

## La revolución del grafeno

Casi una década después de su descubrimiento, este material flexible, transparente y extremadamente resistente comienza a salir del laboratorio. Los expertos creen que abrirá la puerta a una nueva era en campos como la electrónica y la aeronáutica

**D**URANTE años hemos oído hablar de las extraordinarias cualidades del grafeno y de su infinidad de aplicaciones potenciales. Electrónica, medicina, energía, aeronáutica, construcción... Hay pocos sectores en los que el grafeno no se perfila como uno de sus ingredientes del futuro. Casi una década después de su descubrimiento este material de gran resistencia, transparente, flexible y muy delgado (sólo tiene un átomo de grosor) comienza a salir del laboratorio. En pocos años comenzarán a comerciali-

TERESA GUERRERO

zarse los primeros productos fabricados con este material que, según aseguran algunos científicos, estará tan presente en nuestra vida cotidiana como el plástico en la actualidad.

«Nunca se había visto tal conjunto de propiedades exóticas en el mismo

«Nunca se había visto tal cantidad de propiedades en el mismo material»

material y, en mi opinión, es improbable que vuelvan a aparecer juntas», apunta Francisco Guinea, considerado uno de los mayores expertos mundiales en grafeno. «Es el material más fino (tiene la anchura de un átomo). Pese a ser así de delgado, es extraordinariamente robusto y no se rompe. Conduce muy bien la electricidad, mejor que el cobre o la plata, por ejemplo. Es muy resistente químicamente y mantiene su integridad mejor que ningún otro material, es impermeable... Hay toda una lista de lo que llamamos los superlativos del grafeno que abarca muchas otras

características», resume el investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC). «Otra ventaja es que es extraordinariamente ligero. Por ello, va a tener mucho interés para todas aquellas aplicaciones en las que sea crucial que haya poco peso, como en la industria aeroespacial», añade. El gigante Airbus, por ejemplo, investiga desde su laboratorio de Getafe cómo incorporar este material a sus aeronaves.

«En tan sólo nueve años ha habido un increíble avance, no sólo en el estudio de sus propiedades fundamentales (en universidades y centros de

investigación), sino también en la elaboración de un itinerario para su aplicación en la industria y su comercialización», destaca Elsa Prada, investigadora de la Universidad Autónoma de Madrid. «Gobiernos y empresas privadas han comprendido que es un material en el que conviene invertir».

El interés de EEUU y los países asiáticos por posicionarse en la carrera del grafeno es grande. La Unión Europea, por su parte, destinará 1.000 millones de euros en la próxima década a su investigación a través de su programa Flagship FET.

Pasa a pág. 2



**EL NUEVO PLÁSTICO.** Los científicos creen que el abanico de aplicaciones del grafeno es tan amplio que en unos años estará tan presente en nuestras vidas como el plástico en la actualidad. Hay varios métodos para producirlo y básicamente se comercializa en formato lámina, en polvo y en óxido. El reto ahora es conseguir fabricar a gran escala grafeno de muy alta calidad. / JUSTY GARCÍA KOCH

**Viene de pág. 1**

La primera etapa de este proyecto europeo comenzará en octubre y constará de 30 meses. Para este periodo, la financiación será de 60 millones de euros, de los que las empresas y grupos de investigación españoles obtendrán el 12%.

«Sus propiedades son interesantísimas. Ahora hay que ver si de verdad podemos explotarnos a nivel industrial y tecnológico. Tengo grandes expectativas puestas en este material, aunque creo que quizás termine siendo algo menos de lo que se ha prometido», señala Cristina Gómez-Navarro, investigadora de la Universidad Autónoma de Madrid.

Luis Martín Moreno, coordinador del Grupo de Nanofotónica del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA), destaca que se trata de «un material extremadamente fino del que podemos cambiar sus propiedades electromagnéticas de manera sencilla». Y es que, según compara, «una hoja de papel es un millón de veces más gruesa que el grafeno». Para Martín, la mayor ventaja de este material es que «en él coinciden una gran cantidad de propiedades espectaculares. Las diversas combinaciones de ellas darán lugar a muchas aplicaciones», señala. No obstante, advierte que «todavía queda mucho trabajo por hacer a la hora de mejorar sus propiedades», por lo que subraya la importancia «de hacer la mejor ciencia básica posible. Los usos y las aplicaciones pueden tardar en llegar», afirma Martín, cuyo grupo participa en el proyecto Flagship FET.

