



CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS  
CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITÁRIOS



Agencia Española  
de Cooperación  
Internacional  
para el Desarrollo

## Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica Comunidad de Educadores Iberoamericanos para la Cultura Científica

### PRÓXIMAMENTE EN SUS PANTALLAS: EL GRAFENO



REFERENCIA: **3ACH70**

Las nuevas fronteras de la materia y la energía



**sociedad**

# Líbano y Kuwait también estudian cerrar la puerta a la Blackberry

# Próximamente en sus pantallas: el grafeno

Posible competidor del silicio, este derivado del grafito apunta como material del futuro ● Los dispositivos táctiles podrán enrollarse ● Nuevos y viejos formatos convivirán un tiempo

---

MIGUEL CALZADA

Puede que en unos años el valle más famoso de la era de la informática tenga que cambiar de nombre. Al norte de California, entre montañas y autopistas, una extensa aglomeración de empresas de nuevas tecnologías es conocida como Silicon Valley, en inglés valle del silicio, elemento químico con el que se fabrican los microchips. Pero el futuro, dicen algunos expertos y muchas publicaciones científicas, está en los chips de grafito, un material resistente, transparente y extremadamente flexible.

Científicos surcoreanos acaban de construir la primera pantalla táctil de este material. Tiene 30 pulgadas y puede doblarse y enrollarse hasta ocupar un espacio mínimo. IBM, el gigante de la informática, presentó este invierno sus primeros chips de grafeno, 10 veces más veloces que los de silicio. Los fabricantes de baterías para móviles anuncian que mejorarán su producto gracias a este derivado del grafito, con el que también está hecha la radio más pequeña del mundo, diseñada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). ¿Estamos ante una nueva revolución que traerá ordenadores aún más rápidos y pantallas aún más pequeñas? ¿O hablar del *valle del grafeno* es tan solo fantasía?

Las pantallas del futuro serán flexibles, eso está claro. Los principales fabricantes se afanan en buscar nuevas fórmulas, no solo de grafeno sino también de tecnología OLED, basada en una capa que emite luz y está formada por componentes orgánicos (polímeros). También se intenta hacer *papel electrónico* con óxidos de metal o variantes del silicio *clásico*, como silicio cristalino o sus combinaciones con el caucho, bastante más elástico.

El instituto de nanotecnología en el que han desarrollado la primera pantalla táctil de grafeno, en la Universidad Sungkyunkwan de Seúl, ha conseguido llamar la atención de las grandes compañías. El sector está inquieto. Pantallas que se doblan como un papel y que dentro de poco, según James Tour, de la Universidad de Rice (Houston) y uno de los químicos más prestigiosos de la última década, podrán enrollarse "hasta for-

mar un pequeño lápiz que nos pondremos tras la oreja". Samsung, líder mundial en diversas ramas de la industria electrónica, ya ha anunciado que en dos años comercializará un artilugio parecido.

¿Qué ocurrirá entonces con los *netbooks*, esos pequeños ordenadores que coparon el mercado el año pasado y que parecían el último grito? ¿Y qué será del iPad de Apple? En sus cuatro primeros meses de vida, se han vendido más de tres millones de esta tableta ultraportátil que hace las veces de ordenador y teléfono. Pero incluso el gran invento de 2010 dejaría de tener sentido si sale al mercado una pantalla que pesa menos y que, extendida, es más grande y nítida, mientras que, enrollada, ocupa mucho menos espacio.

Para Chema Lapuente, divulgador tecnológico y director del programa de radio *SER Digital*, no se trata de la posible desaparición de los portátiles o del iPad. Es algo que va mucho más allá: “Tengo clarísimo que las pantallas enrollables en color, las que realmente vas a poder llevar a cualquier lado, son el futuro. No es solo que vayan a acabar con los portátiles más pe-

Es barato, flexible,  
transparente,  
muy resistente  
y no contamina

Competirá con  
otros compuestos  
basados en caucho  
o polímeros

queños. Es que acabarán con el libro, con el periódico y con todo lo que te puedas imaginar". Lo mismo predice el profesor Tour: "Como mucho en 10 años, y puede que incluso antes de cinco, este tipo de monitores inundará el mercado. Es cuestión de tiempo, solo depende de cuánto dinero se invierta". Y de lo que tarde el precio en ser competitivo.

