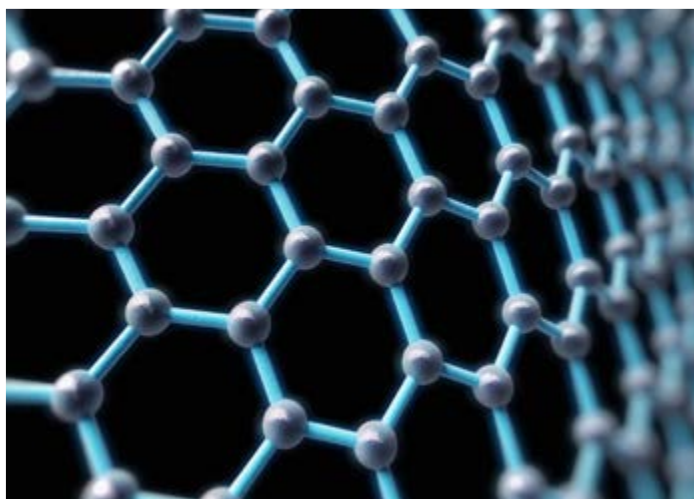


## GRAFENO, ¿SUSTITUTO PARA EL COBRE EN EL SIGLO XXI?

Giarcarlo Stagno Canziani\*

*A fines del siglo XIX y principios del siglo XX, el salitre representaba la principal riqueza natural y exportable de Chile. Los alemanes inventaron el salitre sintético. Desde mediados del siglo pasado y hasta ahora, el cobre es nuestro principal activo natural exportable. El descubrimiento del grafeno, es una amenaza latente para el metal rojo.*



Por muchos años Chile vivió un esplendor económico que estuvo estrechamente relacionado con el salitre natural. Esta mezcla de Nitrato de Sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) y Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ) se puede encontrar naturalmente en grandes extensiones del norte de nuestro país en que aparece en depósitos de yeso, cloruro sódico, otras sales y arena, conformando un conjunto denominado caliche.

La importancia de este mineral está asociada a su uso como fertilizante y también como ingrediente para la fabricación de pólvora. El auge de la explotación salitrera posterior a la Guerra del Pacífico motivó un gran desarrollo económico

especialmente entre los años 1885 hasta 1920, período de gran prosperidad en el cual se ejecutaron importantes obras públicas.

No obstante, y habida cuenta que, los precios del salitre natural eran muy altos, a fines del siglo XIX comenzaron los esfuerzos tecnológicos para producir compuestos de fertilizantes sintéticos. Es así como en el año 1908 los químicos alemanes Fritz Haber y Karl Bosch lograron sintetizar el amoníaco y el salitre sintético, proceso

conocido como Haber – Bosch. Dicho proceso fue desarrollado con el advenimiento de la Primera Guerra Mundial especialmente debido a que el salitre representaba un importante insumo para la fabricación de pólvora.

El haber logrado industrializar el proceso de producción de salitre sintético a precios muy inferiores a los que se transaba el salitre natural, les hizo merecedores a ambos científicos del premio Nobel de química; Haber en 1918 y Bosch en 1931. En Chile el impacto fue tremendo, ya que el salitre natural no podía competir con el recién aparecido salitre sintético, situación que se agravó con la gran crisis financiera de 1930 en

\* Contraalmirante. ING.NV.MC. Oficial de Estado Mayor, graduado en la Escuela de Guerra Naval de España. Magíster en Ciencias Navales y Marítimas mención en Oceanopolítica. Profesor Militar de Escuela en la especialidad de Ingeniería Mecánica. Profesor Militar de Academia en la asignatura de Logística.

que la demanda por salitre natural simplemente colapsó sin volver a recuperarse.

Desde varias décadas nuestro principal producto exportable es el cobre, que hoy representa más del 50% de nuestras exportaciones. El precio de este commodity ha aumentado en sintonía con el notable progreso económico de China, el gigante asiático que hace tres décadas está creciendo a tasas cercanas al 9% y hoy es el responsable de aproximadamente el 40% del consumo mundial de cobre.

Si bien existe una permanente oscilación en el precio del cobre y se especula con respecto a la demanda futura del metal rojo, se estima que ésta debiera mantenerse en un horizonte cercano. Pero, ¿qué pasaría si aparece un nuevo actor en el mercado?

## El Grafeno

¿En qué consiste este material que ha despertado el interés de la comunidad científica?

El grafeno es, en términos muy básicos, una lámina de carbono en una determinada configuración bidimensional y del espesor de un átomo. Este elemento químico tiene una tremenda versatilidad, siendo la base de los compuestos orgánicos vivos y del origen de la vida humana a través del ADN<sup>1</sup>. El carbono también es el responsable de materiales blandos como el carbón y el grafito y de materiales duros como el diamante.