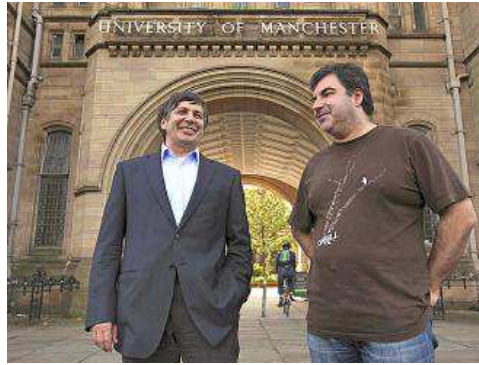
En esa tarea, la de hacer ciencia básica, siguen inmersos los Nobel de

Física Andre Geim y Konstantin Novoselov, los científicos que obtuvieron grafeno por primera vez en 2004 y con los que Francisco Guinea mantiene un estrecho contacto profesional: «Ellos consideran, y yo estoy muy de acuerdo, que el primer paso que hay que dar es de ciencia fundamental. Y a partir de ahí se abre el camino a las aplicaciones», apunta Guinea, que el pasado jueves recibió la Medalla concedida este año por la Real Sociedad Española de Física y la Fundación BBVA. «El grafeno es excelente para hacer metamateriales, nuevos desarrollos importantes para entender la naturaleza, y ellos prefieren centrarse en ello. Por supuesto, saben cuáles van a ser las aplicaciones y no las desprecian, pero no están interesados en desarrollarlas ni en patentarlas», añade.

Según enumera Elsa Prada, los países líderes en investigación en grafeno son Inglaterra, EEUU, Alemania, España, Holanda y Japón. Por lo que respecta a los que están en la cabeza en el desarrollo de aplicaciones, China es el que más patentes tiene. Le siguen Corea del Sur (con Samsung), EEUU (a través de IBM), Finlandia (con Nokia) y Holanda (con Philips).

Las empresas de nuestro país también están bien posicionadas en el emergente mercado del grafeno. «España es líder en el desarrollo de métodos de producción», señala Prada, que participará en el congreso internacional anual que este año se celebrará el 2 al 8 de junio en Chemnitz (Alemania) y que constituye la mayor cita mundial sobre este material. España es también una de las naciones que más grafeno fabrica y exporta.

«Uno de los obstáculos en la ac-



Andre Geim (l) y Konstantin Novoselov, en la Universidad de Manchester. / AP

## Los pioneros que usaron lápiz y celo para sintetizar el grafeno

El grafeno nació en 2004 en un laboratorio de la Universidad de Manchester. Allí fue donde, utilizando simplemente un lápiz y cinta adhesiva, los científicos de origen ruso Andre Geim (Sochi, 1958) y Konstantin Novoselov (Nizhny Tagil, 1974) consiguieron sintetizar por primera vez este versátil material, que hasta entonces sólo había sido descrito teóricamente. Como ha sucedido con muchos otros descubrimientos, el de este material se produjo casi por casualidad, al experimentar con una cinta adhesiva con la que lograron obtener una capa de grafeno del grafito. El hallazgo fue reconocido seis

