foto a un amigo, pero hay gente, coches y autobuses pasando continuamente. Así que disparas muchas veces por segundo esperando que en alguna instantánea no salgan obstáculos delante. Hemos creado un software que toma 500.000 imágenes por noche de un objeto astronómico, las analiza en tiempo real y elige las de mayor resolución”, dice Oscoz.

Esta tecnología tiene aplicaciones en otros ámbitos de la ciencia que requieren una capacidad de respuesta rápida. “Los biólogos necesitan observar fenómenos efímeros en sitios donde hay poca luz y obtener información a partir de esas me-



CONOCEMOS EL UNIVERSO A TRAVÉS DE LA LUZ QUE EMITEN LAS ESTRELLAS

diciones. No pueden interactuar con lo que están midiendo porque lo desvirtuarían. Necesitan captar medidas indirectas, y las tecnologías basadas en la luz que hemos desarrollado les resultan muy útiles”, explica Jesús Burgos, gerente de Proyectos Institucionales del IAC.

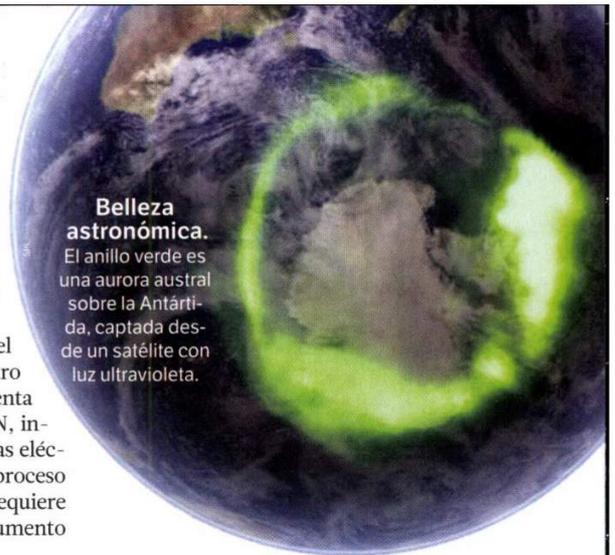
En 2013, el IAC participó en las jornadas sobre biología y luz organizadas por el Centro de Investigaciones Biomédicas de Canarias (CIBICAN), y de ese encuentro surgió un proyecto de colaboración entre astrónomos y biólogos. “Nos dimos cuenta de que tenemos problemas similares. Por ejemplo, Teresa Giráldez, del CIBICAN, investiga cómo se distribuyen las proteínas en las neuronas cuando están excitadas eléctricamente debido a una sinapsis; eso no se ha podido ver hasta ahora porque el proceso dura milisegundos. Y ahí entramos nosotros: es una situación con poca luz que requiere gran definición. Así que acoplamos una cámara de alta resolución y nuestro instrumento a su microscopio, igual que hacemos con el telescopio”, explica Osoz.

Las neuronas funcionan del mismo modo que los músculos o el corazón, o sea, por impulsos eléctricos. En las células nerviosas, las proteínas que generan la electricidad son los canales iónicos, una especie de orificios situados en la membrana celular que se abren y cierran muy rápido y dejan pasar iones, átomos con carga eléctrica que cambian las propiedades neuronales. “Las técnicas de luz nos dan mucha información sobre el movimiento de las proteínas. Ahora podemos ver las moléculas dentro de las células en tiempo real y observar cómo se mueven para producir electricidad”, destaca Giráldez.

OBJETIVO: PENETRAR EN EL INTERIOR DEL CUERPO HUMANO

Más de 150 males neurológicos se deben en parte al mal funcionamiento de esos canales iónicos. La epilepsia, por ejemplo, aparece por una descompensación de la actividad neuroeléctrica. “La producción de una señal neuronal es un juego de movimientos concertado y complejo. En bacterias hemos descubierto que algunos canales iónicos responden a la luz de modo natural. La energía lumínica cambia su conformación y se puede usar en las neuronas para inducir actividad eléctrica”, explica esta fisióloga.

En su laboratorio, Giráldez trata de poner en marcha esos canales en determinadas redes neuronales para entender su función: “En personas con depresión se podrían activar ciertas redes o suprimir la actividad de otras mediante impulsos fotoeléctricos para equilibrar las distintas áreas cerebrales”. Lo primero es elegir la luz adecuada. Algunas producen calor y podrían quemar las proteínas. Por ejemplo, la ultravioleta dañaría el ADN. Por otro lado, hay que hacer llegar la señal lumínica hasta ciertas regiones para poder estimularlas, y eso no es fácil. La luz diurna no penetra hasta el fondo del cuerpo. Para acceder a algunos sitios se necesitan longitudes de onda concretas, un problema que los biólogos comparten con los astrónomos, ya que la luz se esparce, igual que cuando atraviesa la atmósfera, y parte de ella se pierde. “Hay que desarrollar técnicas para que pueda atravesar los tejidos”, resalta Giráldez.



