

# GRAFENO: UNA REVOLUCIÓN EN LA ELECTRÓNICA

Carlos González Ballesteros, estudiante de Física de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), fue uno de los ganadores del X Certamen Universitario Arquímedes, concurso convocado por el Ministerio de Educación para premiar la investigación científica joven en España. Su trabajo, “Emisión dipolar en las cercanías de una lámina de grafeno”, mereció el Segundo Premio en la categoría Ciencias Experimentales, Exactas y Ambientales. En este artículo, el estudiante ofrece una ilustrativa descripción del material que promete ser la clave de la electrónica del futuro, y comparte además algunos de los aspectos que sobre este material contribuye a investigar en el equipo de Nanofotónica de la UAM.

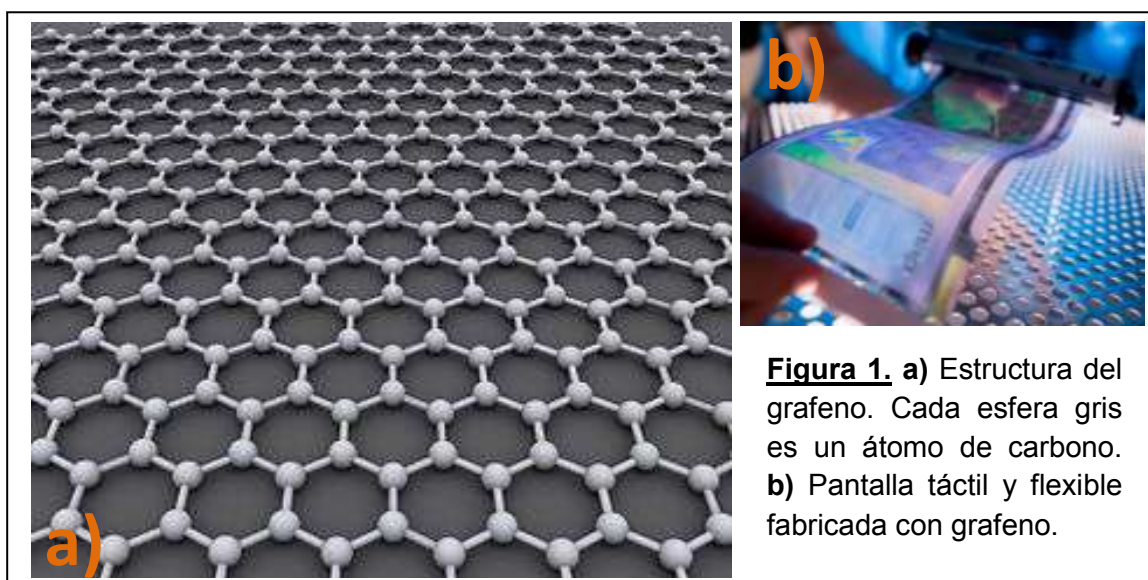
Por: Carlos González Ballesteros, estudiante de Física de la Universidad Autónoma de Madrid

## **● Grafeno. El material para todo**

Imaginen un material más duro que el diamante y más resistente que el acero. Imaginen que además es flexible y conduce el calor mejor que ningún otro material conocido. Si siguen imaginando, añádanle la ligereza más absoluta y un coste muy bajo. Y puestos a soñar, imaginense que también pueda ser un aislante perfecto y el mejor conductor de la electricidad a voluntad.

Pues bien, este material ya no es un sueño. Existe: se conoce como grafeno. Las impresionantes propiedades que hemos descrito son tan sólo la punta del iceberg, un iceberg de fenómenos físicos nunca antes vistos y que acaparan la atención de científicos de todo el mundo. Si bien su existencia tiene más de 50 años como idea en la mente de los físicos teóricos, fue en 2004 cuando este material fue sintetizado en un laboratorio por primera vez. Este logro, que se creía imposible, valió a sus dos obradores (A.K.Geim y K.Novoselov) el premio Nobel de física 2010. Desde entonces, la popularidad de este material no ha dejado de crecer.

Pero, ¿qué es el grafeno? Este material es mucho más sencillo de lo que cabría imaginar a partir de sus propiedades: consiste en una red bidimensional de átomos de carbono dispuestos en una red con forma de panal de abeja (Figura 1.a). Este carácter bidimensional es el que le confiere tanto sus propiedades extraordinarias como la dificultad que supone obtenerlo. Sin embargo, en nuestro día a día el grafeno aparece por doquier sin que nos demos cuenta. En concreto, las minas de los lapiceros (que están hechas de grafito) están formadas por millones y millones de láminas de grafeno adheridas unas a otras. Su coste es por tanto muy bajo.