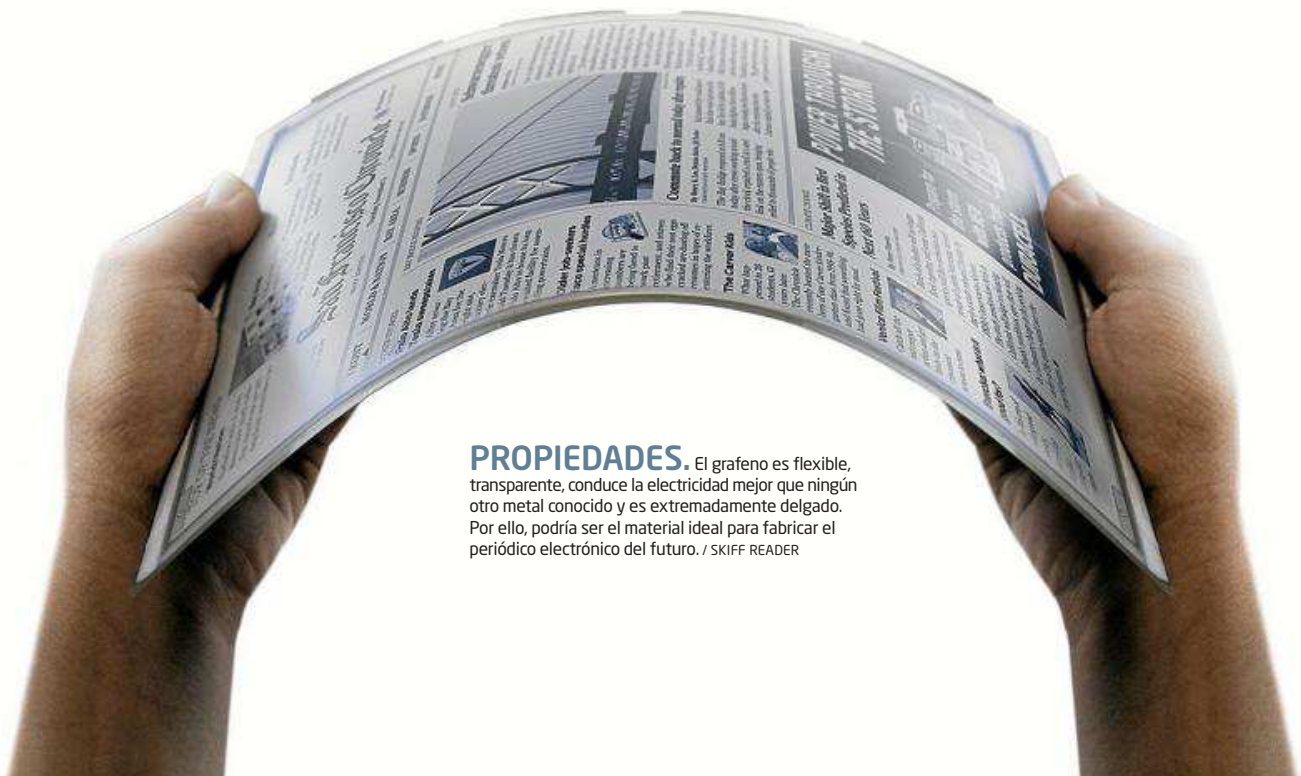
años más tarde con el Nobel de Física 2010. Novoselov, que entonces tenía sólo 36 años, se convertía así en uno de los científicos más jóvenes en lograr el premio científico más prestigioso. Geim y Novoselov siempre han procurado dar la mayor difusión posible a su hallazgo, invitando a su laboratorio a otros científicos para enseñarles cómo sintetizar grafeno y regalándoles muestras para que repitieran los experimentos. Su generosidad ha contribuido a fomentar el interés por este material y está propiciando un rápido avance en el desarrollo de formas de producción y en nuevas aplicaciones. /TG

tualidad es producir grafeno a gran escala con muy buena calidad e integrarlo en la tecnología que ya se conoce para sustituir a otros materiales», señala Cristina Gómez-Navarro.

«Todavía no existe la producción a gran escala. Nosotros, que somos los mayores productores de grafeno en polvo a nivel mundial, producimos a escala moderada, entre dos y tres toneladas al año», explica Julio Gómez, director de Avanzare, una empresa situada en Navarrete, cerca de Logroño, que cuenta con 24 empleados. «Su precio depende del tamaño y la calidad, pero ha bajado ya significativamente. Ahora cuesta un 15% de lo que valía, y va a seguir bajando, por supuesto», asegura

Graph Nanotech, filial del Grupo Antolín, produce en su planta de Burgos grafeno de muy alta calidad a partir de nanofibras de carbono, «un producto que sigue siendo muy caro y con un mercado muy restringido centrado principalmente a fecha de hoy en la investigación», según explica una portavoz de la compañía. La mayoría de sus clientes son empresas de electrónica radicadas en Europa (principalmente en Alemania y en Japón). Graphenea (en San Sebastián) y Graphenano (en Alicante y Ciudad Real) son otras dos empresas españolas punteras en este campo.