Belleza astronómica. El anillo verde es una aurora austral sobre la Antártida, captada desde un satélite con luz ultravioleta.

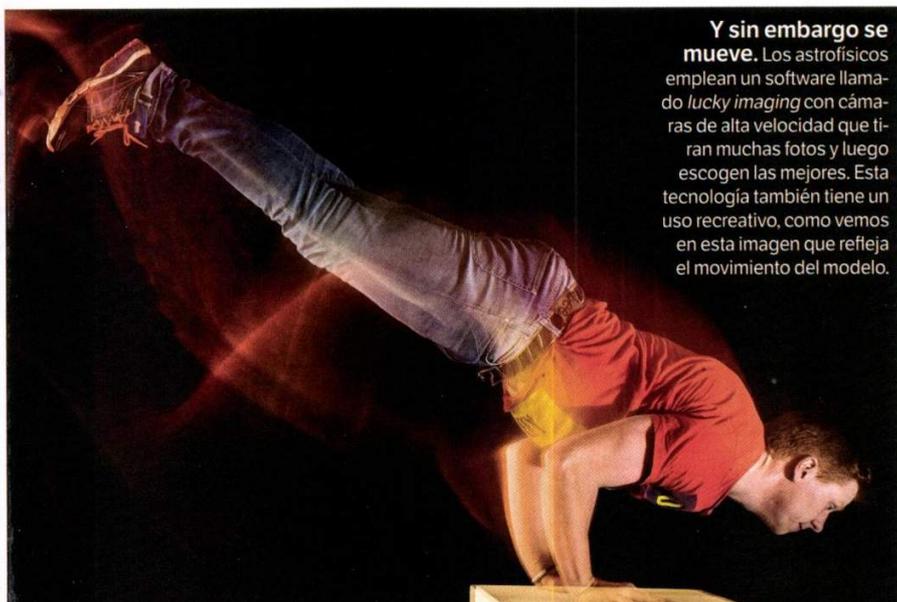
Por su parte, Rafael Fernández-Chacón, investigador del Instituto de Biomedicina de Sevilla (IBIS), estudia la fisiología molecular de la sinapsis, o sea, el proceso de comunicación entre las neuronas. Para que se produzca el intercambio de información en forma de impulso eléctrico, la célula nerviosa libera neurotransmisores gracias a la intervención de una proteína.

“Usamos proteínas fluorescentes, la gran revolución en biología, para explorar el funcionamiento del terminal nervioso”, dice Fernández-Chacón. Esta rama científica se ha bautizado como optogenética, y consiste en la combinación de técnicas genéticas y ópticas para estudiar las células de tejidos vivos con la precisión temporal necesaria, a la escala del milisegundo. La clave reside en el empleo de la luz como agente inductor.

RATONES FLUORESCENTES QUE AYUDAN EN EL LABORATORIO

Fernández-Chacón y su equipo logran, por ejemplo, que un ratón fabrique ciertas proteínas que son fluorescentes por naturaleza, como las de algunas medusas. Gracias a sus propiedades, permiten a los investigadores monitorizar su comportamiento. “Las colocamos en las vesículas sinápticas. Como son sensibles al pH del ambiente, cuando este es ácido están apagadas, pero si el pH cambia, se activan, las vesículas que van a liberar el neurotransmisor se preparan y, gracias a la fluorescencia, vemos fogañosos que hacen posible estudiar en tiempo real este fenómeno. También podemos estimular el terminal con luz y ver cómo se activa.

Las proteínas verdes fluorescentes permiten observar in vivo fenómenos clave del funcionamiento del organismo. Son una herramienta fundamental para la biomedicina”, explica, apasionado, es- >>



Y sin embargo se mueve. Los astrofísicos emplean un software llamado *lucky imaging* con cámaras de alta velocidad que tiran muchas fotos y luego escogen las mejores. Esta tecnología también tiene un uso recreativo, como vemos en esta imagen que refleja el movimiento del modelo.

