



LLUÍS TORNER

«La llum làser és extremadament especial»

Lluís Torner és fundador i director de l'ICFO (Institut de Ciències Fotòniques), un centre CERCA on s'investiga la llum per poder utilitzar-la en aplicacions innovadores, de frontera. La tecnologia basada en les ciències fotòniques és especialment rellevant gràcies al làser, una llum fabricada per l'ésser humà que té unes propietats extraordinàries.

*Entrevista de Àstrid Bierge
Fotografies de Jordi Play*

La llum és un fenomen molt complex. És una ona però està feta de partícules anomenades fotons. Com pot ser alhora una ona i una partícula?

—No ho és mai alhora. La llum de vegades es comporta com una ona i de vegades es comporta com una partícula, depèn de què li demanis que faci.

—Un exemple de cada cas?

—Per transmetre els senyals de ràdio, televisió, i internet, per exemple, s'utilitza la llum com una ona. En canvi, els sensors de les portes dels ascensors compten fotons. Si el sensor no rep fotons vol dir que algú està passant pel mig i per tant les portes no es tanquen.

—Veiem les coses perquè les ones de llum visible hi reboten i ens porten informació sobre com són aquestes coses. Però en realitat són els fotons —que han viatjat des del Sol o des de les bombetes— els que entren físicament dins dels nostres ulls. Com s'entén això?

—Com que n'hi ha molts, es comporten com una ona. Ara bé, els àtoms de la nostra retina poden absorbir els fotons un a un. Com que hi ha molts àtoms, la retina absorbeix molts fotons de cop. En el procés de fotosíntesi, les fulles de les plantes també capten els fotons que vénen del Sol. En són moltíssims, però és que les fulles també tenen moltíssimes molècules per captar-los.

—Ah, o sigui que la paraula fotosíntesi ve de la paraula fotons.

—Sí, però no sabem ben bé com s'ho fan les plantes per captar els fotons. Coneixem molt millor el procés químic que ve després, que utilitza l'energia d'aquests fotons per convertir aigua i diòxid de carboni en sucres. Si sabéssim exactament com les molècules de les fulles absorbeixen els fotons podríem reproduir el procés artificialment i captar la llum solar amb molta més eficiència. Actualment ja es fan imitacions aproximades, però necessitem conèixer millor el mecanisme per fer-ho amb tanta eficiència com les fulles.

—Utilitzem la llum per a una multi-

tud d'aplicacions, però la llum làser és especialment útil.

—Sí, la fòtònica és tan important precisament per la llum làser. Amb la llum convencional hi hauria aplicacions tradicionals, com la il·luminació o l'energia fotovoltaica, però la majoria d'aplicacions de la fòtònica no hi serien.

—A banda el fet que de llum làser no n'hi ha a la natura, quines diferències presenta quant a la llum convencional?

—Fer llum normal és fàcil. Cremes qualsevol cosa i obtens llum. El que passa és que cada àtom va a la seva i expulsa fotons diferents. És a dir, les ones a les quals estan associats els fotons tenen longituds d'ona diferents. Unes són verdes, les altres vermelles, les altres blaves... A més, els àtoms emeten els fotons en moments diferents, no tots alhora. I els rajos que surten són dispersos, no van en la mateixa direcció. →

Com funciona un làser?



❶ Els electrons dels àtoms envolten el nucli en diferents nivells energètics (els cercles blancs). Podem pensar que aquests nivells energètics són com els travessers d'una escala de paret i que els electrons són com el nostre peu. El peu pot estar en un travesser concret, però mai entre un nivell i l'altre. Normalment, els electrons (l'esfera blava) ocupen el nivell més baix possible, que és el que està més a prop del nucli de l'àtom (l'esfera taronja). Si rep la quantitat necessària d'energia (la fletxa negra), un electró saltarà cap a un nivell energètic superior. Aquest fenomen es coneix com a **absorció**.

❷ Quan ocupa aquest nou nivell, es diu que l'electró està excitat. És un estat molt inestable i l'electró de seguida torna al primer nivell, com quan tires una pilota a l'aire, que torna a caure. Per fer-ho, cal primer que es desprengui de l'energia que se li havia injectat, i això ho fa expulsant una partícula de llum, és a dir, un fotó (la fletxa negra en zig-zag). Aquest procés s'anomena **emissió espontània**.