«Dependiendo de la sofisticación de la aplicación concreta, se requiere grafeno de mayor o menor calidad», explica Elsa Prada. «Para las más sencillas, como las pinturas conductoras, recubrimientos de superficies o endurecimiento de materiales, puede ser de menor calidad. Por eso se estima que estarán en el mercado muy pronto. Otras un poco más so-



**PROPIEDADES.** El grafeno es flexible, transparente, conduce la electricidad mejor que ningún otro metal conocido y es extremadamente delgado. Por ello, podría ser el material ideal para fabricar el periódico electrónico del futuro. / SKIFF READER

fisticadas, como pantallas táctiles, papel electrónico enrollable u OLED que se pueda plegar, necesitan calidad media y dependen no sólo de la producción del grafeno, sino también del control de su transferencia y depositado sobre otros materiales. Podrían comercializarse entre 2015 y el 2020. Las aplicaciones basadas en grafeno de alta calidad, como transistores de alta frecuencia y transistores lógicos, tendrán el desafío de competir con tecnologías actuales basadas en compuestos semiconductores, y se estima que serán competitivos a partir del 2020-30. Por último, dispositivos de alta tecnología basados en propiedades exclusivas de grafeno (como baterías, supercondensadores, bioaplicaciones) llegarían hacia 2035», calcula.

Tomás Palacios lleva casi siete años trabajando con grafeno en el departamento de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Según explica, su centro «fue el primero en in-

vestigar el grafeno desde el punto de vista de la ingeniería, buscando aplicaciones». Para Palacios, «una de las grandes novedades que ha aportado el grafeno al mundo de la ingeniería es que ha hecho que los científicos empiecen a pensar en materiales que

## España lidera el desarrollo de métodos para producir grafeno

son tremendamente finos. El grafeno ha sido el primero, pero desde su aislamiento han descubierto una familia de materiales de dos o tres átomos de espesor, que tienen propiedades complementarias», señala.

Pero antes de comercializar un material hay que analizar su posible impacto en la salud y el medio am-

biente. ¿Es seguro el grafeno? «Desde el punto de vista de la salud, tiene pocas contraindicaciones porque es carbono y nosotros estamos hechos de carbono. Sin embargo, hay otros productos, como los nanotubos de carbono que, debido a su forma (son como agujas) pueden suponer un riesgo. Pero el grafeno es una lámina y no tiene ese problema. Es muy biocompatible y biodegradable. La UE hace mucho hincapié en esos problemas, como es lógico, pero hasta ahora no se ha visto ninguna contraindicación seria», señala Francisco Guinea. Tomás Palacios, por su parte, afirma que «hay que realizar estudios toxicológicos para asegurarse de que no perjudica la salud».

También sobre sus usos queda mucho por descubrir y Palacios cree que lo mejor llegará de aquí a cinco años: «Cuando un material es muy novedoso las mejores aplicaciones son aquellas que son únicas, las que ningún otro puede tener. Por eso yo creo que lo mejor está por llegar».

## Del laboratorio a nuestra vida cotidiana

POR CÉSAR ROMERO

Sobre el grafeno se ha dicho mucho, pero queda todavía mucho por hacer. Como ante la presencia de la chica guapa en la fiesta, a los científicos nos dicen: «¡Ahí la tienes, báiala!». En investigación básica hay que seguir explorando las propiedades asombrosas de este material. Una línea muy prometedora para la sustitución del silicio en la informática es el estudio del magnetismo en grafeno para que una misma lámina pueda contener varios chips, lo que conducirá a una mayor miniaturización. La movilidad de los electrones en el grafeno permitirá dispositivos mucho más rápidos que los actuales y la dureza del material hará posible que sean mucho más resistentes a los golpes.

Tecnológicamente es posible modular sus propiedades induciendo defectos a escala atómica, es decir, quitando átomos de una misma lámina de manera controlada surge un material con propiedades distintas. El grafeno es un material inerte pero modificándolo químicamente (lo que nosotros llamamos funcionalizar) se podrán desarrollar minúsculos detectores de cualquier magnitud (temperatura, humedad, contaminación...).