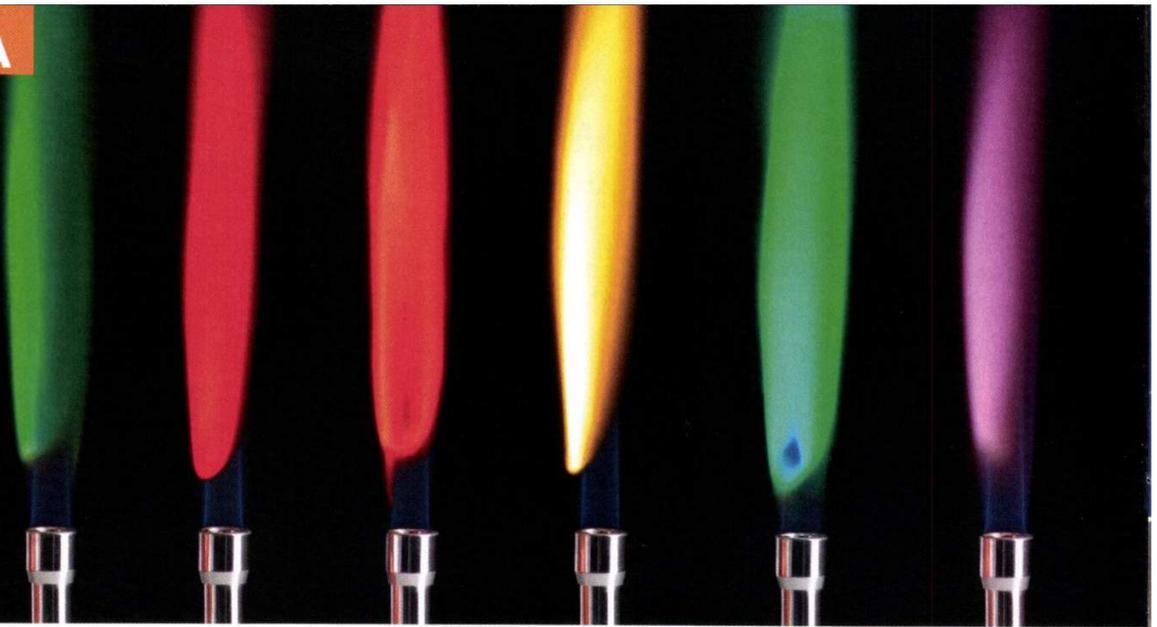
FOTO: ANTONIO TORRES



▶ 1 Diciembre, 2015

CIENCIA**Ensayo a la**

llama. Este test se usa para detectar metales. Se basa en que los electrones externos de estos –o sus iones–, al ser calentados, experimentan cambios y emiten la luz característica de su espectro. De izquierda a derecha, cobre (verde), litio (rojo), estroncio (escarlata), sodio (amarillo), cobre halogenuro (verde azulado) y potasio (lila).



» te investigador. No en vano, los profesores Martin Chalfie, Osamu Shimomura y Roger Tsien ganaron el Premio Nobel de Medicina en 2008 por el descubrimiento de este fenómeno.

“En nuestro laboratorio usamos la luz como si fuera una varita mágica”, dice Pau Gorostiza, del Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC). Este experto en nanoingeniería química investiga la forma de obtener fármacos más ajustados y con menos efectos secundarios mediante el desarrollo de compuestos inteligentes a los que añade una especie de interruptor o control remoto que le permite activarlos o desactivarlos usando diferentes tipos de iluminación, desde láser hasta ledes, luz natural o infrarrojo: “La idea es que un paciente tome la dosis adecuada del medicamento que le receten, en vez de una pastilla cada equis horas. El fármaco se quedaría circulando por la sangre pero desactivado, sin producir ningún efecto. Luego se activaría la dosis prescrita mediante la aplicación de pulsos de luz en la zona donde debe actuar. Así, se reducirían los efectos indeseados y sería mucho más eficaz”, explica Gorostiza.

MEDICAMENTOS SEMÁFORO: ACTÚAN EN FUNCIÓN DEL COLOR

Gorostiza investiga la fotosensibilización de proteínas, que, dicho sea de paso, juegan un papel clave en la maquinaria celular: “Los fármacos son como llaves que deben encajar en una cerradura concreta, la proteína, para aumentar o reducir su actividad en una situación patológica. Pero hay muchas proteínas, y algunas son muy similares. A veces, una de ellas produce resultados terapéuticos en unos órganos y efectos secundarios adversos en otros. El ibuprofeno, por ejemplo, es muy eficaz contra el dolor, pero causa problemas en el estómago. Los medicamentos fotorregulados son doblemente seguros, porque solo actúan si la cerradura está iluminada”.