Hacia mucho tiempo que los investigadores físicos y químicos estaban buscando la forma de llegar a esa estructura bidimensional que fuera lo suficientemente estable y mantuviera sus propiedades. La idea era poder llevar al carbono a una nueva dimensión, y se buscaba la forma de separar las capas individuales del grafito.

Fue el azar lo que permitió, en el año 2004, a los físicos Andrei Geim y Konstantin Novoselov descubrir que con una simple cinta adhesiva podían remover por la fuerza las capas superficiales de

una pieza de grafito y obtener fragmentos muy delgados.

Efectivamente, de manera rutinaria en el laboratorio de la Universidad de Manchester usaban cinta adhesiva para limpiar la superficie de cristales de grafito y, por esas cosas del destino, se les ocurrió revisar la cinta antes de ser desechada. La sorpresa fue mayúscula cuando descubrieron que se encontraban adheridos fragmentos individuales de pocas capas hasta la tan buscada capa individual.

El ansiado descubrimiento les valió que la Academia Sueca de Ciencias les otorgara el Premio Nobel de Física en el año 2010 por haber aislado el grafeno. La Academia señaló que se les había otorgado el Premio Nobel a Geim y Novoselov por experimentos innovadores en relación al grafeno, material de dos dimensiones que podía revolucionar, entre muchas áreas, el mercado de los metales.

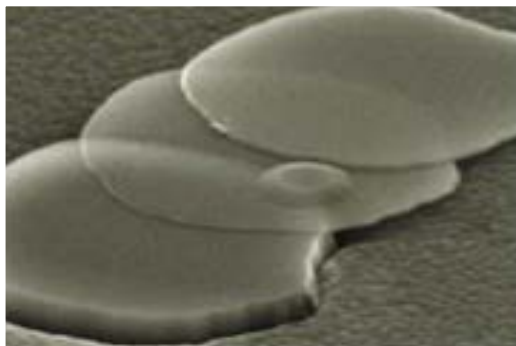
El comunicado de la Academia señalaba que: “El grafeno es una forma de carbono. Como material, es completamente nuevo, no sólo es



■ Restos de grafito adheridos a una cinta adhesiva.

el más delgado, (su ancho tiene la dimensión de un átomo) sino que también es el más duro y resistente. Como conductor de electricidad rinde tanto como el cobre. Como conductor de calor rinde más que cualquier otro material. Es casi totalmente transparente y muy denso. El

1. El ácido desoxirribonucleico, abreviado como ADN, es un ácido nucleico que contiene instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos conocidos y algunos virus, y es responsable de su transmisión hereditaria. [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_desoxirribonucleico](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_desoxirribonucleico), consultado el 15 de octubre de 2013.



■ Capas de carbono al microscopio.

carbono, la base de toda la vida en la tierra ha sorprendido una vez más.”

En la figura se muestra los restos de grafito adheridos en una cinta adhesiva. También se puede apreciar capas de carbono al microscopio.

### Propiedades del grafeno

Haber logrado sintetizar el grafeno puede llegar a constituir una revolución tecnológica que algunos científicos la comparan con la invención del plástico, la electricidad o internet.

Es un material extraordinario que permite probar, a bajo costo, predicciones de la mecánica cuántica relativista que antes sólo podían evaluarse en aceleradores de partículas o en objetos lejanos como los hoyos negros.

Su estructura electrónica le permite conducir electrones a temperatura ambiente más rápido que ningún otro material (sus electrones se mueven 100 veces más rápido que en el silicio que es el material de fabricación de los microchips), lo que le otorga excelentes propiedades de conductividad térmica y eléctrica.

### ¿Una amenaza para el cobre?

La mayor parte de la demanda global de cobre se destina a usos eléctricos de sistemas de potencia o bien a usos electrónicos. Por esa razón se puede considerar a las aplicaciones del grafeno como una amenaza, ya que tiene el atributo de ser un excelente conductor eléctrico.

La incertidumbre está presente en el mercado, ya que las aplicaciones industriales están apareciendo (se han fabricado las primeras pantallas de video flexibles y ultradelgadas construidas de grafeno).

Aún cuando es temprano para determinar el alcance de los cambios tecnológicos en la conducción de electricidad, es un hecho que sus propiedades le permiten transportar los mismos amperes por centímetro cuadrado que los cables de cobre, pero con un peso seis veces menor.

En conducción eléctrica hoy se está trabajando con nanotecnología, en microcircuitos mediante el empleo de nanotubos, uno de los componentes

---

***La incertidumbre está presente en el mercado, ya que las aplicaciones industriales están apareciendo (se han fabricado las primeras pantallas de video flexibles y ultradelgadas construidas de grafeno).***

---

Es tan transparente y tan denso que ni siquiera el átomo de helio, cuyos átomos son los más pequeños que existen, sin combinar en estado gaseoso, puede atravesarlo.