También está presente en el campo de la investigación médica ya que, al estar formado únicamente por carbono, la biocompatibilidad está asegurada. Las propiedades ópticas del grafeno (la manera en que interactúa con la luz) va a revolucionar el campo de la energía y el medio ambiente: celdas solares basadas en grafeno mejorarán la eficiencia de las actuales y producirán mucha más corriente eléctrica aprovechando la luz del Sol. Otro resultado muy prometedor es el diseño de baterías basadas en grafeno para poder así almacenar electricidad en un volumen mucho más pequeño que las pilas convencionales.

También la industria tiene ante sí un reto. Las propiedades del grafeno son consecuencia muy directa de la simetría y la industria ha de ser capaz

*Es un descubrimiento europeo y debemos aprovechar la ventaja de haber llegado antes*

de producir masivamente grafeno con absoluta perfección estructural y con el tamaño preciso de lámina que necesite el cliente. Nuevas empresas, también en España, se dedican a eso en exclusiva. Investigación básica e industria no son excluyentes. Muchas empresas nanotecnológicas han salido de los laboratorios. Han de ser capaces de realimentarse para beneficio mutuo.

Europa y sus instituciones políticas han de afrontar el reto de liderar esta revolución tecnológica. El grafeno ha sido un descubrimiento europeo y debe ser una prioridad geoestratégica. Hemos de aprovechar, y más en un mundo globalizado y competitivo, la ventaja de haber llegado antes. Como tantas veces en la Historia, los retos superados de hoy serán los logros de mañana. El grafeno ya no es una utopía y muy pronto formará parte de nuestra vida cotidiana.

César Romero es doctor en Física por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).



El grafeno permitirá fabricar teléfonos móviles flexibles y más resistentes. / SAMSUNG

### APLICACIONES TECNOLÓGICAS

## Electrónica flexible y de muy bajo coste en cada rincón

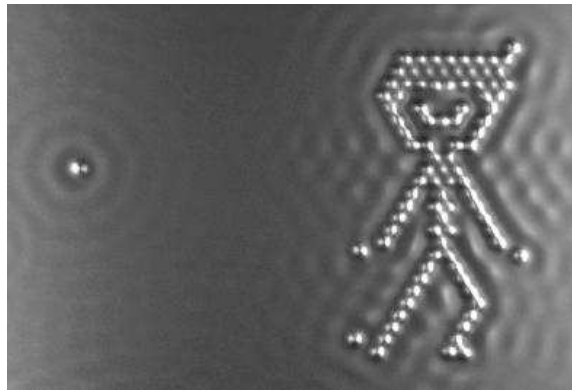
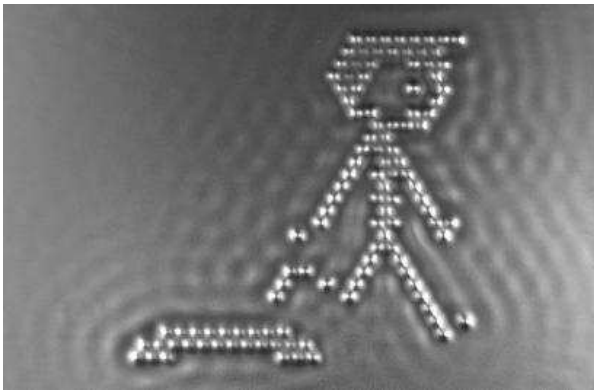
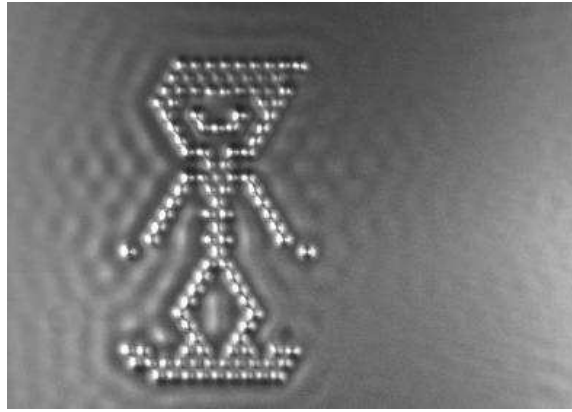
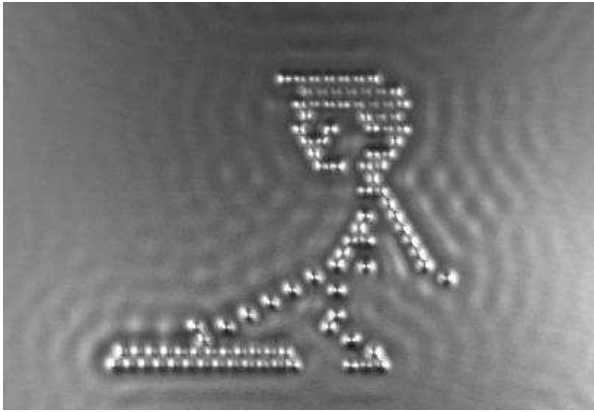
El grafeno permitirá el desarrollo de una nueva generación de dispositivos transparentes, plegables e incluso enrollables