❸ Si tenim un grup d'àtoms i en mantenim els electrons en un estat d'excitació perquè no baixin automàticament al nivell energètic més baix, podem crear un efecte molt interessant: fent passar entre aquest grup d'àtoms un fotó que tingui una energia concreta, farem que un dels electrons excitats torni al nivell més baix, i expulsarà no només aquest fotó sinó també un segon fotó produït per la desexcitació de l'electró. D'això se'n diu **emissió estimulada**. La gràcia de l'emissió estimulada és que els dos fotons, com soldats, són iguals: mateix color, mateixa direcció, etc. Com que posant només un fotó n'hem aconseguit dos, diem que hem amplificat la llum. A partir d'aquí, aquests dos fotons poden desencadenar el mateix fenomen a la resta d'àtoms del sistema, i per tant aviat tindrem una reacció en cadena que emetrà una cascada de fotons idèntics: la llum làser! De fet, la paraula làser ve de l'acrònim anglès Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificació de llum per emissió estimulada de radiació).

→ **—I en la llum làser no es dona aquest desordre?**

—No, la llum làser és extremadament especial. Per començar, és monocromàtica, és a dir, tots els rajos tenen la mateixa longitud d'ona. Els que es poden comprar, normalment són de raigs infrarojos o de llum visible. També n'hi ha de raigs X però són menys freqüents. En segon lloc, la llum làser és coherent, que vol dir que les crestes i les valls de totes les ones coincideixen, estan alineades. Per últim, aquesta llum és col·limada, és a dir que les ones viatgen totes en línia recta. Amb la distància, a poc a poc, es van separant, però poden viatjar grans distàncies amb poc grau de dispersió.

Per exemple, per fer funcionar els GPS cal saber amb molta precisió i a cada moment quina és la distància entre la Lluna i la Terra. La tripulació de l'Apollo 11 va

deixar a la Lluna un mirall que, gràcies a la seva forma particular, fa rebotar la llum en la mateixa direcció en què ha vingut. Si des de la Terra hi enfoques un làser, doncs, la llum arriba al mirall i després retorna. Bé, en torna només una petita part, perquè el viatge d'anada i tornada és molt llarg i travessa dos cops l'atmosfera, però arriben prou fotons per poder fer els càlculs necessaris. Segons el temps que triguin a tornar pots saber la distància exacta entre la Lluna i la Terra. Naturalment, la llum d'una llanterna no la pots enfocar cap a un punt concret de la Lluna, fer que hi arribi i fer que en torni...

—El làser també té aplicacions mèdiques.

—Sí, per a alguns càncers, per exemple, ja s'utilitzen les anomenades teràpies fotodinàmiques. S'introdueix una substància al cos que s'activa només quan hi

enfoques llum làser. Quan ho fas, la substància destrueix les cèl·lules canceroses. L'avantatge d'aquest sistema és que pots atacar només la zona que t'interessa, i per tant és una solució molt menys agressiva que la quimioteràpia, que ho ataca tot, i que la radioteràpia, que ataca l'objectiu però també tot el que troba pel camí. Les teràpies fotodinàmiques es fan servir molt per combatre càncers buccals, ja que és fàcil fer-hi arribar la llum.

—També és molt útil per poder observar i estudiar coses molt petites, a escala nano, oi?

—Sí, precisament és una de les seves avantatges. En el sector biomèdic s'utilitza molt perquè hi ha làsers que no danyen els objectes vius que es volen estudiar, que són molt petits i també molt fràgils. Per exemple, si vols veure com s'ho fa un virus per entrar en una

➕ RELACIONS NANO

Romain Quidant i Frank Koppens són dos joves investigadors de l'ICFO que excel·leixen en l'estudi de les extraordinàries interaccions que s'estableixen entre la llum i el món nano.

Un nanòmetre és una mil milionèsima part d'un metre. Quan es redueix a aquesta escala, la matèria canvia completament les seves propietats respecte a les que té a nivell macroscòpic. A l'ICFO (Institut de Ciències Fotòniques) s'investiguen maneres d'aprofitar les noves relacions que s'estableixen entre la llum i els materials a aquesta escala minúscula, tant per expandir els límits del coneixement científic com per generar aplicacions concretes.