Desde que se sintetizó por primera vez en 2004, los avances en el campo del grafeno han sido espectaculares. Las publicaciones especializadas bullen

con artículos que presentan a esta estructura de carbono como la panacea. Es transparente, pero conduce muy bien la electricidad, al menos 100 veces más rápido que el silicio. Una pantalla de grafeno es conductora por sí misma, por lo que no necesita de un entramado de circuitos por debajo. Al ser flexible, no solo puede enrollarse, sino que también puede recubrir superficies que no sean planas (¿pantallas esféricas, cónicas, cilíndricas?). Es barato porque forma parte del grafito que se encuentra en un lapicero cualquiera. La Universidad de Columbia asegura que es el material más resistente del mundo. Y además, no contamina.

Elsa Prada, investigadora en grafeno del CSIC de Madrid, considera que se han superado todas las expectativas: “Muchas de las teorías que ayer se calificaban de sueños se están haciendo poco a poco realidad”. Asusta ver las teorías de hoy, posibles realidades del futuro: microchips mil veces más rápidos y teléfonos móviles mil veces más potentes que los ordenadores que conocemos.

Sin embargo, no toda la comunidad científica comparte este optimismo. El célebre físico holandés Walt De Heer afirma que “el grafeno nunca reemplazará al silicio”. “Nadie que conozca el mundillo puede decirlo seriamente. Simplemente, hará algunas cosas que el silicio no puede hacer. Es como con los barcos y los aviones. Los aviones nunca reemplazaron a los barcos”. Especialmente significativa resulta la opinión de Andre Geim, descubridor del grafeno, Premio Körber 2008 y candidato a un próximo Nobel. En ocasiones ha hecho declaraciones más bien escépticas sobre la inminencia de esta *revolución*. Preguntado por su parecer actual, aprovecha para matizar: “A menudo la imaginación corre más deprisa que la razón, es parte de la naturaleza humana. Pero en el caso del grafeno sí que hay fuego detrás del humo. Normalmente un material nuevo tarda entre 15 y 30 años en pasar del ámbito académico al industrial. Y después otros 10 para ser producido en serie. Ni siquiera han pasado cinco años y el grafeno ya está en el ámbito industrial”. Esas son las buenas noticias, pero Geim tiene tam-

bién palabras de desaliento: “Todavía no está nada claro que la tecnología del grafeno vaya a ser mejor de la que ya existe. Cuenta aún con muchos problemas, demasiados como para ser enumerados. Tendrá muchas aplicaciones, pero las más obvias, como los chips o las pantallas, pueden acabar siendo un fiasco, mientras que otras que hoy no son importantes pueden ser verdaderas minas de oro. El problema es que no sé cuáles triunfarán. Solo puedo deducir con exactitud el pasado”.

Pocos dudan de que en breve llegarán las asombrosas pantallas que renovarán el mercado de todo tipo de ordenadores y teléfonos móviles. Antonio Castro Neto, físico de la Universidad de Boston y otro de los pioneros del grafeno, pronostica que podrán comprarse de aquí a dos años. Pero para la verdadera revolución, para un mundo de chips y circuitos que no sean de silicio, habrá que esperar mucho más: “Al menos una década”, sentencia Castro Neto.

El principal obstáculo es la fabricación en cadena pero, de conseguirse, la producción de grafeno promete ser barata y de bajo impacto ecológico. Al ser

“Cuenta aún con muchos problemas, demasiados”, dice su descubridor

## Algunos científicos denuncian que las expectativas son exageradas

mejor conductor que el silicio, pierde menos energía, con lo que los circuitos duran más y consumen menos. Es carbono puro y se encuentra en abundancia en cualquier parte, en cualquier país del mundo (se genera como *desecho* al escribir con un lápiz, por ejemplo). Su uso generalizado en la industria permitiría suprimir otros materiales más caros y contaminantes, como el óxido de titanio o el óxido de estaño indio con el que se fabrican ahora la mayoría de las aplicaciones electrónicas transparentes. Pero, como recuerda

el profesor Castro Neto, la transición puede no ser ni fácil ni rápida: "El silicio es un gran negocio en el que se ha invertido muchísimo dinero".