**Figura 1. a)** Estructura del grafeno. Cada esfera gris es un átomo de carbono. **b)** Pantalla táctil y flexible fabricada con grafeno.

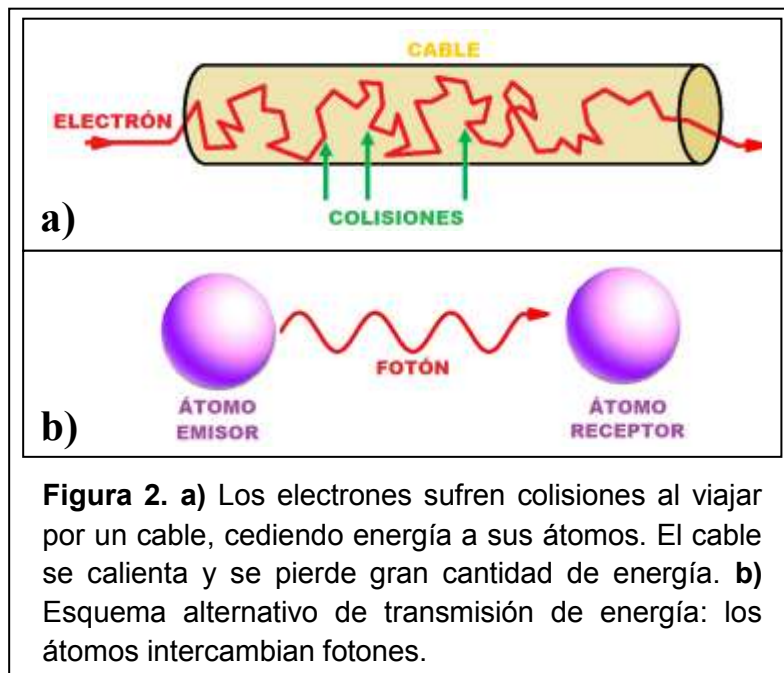
Debido a sus increíbles propiedades, el grafeno se presenta como un gran candidato para resolver muchos problemas abiertos en física fundamental y aplicaciones tecnológicas. En los últimos siete años se ha utilizado para simular agujeros negros o fabricar pantallas táctiles ultrafinas y flexibles (figura 1.b). Teléfonos móviles, sensores de gas ultraprecisos, dispositivos electrónicos hechos tan sólo de un puñado de átomos... Las puertas abiertas son casi infinitas.

En colaboración con físicos del grupo de nanofotónica de la Universidad Autónoma de Madrid, el autor de estas líneas realizó recientemente un estudio según el cual el grafeno puede usarse para transmitir información entre dos átomos de manera muy eficiente y controlada.

#### ● Transmisión de información: un problema abierto

En nuestro día a día la transmisión de información o energía a escalas pequeñas aparece constantemente. Sin ella, no podríamos transmitir corriente eléctrica a través de un cable o bits de una parte a otra de un ordenador. Actualmente, la forma en que se transmite la energía de un lugar a otro es mediante corriente eléctrica. Esta corriente está formada por millones de pequeñas partículas llamadas electrones que avanzan a través de los cables. Sin embargo, estos cables están a su vez formados por átomos que suponen un impedimento para su avance (figura 2.a). Así, al intentar atravesar un medio abarrotado de obstáculos, se producen millones de colisiones por segundo. En estas colisiones se pierde mucha energía. Por esta razón los materiales conductores se calientan.

En los últimos años la comunidad científica se ha interesado en otras maneras posibles de transmitir información en las que se pierda menos energía. Una de las más importantes consiste en utilizar luz intercambiada entre dos átomos (figura 2.b): un átomo emite luz (en forma de partículas llamadas fotones), esta luz viaja a través del aire y es recibida por otro átomo, que la envía al átomo siguiente formando una



**Figura 2. a)** Los electrones sufren colisiones al viajar por un cable, cediendo energía a sus átomos. El cable se calienta y se pierde gran cantidad de energía. **b)** Esquema alternativo de transmisión de energía: los átomos intercambian fotones.

cadena. De conseguirse un dispositivo con estas características, se tendría no sólo un ahorro de billones de euros en energía y sistemas de refrigeración. Supondría además abrir la puerta a una nueva generación de dispositivos electrónicos muy reducidos en tamaño, así como a ordenadores miles de veces más rápidos y eficientes (conocidos como computadores cuánticos). El principal obstáculo que se encuentra al intentar diseñarlo es que la luz va perdiendo energía conforme se propaga (figura 3.a.), de forma que necesitamos que los átomos estén muy cerca para no perder la información. Construir y controlar un dispositivo así sería enormemente difícil y costoso.