Romain Quidant, que el 2014 va guanyar el Premi Nacional de Recerca al Talent Jove, lidera un grup a l'ICFO que estudia aquestes interaccions excepcionals entre la llum i les partícules de mida nano. Per exemple, si envies llum a una moneda d'or, no passa res que no sigui normal, la superfície metàl·lica la reflecteix i punt. "Per contra —explica Quidant— una partícula d'or que faci només unes desenes de nanòmetres, es comporta com una antena, captant uns colors molt

concrets de l'espectre de la llum i, a més, concentrant-la a la superfície del metall, com si l'atrapés. Això converteix la nanopartícula en una font de llum puntual i minúscula però superbrillant. I també en una font de calor controlable a distància, perquè la mateixa llum fa que s'escalfi".

Aquestes propietats poden tenir moltes aplicacions. Per exemple, la llum concentrada a la superfície de la nanopartícula es pot fer servir per atrapar objectes molt petits. Cal tenir en compte que la llum té la capacitat d'exercir una força sobre un objecte. Per tant, com unes nanopinces òptiques, aquesta llum és capaç d'aïllar i immobilitzar molècules soltes, cosa que en facilita molt l'estudi als científics.

La nanoòptica també genera aplicacions directament útils per a la societat que l'equip de Quidant va desenvolupant gràcies al suport filantròpic de la Fundació Privada Cellex. Per exemple, ja tenen un

prototip d'un nanosensor pensat per detectar malalties en estadis molt precoços, quan els marcadors que deixen encara són d'escala molecular. Aquests xips contenen nanopartícules brillants cobertes amb anticossos. Són específics, capturen els marcadors moleculars d'una malaltia concreta. Quan passes la mostra pel sensor, sang per exemple, si el pacient està desenvolupant aquella malaltia, els anticossos s'enganxen als marcadors i, com que l'entorn de la nanopartícula canvia, la llum que emet també canvia de color. Malaltia detectada. També es podria fer servir per detectar toxines al menjar o a un riu, per exemple. Una tècnica similar permetria destruir cèl·lules malaltes dins del cos. Un cop els anticossos les troben i s'hi adjunten, els científics il·luminen la zona amb làser perquè les nanopartícules s'escalfin i cremin les cèl·lules malaltes. Només les malaltes. El grup de Quidant ja ho està fent amb ratolins.

cèl·lula, pots enganxar-li una proteïna que emeti llum fluorescent quan l'enfoques amb una llum làser determinada. Aquesta fluorescència és captada per uns sensors i per tant es pot fer un seguiment, en aquest cas, del virus. Es pot triar amb molta precisió el color de la llum làser que li cal rebre a una proteïna concreta per expulsar llum fluorescent.

Amb tècniques similars també es poden veure cèl·lules malaltes concretes, per exemple de càncer o neurones afectades per la malaltia d'Alzheimer. Es pot saber quines diferències presenten amb les cèl·lules sanes, ja sigui a nivell químic o estructural. Aquestes tècniques es poden utilitzar amb molt poca llum, i per tant, insisteixo, no es danya l'objecte d'estudi. Això és imprescindible per poder veure què passa. A l'altre extrem, també hi ha làsers molt potents que poden destruir cèl·lules malaltes, i a l'ICFO també s'investiga en aquest sentit.

—Hi ha làsers molt energètics que es fan servir per tallar moltes capes de teixit alhora o per soldar metalls. Els que s'utilitzen per a les operacions de retina com són?

—En aquests casos els làsers s'utilit-

zen per polir una superfície que té una curvatura equivocada. Per tant, cal arrencar matèria, i això implica l'ús de làsers molt potents. Ara bé, no són nocius perquè es fan servir flaixos de llum extremadament curts. Malgrat que siguin molt energètics, com que van tan ràpid no fan mal. És com una agulla, que fa menys mal si la claves ràpid que si la claves lentament.

—La tecnologia de la informació també s'ha beneficiat molt del làser. Un exemple clar són els CD i DVD. Si els mirem amb un microscopi es veuen marques. Què són?

—Són marques que representen zeros i uns, el llenguatge digital en el qual estan codificats els sons i les imatges. Quan el làser hi passa per sobre, les lleigeix.

—D'una manera similar a un dit lleigint braille?

—Sí, però els CD ja estan molt passats de moda. A l'ICFO investiguem maneres molt més innovadores d'utilitzar la llum per captar, enviar i projectar informació.

—Expliqui, expliqui.