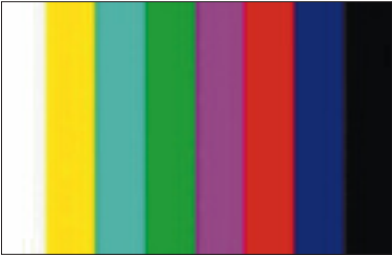
En lugar de pensar en una transición veloz, como las que llevaron del cobre al germanio y del germanio al silicio, quizás sea más realista pensar en una larga convivencia de lo viejo (el silicio) con lo nuevo (el grafito). Así lo espera Rod Ruoff, químico especializado en ingeniería mecánica de la Universidad de Texas. "Es más inteligente pensar en este nuevo material





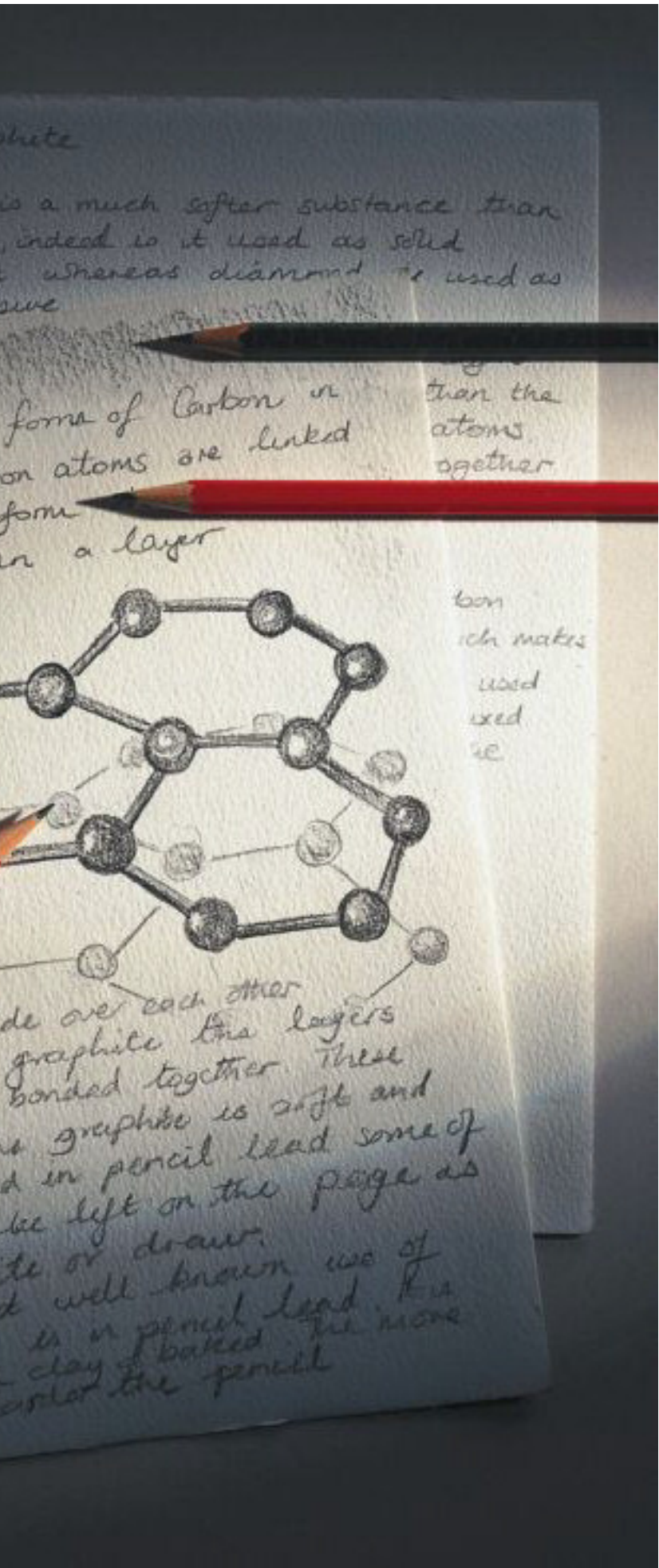
deportes

Kaká no podrá jugar hasta diciembre tras su operación de menisco



pantallas

Las cadenas autonómicas se pierden entre la oferta de la TDT



Historia de un descubrimiento

ANÁLISIS  
Elsa Prada

Hace poco más de cinco siglos, Colón buscó una ruta alternativa para llegar a las deseadas Indias. Con grandes esfuerzos (y falta de confianza de sus contemporáneos), marchó en la dirección contraria a la del resto de navegantes. En el camino, sin esperarlo, hizo un descubrimiento que cambiaría el futuro de la humanidad. La historia nace a menudo de iniciativas que desafían el camino establecido, de personas que se aventuran en la otra dirección.