#### ● Grafeno: ¿La solución al problema?

Sin embargo, existe otra forma de transmitir la luz entre un átomo y otro. Consiste en situar cerca de los dos átomos una lámina de grafeno (figura 3.b). Entonces puede ocurrir que la luz no se transmita directamente, sino que lo haga a través de la lámina, es decir, por dentro de la superficie. Es decir, el alcance de la luz es mayor en este proceso. Esto se debe a que cuando la luz se propaga en dos dimensiones (figura 3.b.) en vez de en tres (figura 3.a.) sus propiedades cambian radicalmente. Esta onda luminosa que viaja en dos dimensiones es de mucha importancia en ciertas áreas de la física, y se conoce como plasmón.

El grafeno no es el único material por el que pueden viajar estos plasmones. De hecho, la transmisión de energía de largo alcance a través de plasmones ya había sido propuesta antes de descubrir el grafeno. Esto se debe a que los metales también son capaces de portar estas ondas. Por tanto, a priori podríamos cambiar la lámina de la figura 3.b. por una superficie metálica. No obstante, estos sistemas metálicos presentan un problema fundamental: no se puede controlar la luz.

Pare entender esto, imaginemos el sistema de dos átomos cerca de grafeno. Cuando un átomo emita luz, no toda será enviada a través de plasmones. Una cierta cantidad será enviada a través del aire y se perderá. En la figura 3.c. vemos un ejemplo en el que de cada 100 fotones emitidos, 80 viajan en forma de plasmón y 20 a través del aire. Esta proporción sería

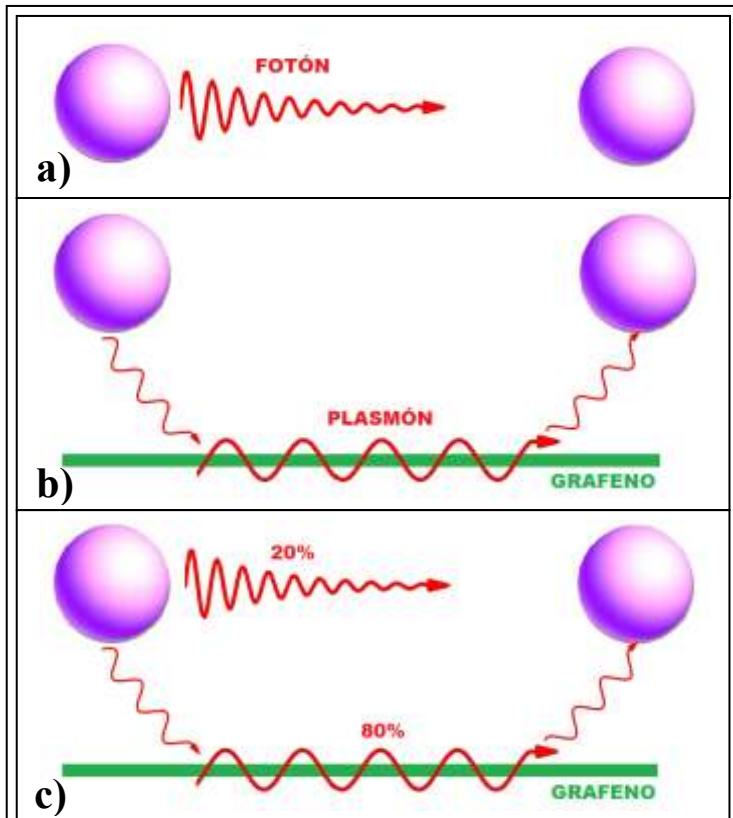
ideal, ya que buscamos que la mayoría de la información sea transmitida. Sin embargo, suponiendo que consiguiésemos esto, no tendríamos más que un cable que transmite luz, lo cual nos deja aún muy por detrás de la electrónica convencional.