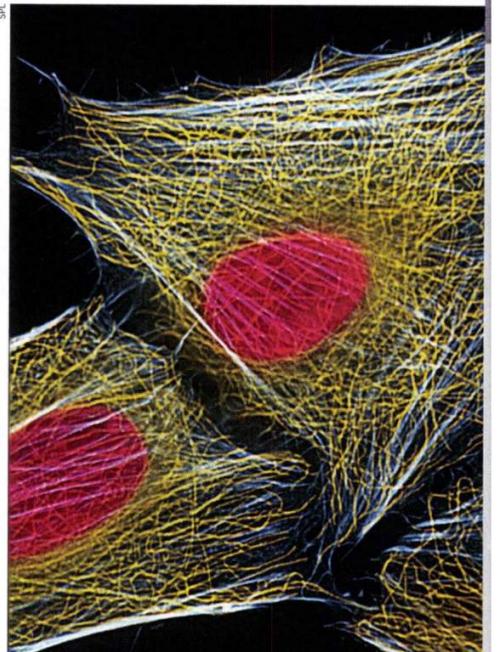
Gorostiza ha encontrado una manera de insertar una especie de antena fotosensible dentro del fármaco. Así, cuando el compuesto está plegado, el fármaco-llave se deforma y no puede unirse a la proteína diana, pero cuando está estirado, el medicamento entra en acción. Que adquiera una u otra forma depende del color de la luz. En colaboración con Amadeu Llebaria, del Centro de Investigación y Desarrollo (CID-CSIC), Gorostiza ya ha logrado desarrollar moléculas fotosensibles contra el dolor. Además, junto con Ernest Giralt, del Instituto de Investigación Biomédica de Barcelona (IRB), trabaja en moléculas reguladas mediante luz para dianas terapéuticas implicadas en cáncer.

Al desarrollo de este nuevo tipo de fármacos fotosensibles se le llama optofarmacología. Por el momento están en fase de estudio, pero los expertos creen que en un futuro no muy lejano será posible probarlos en humanos. Su validación y aprobación no será muy distinta de la de otros medicamentos tradicionales. De momento, los optofarmacólogos trabajan en tejidos expuestos a la luz, como la piel, las mucosas y la retina.

SE DESARROLLAN FÁRMACOS QUE ACTIVAN LA DOSIS NECESARIA MEDIANTE PULSOS LUMÍNICOS

También en el tubo digestivo, porque las sondas empleadas en la colonoscopia, por ejemplo, se podrían usar para iluminar de forma selectiva un tumor en el colon.

Los usos de la fotónica son amplísimos. Para Marta García-Matos y Lydia Sanmartí, del ICFO, “se trata de una herramienta de medida y detección sumamente sensible. Gracias al avance de la nanotecnología y la ciencia de materiales, se puede afinar mucho en la generación de luz con características muy específicas –de energía, dirección, polarización–, lo que proporciona un control superpreciso de la interacción con el objeto que queramos medir”. Así son ya los sensores empleados en análisis químicos, físicos y biológicos, en medicina, medio ambiente, seguridad o arquitectura. “Por poner un símil sencillo: si vemos un jersey rojo es porque de todos los colores de la luz blanca que





▶ 1 Diciembre, 2015

inciden sobre él, la prenda solo refleja el rojo y absorbe el resto. Ese mismo tipo de análisis, hablando en términos muy generales, se puede aplicar para detectar, por ejemplo, si un alimento contiene toxinas dañinas, porque si así fuera reaccionaría a la luz de modo distinto que si no estuvieran presentes. Además, será posible detectar cantidades muy pequeñas de esas sustancias; bastan unas pocas moléculas para que la luz que interacciona con ellas pueda darnos cuenta de su presencia”, explica García-Matos.

LABORATORIOS TAMAÑO CHIP PARA DETECTAR PROCESOS CANCEROSOS

En el ICFO, que es un centro de referencia en el mundo en ciencias fotónicas, están desarrollando sistemas compactos de detección y análisis: una especie de laboratorios portátiles, algo más grandes que una moneda de dos euros, que permiten comprobar, por ejemplo, la efectividad de una terapia para una enfermedad hepática o el grado de avance de un cáncer. “Son lo que se llama laboratorios en un chip, en los que se puede trabajar con células humanas como si estuvieran en el cuerpo. Estamos empezando a crear prototipos”, explica Torner, que además de dirigir el ICFO fue uno de los impulsores del Año Internacional de la Luz 2015.