Esta actitud es la que llevó hace seis años al descubrimiento de un material que amenaza con revolucionar el mundo de la tecnología. El grafeno era hasta hace poco una quimera, un modelo teórico usado por los físicos que nunca se había logrado sintetizar. Se trata de la membrana más fina posible, pues es carbono de un átomo de grosor, y tiene la apariencia de una tela transparente y flexible, a la par que resistente y conductora de electricidad. El carbono del que está hecho es un elemento fascinante, pues si bien es muy común (nosotros mismos estamos compuestos en gran parte de carbono), da lugar a muy diversos materiales tan solo cambiando la forma en la que unos átomos se unen a otros. Cuando se empaqueta densamente en una estructura tridimensional, tenemos un diamante. Cuando se organiza en capas bidimensionales débilmente unidas, tenemos grafito, con el que se fabrican las minas de los lápices.

Pues bien, para comprender el grafito y sus derivados, los físicos llevaban 50 años estudiando las propiedades matemáticas del grafeno. Una de ellas era precisamente la de que un material así no podía existir. Se pensaba que, si se conseguía aislar una sola capa de grafito, estaría tan llena de defectos que sería inestable a temperatura ambiente. En 2004, el físico Andre Geim, de la Universidad de Manchester, buscaba una nueva línea de investigación para un estudiante de doctorado que acababa de llegar. No siempre es fácil tener a mano un tema nuevo. Konstantin Kostya Novoselov, que así se llamaba el recién llegado, iba a aparecer en su despacho en cualquier momento y no sabía qué ofrecerle. Entonces tuvo una idea. Otro de sus estudiantes estaba investigando el grafito. Para el estudio de este material, es necesario que su superficie esté lo más pulida y limpia posible. Para ello, en estos laboratorios de alta tecnología se usa un método bastante rudimentario. Simplemente se pega un trozo de cinta adhesiva sobre la muestra y se tira con garbo. De esta forma se arrancan las capas más superficiales, que suelen estar dañadas y contaminadas, y se analiza el grafito restante. Las cintas de celo usadas para el pulido se tiran sin más. Sin embargo, en un giro genial, a Andre se le ocurrió mirar en esa otra dirección, la de los restos pegados al celo, y proponerle a Kostya el estudio de las capas de grafito que normalmente se desechan. Lo que ninguno de los dos se imagi-

naba es que, entre los cientos de laminillas pegadas a la cinta, algunas serían monocapas cristalinas de grafito, o sea, grafeno, cuyas propiedades revolucionarían la física de los materiales.

El grupo de Manchester consiguió medidas de transporte electrónico a través de grafeno. Con estos resultados viajaron a EE UU y los presentaron en la reunión anual más famosa de físicos de la materia condensada, el March Meeting. Sabían que tenían unos resultados nuevos y con potencial en el mundo de las aplicaciones tecnológicas, pero no se imaginaban que sus medidas guardaban aún más sorpresas, esta vez de carácter fundamental y filosófico.

Casualmente, en 2005, un importante profesor español y experto en grafito disfrutaba de un año sabático en la Universidad de Boston. Francisco Paco Guinea, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, y otros dos colegas, Antonio Castro Neto y Nuno Peres, vieron los resultados de Kostya y se dieron cuenta de que no solo

El grafeno era hasta hace poco una quimera, un modelo usado por los físicos que nunca se había sintetizado

Es la membrana más fina posible, pues es carbono de un átomo de grosor, y tiene la apariencia de una tela

se hallaban ante una proeza experimental, sino ante un hito en el campo de la física. Resulta que los electrones del grafeno se comportan de una manera muy especial. No se rigen por las ecuaciones que usualmente describen el comportamiento de materiales normales, como los semiconductores o los metales, sino que se parecen a los de partículas muy difíciles de generar y detectar, para cuyo estudio se construyen gigantes aceleradores de partículas como el LHC de Ginebra. Gracias en gran parte a la visión de Paco, el grafeno nos brinda la posibilidad de acceder a esta física de altos vuelos con pocos medios y desde el modesto laboratorio de una universidad.

Además de las aplicaciones de microelectrónica y pantallas, otras propuestas incluyen paneles solares y supercapacitores (baterías que se recargan al instante). Desde la biotecnología se ha pensado en usarlo para encapsular virus. Son tan solo algunos ejemplos. Lo que está claro es que, en su corta vida, el grafeno ha capturado la imaginación de científicos de todo el mundo. Y promete dar mucho más que hablar.

Elsa Prada es investigadora en grafeno en el Instituto de Ciencia de Materiales del CSIC de Madrid.

como un suplemento para fabricar híbridos. No he conocido a un solo trabajador en la industria, ni tan siquiera los más soñadores, que crea en una sustitución completa del silicio. Quizás deberíamos escucharlos más a ellos y menos a los académicos”, opina Ruoff.