Entre sus propiedades únicas, resaltan su enorme elasticidad y resistencia (puede estirarse hasta un 10%, con lo que si se depositaran átomos metálicos pesados sobre su superficie se deformaría, como ocurre con una sábana soportando una pelota de bowling, sin romperse, ya que es duro como el diamante).

casi unidimensionales del grafeno, pero en procesos de transmisión eléctrica a escala mayor, aún faltarían un par de décadas para poder concretar sus aplicaciones tecnológicas.

Otra de sus propiedades más interesantes es que el grafeno es capaz de amplificar la frecuencia de una señal eléctrica. En general, se vislumbran todo tipo de utilidades del grafeno en el plano de la computación y la electrónica entre otros.

¿Podemos volver a vivir una situación crítica parecida a la que se vivió con el salitre, al

convertirse el grafeno en sustituto del cobre? Por ahora es una pregunta que no tiene respuesta, pero en los próximos diez años la industria de la minería deberá tomar decisiones de inversión en nuevos proyectos cupríferos con parte de estas interrogantes ya despejadas.

Lo único claro es que el grafeno, de generarse la tecnología para una producción masiva, tiene el potencial para provocar un cambio tecnológico en todos los procesos de producción, que no sólo podría afectar al consumo de cobre, sino también a la estructura de producción de variadas industrias y servicios.

En los participantes de la minería del cobre nacional, se estima que aún es temprano para hablar de este material como su reemplazo, habida cuenta que, falta determinar el grado de desarrollo de su producción industrial y en gran volumen. Agregan que la demanda de cobre seguirá alta porque si bien China puede ajustar su tasa de crecimiento, a la baja, aún continúa creciendo.

Cabe agregar que hoy a pesar de ser más barato y liviano, el aluminio no ha sido capaz de penetrar en el mercado del cobre en los usos electrónicos y eléctricos de baja tensión porque es conductivamente menos eficiente. Por otra parte, la fibra óptica, que también surgió hace ya casi cuatro décadas como sustituto en redes telefónicas, tiene aplicaciones limitadas y en varios usos es muy cara para sustituir al cobre. Sin contar con el empleo del cobre en la industria como agente antibacteriano.

Es decir, aún es incierta la magnitud e impacto de la revolución tecnológica que originaría el grafeno, pero no podemos quedarnos inmóviles frente a una amenaza que más temprano que tarde llegará y debemos estar preparados para generar espacios para el estudio y desarrollo de estos nuevos materiales.

## Conclusiones

El descubrimiento que les valió el Premio Nobel a los científicos Geim y Novoselov con el grafeno, tiene el potencial para generar una nueva etapa de crecimiento económico similar a la que se produjo con la revolución industrial en el siglo XIX o la informática e internet en la segunda mitad del siglo XX.

El grafeno, por sus especiales propiedades, está llamado a ser el compuesto del siglo XXI y representa una amenaza en un mediano plazo para nuestra principal riqueza exportable, el cobre.

Si bien, aun cuando el desarrollo industrial del grafeno ha manifestado un gran avance científico en los prototipos iniciales, deben consolidarse también los procesos para su producción a escala industrial, lo que se ve factible dentro de los próximos diez a quince años plazo.

Si no queremos vivir una situación parecida a la que ocurrió en Chile con la invención del salitre sintético, tenemos que estar preparados para el futuro de mediano plazo y ampliar nuestra oferta tecnológica para que el cobre sea más competitivo.

\*\*\*

## BIBLIOGRAFÍA

1. Méndez, Miguel, Enciso Alan. "El Grafeno: entre serendipia, cinta adhesiva y emigrantes", *Revista de Educación Química* 22, 72-74, enero 2011.
2. Merino, Raúl. "Grafeno. El compuesto del siglo XXI. ¿Una amenaza para el cobre?", *Revista Cuerpo Diplomático*, 191, 10-11, agosto 2013.
3. Cariola, Carmen y Sunkel, Osvaldo. "Un siglo de historia económica de Chile 1830-1930", Editorial Universitaria, 1991.
4. Suárez, Leonardo. "¿Sustituirá el grafeno al cobre?", *Revista Minería Chilena*, 354, 135-141, diciembre 2010.
5. San Cristóbal, Juan. "Cobre registra alza sostenida y expertos alejan amenaza del grafeno", *Diario Uchile*, junio 2013.
6. Salazar, Carlos. "Qué es el grafeno?", *Diario La Nación.cl*, febrero 2013.