**A**ndre Geim ya ha visto un móvil flexible en China. Lo ha fabricado una empresa de que la que no puede revelar el nombre, según contó el Nobel de Física a Francisco Guinea durante su último encuentro. Otras compañías, como Samsung, trabajan ya en prototipos fabricados con grafeno, un material que en pocos años hará realidad una nueva generación de dispositivos electrónicos flexibles: móviles, tabletas y periódicos enrollables. Por otro lado, permitirá fabricar baterías mucho más duraderas y de recarga rápida. «El grafeno combina dos propie-

dades que son muy difíciles de encontrar en un material: una alta conductividad eléctrica y una gran flexibilidad. Y esto lo hace muy prometedor para su uso en tabletas enrollables y electrónica flexible», explica Cristina Gómez-Navarro, que cree que tardarán entre cinco y 10 años en estar en el mercado.

«Es difícil hacer predicciones, pero creo que en cuatro o seis años el periódico enrollable podría estar en el mercado», señala Tomás Palacios, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. «Pero para lograrlo no sólo hay que desarrollar grafeno, sino también otros materiales adicionales», explica. El futuro que imaginan

en su laboratorio del MIT parece ciencia ficción: «La electrónica que tenemos hoy en día ha cambiado nuestras vidas, pero el número de objetos que tiene electrónica es muy pequeño. Los nuevos materiales como el grafeno van a posibilitar lo que llamamos la electrónica ubicua, pues estará presente en todos los objetos de la vida diaria porque va a ser de muy bajo coste y se podrá fabricar en grandes cantidades», adelanta. Según sostiene, podremos empapelar las paredes de casa o cubrir el escritorio con una especie de papel electrónico que permitirá utilizar dispositivos de forma inalámbrica al entrar en contacto con él.



**CINE.** Con el título *El chico y su átomo*, los científicos de la compañía IBM han creado la película más pequeña del mundo. El vídeo animado, de 90 segundos, fue realizado con un microscopio diseñado para IBM por el Nobel de Física Heinrich Rohrer, que falleció el 16 de mayo. En él se muestra el movimiento de los átomos aumentados 100 millones de veces. / IBM

## La fascinante danza molecular en nuestras pantallas electrónicas

AMADOR MENÉNDEZ VELÁZQUEZ

Para el Principito de Antoine de Saint-Exupéry, «lo esencial es invisible a los ojos». Y lo esencial de la materia, los átomos y moléculas de los que todo y todos estamos hechos, también son invisibles a nuestros ojos, pero no sus efectos. Por sorprendente que le parezca, cada vez que pasa página en su iPad o su *e-book*, está asistiendo a una fascinante danza molecular que tiene como escenario la pantalla de estos dispositivos. Es esta sofisticada danza la que hace posible la visualización de los contenidos en la pantalla.

Cuando usted lee las páginas de este periódico en su edición impresa no está consumiendo energía alguna, el papel no requiere de ninguna fuente de alimentación externa. No ocurre así si usted lee el periódico en las pantalla de su ordenador, del iPad u otra *tablet*. Retener la imagen en la pantalla conlleva un gasto energético continuo, consecuencia del chorro de luz emergente de la parte trasera de la pantalla para formar la imagen. Es lo que se conoce como retroiluminación.