Tras los prodigios que hemos presenciado en los últimos años (hace dos décadas ni siquiera existía Internet), es lógico ilusionarse con el futuro. Chema Lapuente, que asesora a los consumidores de alta tecnología desde la web tuexperto.com, cree

El grafeno se pudo observar por primera vez hace apenas seis años. / AGE FOTOSTOCK

que muchas de las maravillas del presente, como los libros electrónicos, no son más que “un apaño temporal” en espera del definitivo salto hacia delante. “La clave es que tu pantalla sea flexible. Todo lo demás es un apaño temporal”, explica Lapuente. Lo que todas las empresas buscan es el dispositivo omnisciente que acapare televisión, teléfono, ordenador, Inter-

net... El aparato que todo el mundo necesite comprar para poder vivir en esta sociedad hiperinformatizada. Que para conseguirlo haya que recurrir al grafeno es solo una posibilidad.

A medio camino entre los escépticos y los idealistas, se encuentra el investigador Francisco Guinea, el mayor experto español sobre el tema. Promotor de un nuevo método experimental basado en el estudio del grafeno, Guinea cree que el nuevo material “aumentará las prestaciones de los sistemas informáticos más complejos, como los

que tienen las grandes empresas. Pero los circuitos de un ordenador seguirán siendo de silicio en un futuro próximo”.

Así que habrá que esperar y, aunque los iPads de última generación no podrán tardar mucho, Silicon Valley seguirá llamándose igual, aunque en todos los mapas aún figure tal y como lo bautizaron los exploradores españoles: valle de Santa Clara, patrona de los navegantes. Andre Geim, padre del material milagroso, lleva un lustro investigándolo y recorriendo el mundo para dar conferencias. Ha escuchado

miles de veces lo de que ya está aquí la revolución del grafeno. Es realista, pero al mismo tiempo considera que “es bueno tener un sueño, quizás algún día se haga realidad”. Y confiesa que lleva cinco años sintiéndose “como Alicia en el País de las Maravillas, que necesitaba correr todo el tiempo solo para quedarse en el mismo sitio”.

**+ EL PAÍS.com**  
► **Participe**  
¿Qué utilidades le ve a la llegada de las pantallas de grafeno?



CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS  
CENTRO DE ALTOS  
ESTUDOS UNIVERSITÁRIOS



Agencia Española  
de Cooperación  
Internacional  
para el Desarrollo

**Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica**  
Comunidad de Educadores Iberoamericanos para la Cultura Científica

## Ficha de catalogación

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título:</b>               | Próximamente en sus pantallas: el grafeno                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Autor:</b>                | Miguel Calzada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Fuente:</b>               | <i>El País</i> (España)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Resumen:</b>              | El grafeno puede quitarle su espacio al silicio. O al menos dejar sin justificación el nombre de su famoso valle en California. Pantallas que se doblan y enrollan, dispositivos electrónicos mucho más rápidos y con menor consumo son algunas de las promesas que trae consigo el grafeno, quizá el material del futuro digital. |
| <b>Fecha de publicación:</b> | 06/08/10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Formato</b>               | <input type="checkbox"/> Noticia                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                              | <input checked="" type="checkbox"/> Reportaje                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                              | <input type="checkbox"/> Entrevista                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                              | <input type="checkbox"/> Artículo de opinión                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Contenedor:</b>           | <input type="checkbox"/> 1. Los retos de la salud y la alimentación                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                              | <input type="checkbox"/> 2. Los desafíos ambientales                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | <input checked="" type="checkbox"/> 3. Las nuevas fronteras de la materia y la energía                                                                                                                                                                                                                                             |
|                              | <input type="checkbox"/> 4. La conquista del espacio                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                              | <input type="checkbox"/> 5. El hábitat humano                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                              | <input type="checkbox"/> 6. La sociedad digital                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                              | <input type="checkbox"/> 7. Otros temas de cultura científica                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Referencia:</b>           | 3ACH70                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS  
CENTRO DE ALTOS  
ESTUDOS UNIVERSITÁRIOS



Agencia Española  
de Cooperación  
Internacional  
para el Desarrollo

**Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica**  
Comunidad de Educadores Iberoamericanos para la Cultura Científica