En electrónica, además de transmitir, tenemos la posibilidad de controlar qué cantidad de energía se transmite. Es decir, podemos transmitir bits de información: cuando se transmite mucha energía tenemos un 1, cuando se transmite poca tenemos un 0. Este es el mecanismo básico de funcionamiento de un transistor, un dispositivo fundamental que puede encontrarse en todos los aparatos electrónicos que conocemos.

Si queremos tener este tipo de control sobre la luz, entonces queremos ser

capaces de controlar qué cantidad de energía se transmite en forma de plasmones: si se transmite un 80% o un 90% de la luz a través de la superficie, la información irá pasando de un átomo a otro con muy pocas pérdidas: tendremos un 1. Si por el contrario conseguimos que sólo el 5% se transmita vía plasmones la transmisión será muy baja, ya que el 95% se transmiten por el aire y no llegan al receptor (ver figura 3.a.): tendremos un cero. Por tanto, la pregunta es: ¿es posible controlar cuántos fotones se envían a través de la superficie? La respuesta para metales es no. Esto se debe a que su respuesta a la luz no se puede modificar.

Sin embargo, la respuesta para el grafeno es afirmativa. La causa es una de sus extraordinarias propiedades: podemos cambiar a voluntad cómo responde a la luz. Esto puede hacerse de forma muy sencilla, basta con aplicar un voltaje (por ejemplo, una pila con un interruptor) a la lámina. Con el interruptor encendido, el grafeno es un buen conductor de la electricidad y se comporta como un metal: los plasmones pueden propagarse; tenemos un 1. Además, eligiendo adecuadamente el voltaje (es decir, la pila) podemos conseguir que más del 95% de la luz se transmita vía plasmones, obteniendo una eficiencia muy alta. Con el interruptor apagado, el grafeno es un aislante, lo opuesto a un metal, y los plasmones no pueden propagarse; tenemos un 0. Hemos conseguido por tanto controlar la información, es decir, podemos enviar bits formados por luz.

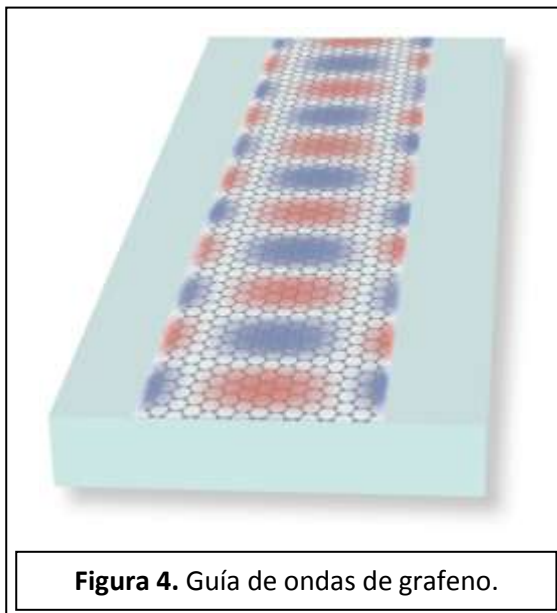


**Figura 3. a)** Los fotones emitidos en el aire pierden energía muy rápidamente y desaparecen antes de alcanzar el átomo siguiente. **b)** La interacción tiene mayor alcance si se produce a través de la superficie (mediante un plasmón). **c)** En la realidad, una parte de la luz es emitida por aire y otra parte (en este ejemplo el 80%) a través de plasmones.

Este estudio demuestra que el grafeno es un material enormemente prometedor en la transmisión de luz a través de una cadena de átomos. Esto se debe a que puede portar plasmones que aumentan el alcance de la transmisión. Por otra parte, es el único material en el que es posible controlar la información transmitida. Esto se consigue además de forma muy sencilla. Todas estas propiedades harían posible la construcción de dispositivos mucho más pequeños y rápidos, en el que las pérdidas de energía fuesen miles de veces menores que en circuitos electrónicos.

#### ● Perspectivas de futuro

Los extraordinarios resultados obtenidos no significan el final de la investigación con grafeno. Tras este estudio, nuestra investigación se centró en fabricar una “guía de ondas” de grafeno (figura 4). Es decir, consideramos una cinta muy estrecha de grafeno y estudiamos si cambia la transmisión de energía. Nuestros resultados muestran nuevos e interesantes fenómenos, como un alcance infinito. Estos resultados, junto con los explicados previamente, los publicaremos próximamente en la revista científica Nanoletters.



**Figura 4.** Guía de ondas de grafeno.