—En un mòbil, per exemple, hi ha diversos elements en què la llum juga un paper essencial, com ara la pantalla o la

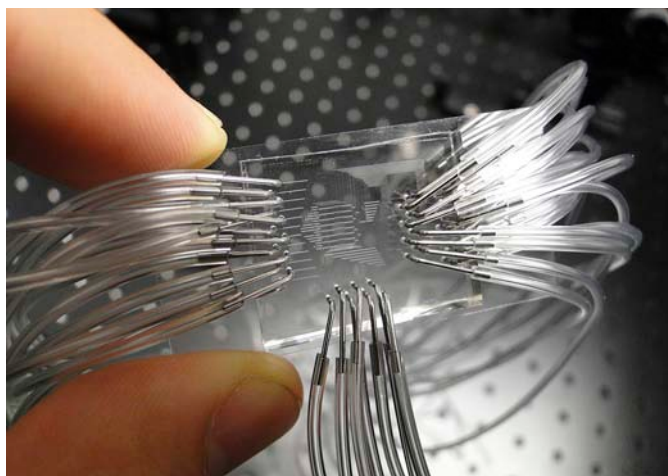
càmera. Per fer una pantalla tàctil o una càmera tan prima calen materials molt especials, i nosaltres investiguem materials com el grafè que podrien donar als dispositius electrònics capacitats noves. En aquest àmbit s'utilitzen els làsers per poder estudiar els materials a escala nano, però les aplicacions finals que busquem funcionarien amb llum convencional. També és el cas de les aplicacions del camp de l'energia fotovoltaica. Nosaltres investiguem per obtenir materials capaços de captar més fotons. O que en captin els mateixos però que no siguin materials tòxics. O que en captin menys però que surtin més barats.

—A l'ICFO es fa recerca sobre la tecnologia làser mateix?

—Només ho fa un dels grups, que investiga sobre com poder fer làsers sintonitzables. És a dir, làsers als quals es pugui canviar el color de la llum que emeten, com si sintonitzessis una emissora de ràdio. La resta de grups creen aplicacions que requereixen la tecnologia làser o que la utilitzen per estudiar materials i fer altres tipus d'aplicacions fotòniques. La gràcia de la llum és que et permet fer un munt de coses! ●

A escala nano alguns materials també poden adoptar propietats optoelectròniques, i poden convertir senyals òptics —llum— en senyals electrònics i viceversa. És el cas del grafè, el material estrella de la recerca feta per un grup de l'ICFO liderat per Frank Koppens, Premi Nacional de Recerca al Talent Jove 2015. El grafè, que és una capa de carboni de només un àtom de gruix, és un nanomaterial amb propietats molt diferents de les que té la fràgil mina d'un llapis, feta de grafit, és a dir, de moltes capes de grafè posades les unes sobre les altres. És extremadament fi, lleuger, dur, flexible i un dels millors conductors del món. S'hi poden fer meravelles, en un futur el podrem trobar a molts dels nostres dispositius electrònics, que passaran a ser flexibles i molt més eficients.

Aquest grup de l'ICFO ja ha desenvolupat alguns prototips, com ara un *wearable* prim i flexible que es posa al canell i és ca-



Aquest lab-on-a-chip és un dispositiu desenvolupat pel grup de Romain Quidant i pensat per poder fer diagnòstics precoços.

paç de monitoritzar contínuament el ritme cardíac i la concentració d'oxigen de la sang de la persona que el porta. "Quan la llum entra al cos a través de la pell, la part que en torna a sortir porta informació sobre la sang. El grafè integrat al *wearable* la recull

i converteix aquests senyals òptics en senyals elèctrics", explica Koppens.

També han ideat un fotodetector fet de grafè i d'unes partícules anomenades nanodots que és capaç de captar la llum infraroja. Aquest fotodetector es podria

integrar en unes ulleres per poder veure-hi de nit, es podria fer servir en el camp de la imatge mèdica, per monitoritzar la qualitat de l'aire i fins i tot pel control alimentari: "Pots enfocar el fotodetector a una poma i et diu si està o no en bones condicions".

Amb el seu grup, Koppens també treballa per integrar la tecnologia nanoòptica a la transmissió de dades. "Els ordinadors s'escalfen molt perquè la informació viatja a través d'uns cables, però si substituïm aquests cables per llum, el consum energètic baixaria molt". De nou, el grafè és imprescindible, ja que estaria integrat als petits canals per on viatjaria la llum —que portaria la informació—, i s'encarregaria de convertir els senyals òptics en senyals elèctrics. "Aquesta tecnologia serà cabdal a l'era de la Internet de les Coses, en què es generaran i transmetran cada cop més dades", assegura Koppens.