## **Propuesta didáctica**

### **Actividades para el alumnado**

1. Señala cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas y cuáles falsas teniendo en cuenta lo que se dice en el texto sobre el grafeno:

|                                                                                                                                          |   |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| 1. Un buen número de empresas de alta tecnología se asientan en el famoso valle californiano conocido como el Valle de la Silicona.      | V | F |
| 2. Es posible que en el futuro los chips sean de grafeno, un material resistente, transparente y extremadamente flexible.                | V | F |
| 3. IBM ha construido la primera pantalla táctil de grafeno que puede enrollarse.                                                         | V | F |
| 4. El grafeno es un derivado del silicio.                                                                                                | V | F |
| 5. El uso del grafeno podría afectar también a la industria de los periódicos y los libros.                                              | V | F |
| 6. El grafeno se sintetizó por primera vez en 2004.                                                                                      | V | F |
| 7. El mayor problema del grafeno es que es bastante contaminante.                                                                        | V | F |
| 8. En cierto modo, el conocimiento del grafeno se derivó de la investigación sobre el grafito.                                           | V | F |
| 9. Para la mayoría de los expertos resulta evidente que el grafeno acabará sustituyendo por completo al silicio.                         | V | F |
| 10. Algunas propiedades de los electrones del grafeno pueden resultar muy interesantes en investigaciones sobre la física de partículas. | V | F |

2. ¿Qué son el carbono, el grafito y el grafeno? ¿Qué relación hay entre ellos?

3. Averigua qué características físico-químicas tiene el grafeno y cuáles son las cualidades que hacen interesante el uso de ese material para las tecnologías digitales.

4. Resume el texto destacando las características que pueden llegar a hacer del grafeno una buena alternativa al silicio.

5. Repasa el texto de Elsa Prada sobre la historia del descubrimiento del grafeno y explica por qué lo compara con la empresa de Colón.

6. ¿A quién le puede interesar que se desarrollen las aplicaciones industriales del grafeno? ¿A quien no?

7. ¿Qué ventajas tendría que las pantallas fueran flexibles y se pudieran doblar o enrollar? ¿Qué aplicaciones que ahora no existen se les podrían dar en el futuro?

8. ¿Qué efectos sobre la industria editorial y sobre la lectura de periódicos y libros podría llegar a tener el desarrollo de pantallas flexibles de grafeno?

9. Busca ejemplos de otro material que haya revolucionado la vida humana en el pasado. Sitúate en momentos anteriores a su uso y comenta los cambios que supuso su utilización. Puedes hacerlo en la forma de un relato sobre el futuro escrito por alguien que estuviera imaginando las aplicaciones que podría tener ese material inexistente en ese momento.



CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITARIOS  
CENTRO DE ALTOS  
ESTUDIOS UNIVERSITÁRIOS



**Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica**  
Comunidad de Educadores Iberoamericanos para la Cultura Científica

**Propuesta didáctica**  
**Sugerencias para el profesorado**

- De entre las actividades propuestas conviene elegir cuáles se adaptan mejor al grupo y a sus intereses. En todo caso, antes de proponer la realización de las actividades se recomienda una lectura atenta del texto.
- La actividad 1 facilita el análisis del contenido del texto. Su revisión permitirá aclararlo y resolver posibles dudas. Las actividades 2 y 3 se centran en las características del grafeno y en las propiedades que pueden hacerlo tan interesante para las tecnologías digitales. Las actividades 4 y 5 sugieren resumir el texto del reportaje y la lectura sobre el descubrimiento del grafeno que lo acompaña. La actividad 6 propone analizar los posibles intereses relacionados con el desarrollo industrial de este nuevo material. En las actividades 7 y 8 se plantea un análisis sobre las ventajas y los impactos que podría llegar a tener en determinados sectores el uso del grafeno. Por último, en la actividad 9 se sugiere una indagación de “prospectiva inversa” seleccionando un material que haya modificado de forma significativa la vida humana y analizando la percepción que del futuro podría tener alguien que viviera antes de la existencia de ese material y que pronosticara los cambios que eventualmente podría suponer su uso.
- Aunque las actividades propuestas están redactadas para ser realizadas individualmente, varias de ellas son especialmente propicias para ser desarrolladas en equipo o incluso en debate abierto con toda la clase. Es especialmente interesante, en este sentido, compartir los trabajos sobre las actividades 7 y 8.
- Podría ser oportuno registrar algunos de los comentarios y las respuestas que aparecen en el aula en torno a la actividad 9. Tales apreciaciones pueden ser útiles para entender las percepciones que los jóvenes tienen sobre el impacto histórico de la innovación tecnológica y el carácter revolucionario del uso de determinados materiales a lo largo de la historia.