Por su parte, el francés Romain Quidant, físico de la Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA), lleva siete años trabajando en tecnología nanoóptica para aplicarla al estudio y el tratamiento del cáncer: sobre un fragmento de silicio imprime circuitos en los que inserta nanopartículas de oro,



En busca del culpable. Un forense examina un vaso con una linterna de luz ultravioleta (UV) que deja ver las huellas dactilares.

invisibles al ojo humano. Este material tiene unas propiedades que lo hacen muy interesante: para empezar, su color depende del tamaño y del entorno de la partícula. Si le enganchas una molécula, el contexto cambia y, con él, su color: “Usamos una propiedad de las nanopartículas de oro, llamada resonancia plasmónica, para medir la presencia de determinadas biomoléculas como biomarcadores cancerosos”, dice Quidant.

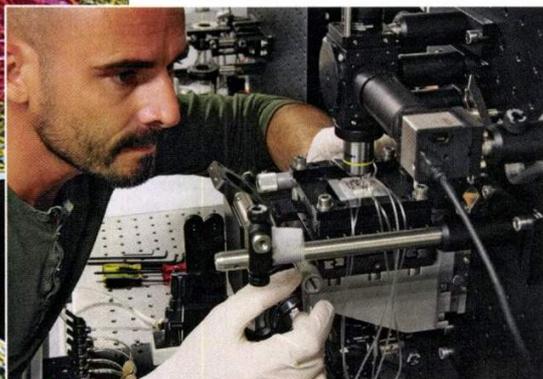
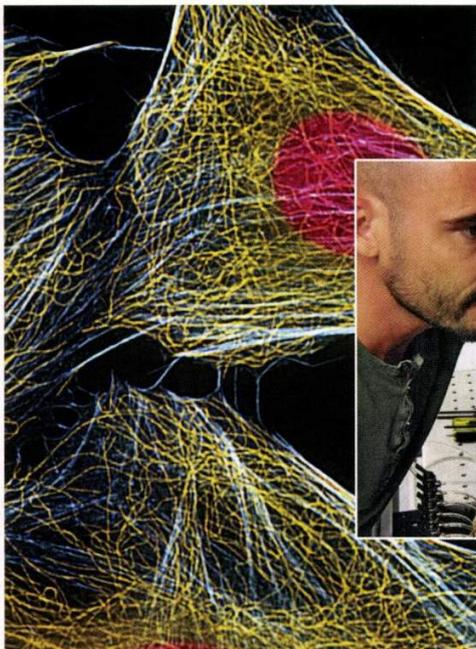
Este físico considera que “la mayoría de casos de cáncer se localizan cuando el tumor ya está formado. Mediante estos detectores podríamos hacer un diagnóstico precoz, ya que nos dan la posibilidad de tomar medidas precisas y fiables. Por ejemplo, se podría considerar la idea de que la población de riesgo pasara pruebas de forma sistemática cada cierto tiempo para ver cuáles son sus probabilidades de llegar a desarrollar un proceso maligno”.

YA SE HAN PROBADO EN ANIMALES Y LOS RESULTADOS PROMETEN

Quidant se ha centrado en la investigación oncológica, particularmente en lo que se refiere a la detección, pero este sensor se podría aplicar a otro tipo de enfermedades o a la búsqueda de sustancias tóxicas en alimentos o en el medio ambiente. ¿Cabría emplear, además, nanopartículas para tratar y curar el cáncer? “La interacción de la luz con las nanopartículas permite hacer una especie de nanocirugía y extraer del cuerpo solo los tejidos tumorales. Para ello, les colocamos a las nanopartículas de oro una molécula de reconocimiento con la que se enganchan exclusivamente a las células cancerígenas. Luego aplicamos luz desde fuera, las nanopartículas se calientan y queman el tejido”, explica este investigador.

Ya han empezado a hacer estudios in vivo con animales. El reto es demostrar que la tecnología resulta suficientemente ajustada y que ataca solo al tumor pero no al resto de tejidos sanos, a diferencia de la quimioterapia y radioterapia tradicionales. “Resulta crucial que el contraste entre células cancerígenas y sanas sea grande en términos de nanopartículas, para que al aplicar la luz dentro del tumor cree necrosis, pero fuera no tenga efectos”, dice el físico. Otro reto será estudiar cómo se eliminan las nanopartículas del cuerpo una vez finalizado el tratamiento y el efecto que podría tener su acumulación en determinados órganos, como el hígado. Quidant se muestra optimista: “Los resultados que estamos obteniendo son, por el momento, muy prometedores”. ■

Iluminando el cáncer. A la izquierda, imagen obtenida mediante fluorescencia de células HeLa, muy usadas en investigación oncológica. El físico Romain Quidant –abajo– trabaja en su laboratorio del ICREA en Barcelona con nanopartículas de oro a las que aplica luz para detectar y tratar tumores.



CORTESÍA ROMAIN QUIDANT ICREA