La ventaja de la pantalla es que usted puede actualizar fácilmente la imagen, mientras que la página de su periódico o libro impreso ya es inmutable para siempre. El objetivo del MIT Media Lab (del Instituto de Tecnología de Massachusetts) era crear un dispositivo híbrido que combinase el gasto

energético nulo del papel con la naturaleza camaleónica de las pantallas. Y lo consiguieron. Corría el año 1998 y aparecía la tinta electrónica.

El popular lector de libros Amazon Kindle incorpora la tinta electrónica desarrollada en el MIT y comercializada a través de E Ink. Cuando usted lee una página de un libro en ese dispositivo, el gasto energético es nulo. Y es que no hay ninguna luz que emerja desde la parte trasera del mismo para dibujar la imagen, motivo por el que también es más amigable para nuestra vista. Lo que está viendo son millones de nanopartículas de color blanco o negro, que agrupadas y orientadas adecuadamente trazan un texto o los contornos de una fotografía. Cuando pasa página, las partículas se reorientan adecuadamente para dibujar la nueva imagen y ese es el único momento en el que hay gasto energético. Las partículas están cargadas para poder ser orientadas bajo la acción de campos eléctricos, un procedimiento conocido como electroforesis.

A pesar de las innegables ventajas, esta tecnología también tiene sus limitaciones: la paleta de colores se restringe al blanco y negro y, además, la velocidad de rotación de las partículas no es suficiente para soportar vídeo. La tinta electrónica del *e-book* nos acerca a un dispositivo muy eficiente

energéticamente, pero con una capacidad multimedia limitada. En contraposición, las pantallas de cristal líquido de los *smartphones* y *tablets* proporcionan buenas prestaciones multimedia, pero son muy ineficientes desde un punto de vista energético. ¿Podemos combinar lo mejor de ambos mundos? ¿Podemos aumentar la eficiencia ener-

*La nanotecnología va a permitir multiplicar por 10 la duración de las baterías reciclando la energía*

gética de los LCDs (siglas inglesas de pantallas de cristal líquido) sin sacrificar su capacidad multimedia? Desde el nanomundo emergen prometedoras soluciones.

En los dispositivos electrónicos que utilizamos en la actualidad como teléfonos móviles, el iPad u otras *tablets*, las pantallas dominan la superficie frontal del dispositivo y consumen hasta el 90% de su energía, debido al alto coste energético que supone la retroiluminación. Y además de consumir mucha energía, esta estrategia conlleva un gran desaprovechamiento de la misma. Y es que de esta luz trasera, sólo entre el 4%

y el 8% llega a nuestros ojos. El resto queda atrapado en diferentes filtros ópticos (de color y de contorno), perdiéndose en forma de calor. En cada pixel se debe decidir si pasa o no pasa la luz y qué colores o componentes del espectro lumínico pasan. Diferentes moléculas actúan a modo de válvulas permitiendo o bloqueando este paso de luz. Se trata de una exquisita danza sincronizada de moléculas y fotones.

En la tecnología convencional, se utilizan moléculas puramente absorbentes, perdiéndose la luz bloqueada por las mismas en forma de calor. En nuestros laboratorios investigamos en una tecnología que permita el reaprovechamiento de esta luz bloqueada. Para ello, reemplazamos las moléculas puramente absorbentes por moléculas fluorescentes. Así, una vez capturada la luz se vuelve a remitir y puede volver a reutilizarse, en vez de perderse en forma de calor.

Mediante este «reciclaje de la luz» se consigue un importante ahorro energético. Además, este sistema molecular también posibilita la captura de la luz ambiente (solar o procedente de interiores), evitando así reflejos innecesarios y aumentando el contraste, al tiempo que se genera energía.

En condiciones de luz artificial, la duración de las baterías podría multiplicarse por diez o quince y bajo condiciones de luz natural los dispositivos podrían llegar a ser autónomos energéticamente. En un mundo donde todo apunta hacia lo inalámbrico, la nanotecnología podría tener la llave para cortar el último cable que nos mantiene atados, el de la electricidad.

*Amador Menéndez Velázquez es investigador del Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias (ITMA) y del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en EEUU. Premio Europeo de Divulgación Científica.*