

COLABORACIONES EN QUÍMICA

LA REVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES
DEL SIGLO XXI

El desarrollo de la humanidad siempre ha estado ligado íntimamente a la evolución de los materiales. En los últimos tiempos, son muchos los avances que se han producido en diferentes ámbitos (medicina, ingeniería, construcción, informática, etc.), aunque es importante resaltar que la gran mayoría de ellos se ha producido gracias a la aplicación de nuevos materiales.

Si echamos la vista atrás podemos reflexionar que muchos de los productos que se utilizan en nuestra vida cotidiana, poco se parecen a aquellos que se utilizaban hace algunas décadas, y muy poco a los que se utilizaban hace ya más de un siglo. El gran desarrollo científico, tecnológico e industrial y los continuos avances en investigación nos han proporcionado productos que, o bien no se encuentran de forma natural en nuestro entorno, o bien, si se encuentran, no nos habíamos percatado de su importancia. La gran revolución de los materiales en este siglo intenta dar respuesta a importantes retos científicos que se plantean, como son el ahorro energético, las fuentes de energía renovables, los materiales reciclables y medioambientalmente benignos, así como el desarrollo de las propiedades de los materiales a escala nanométrica. Se puede decir que son muchos los que han catalogado ya este siglo como la era de los nuevos materiales.

Materiales tradicionales como acero, aluminio, caucho, cristal o madera, están siendo desplazados por otros materiales más ligeros, así como por materiales inteligentes y autorreparables. En la actualidad, universidades y centros de investigación se encuentran desarrollando gran variedad de materiales que serán una realidad en los próximos años. A continuación se muestran algunos ejemplos de materiales que han protagonizado en este siglo una discreta revolución en su ámbito de aplicación.

EL GRAFENO, EL MATERIAL ESTRELLA
DEL SIGLO XXI

Aunque el grafeno es conocido desde 1930, no ha sido hasta este siglo cuando el estudio sobre sus propiedades, aplicaciones y métodos de obtención ha suscitado un gran interés. El grafeno es una forma alotrópica del carbono, constituida por una estructura laminar bidimensional de átomos de carbono, unidos formando anillos hexagonales.

En 2004, Andre Geim y Konstantin Novoselov, de la Universidad de Manchester, fueron los pioneros en aislar muestras de grafeno a partir de grafito, aplicando un método de exfoliación mecánica a temperatura ambiente [1]. Hasta entonces, la posibilidad de fabricar una lámina de grafeno de un átomo de grosor (ver Figura 1) era algo impensable, debido a su gran inestabilidad. La técnica aplicada por estos investigadores, tan novedosa como simple, consistía en pegar un trocito de grafito de una mina de un lápiz en un trozo de cinta adhesiva y después despegarla. Este proceso era repetido sucesivas veces, consiguiendo así exfoliar el trozo de grafito. Finalmente la cinta adhesiva se pegaba sobre una superficie muy fina de silicio, quedando depositada en esta lámina de grafeno (ver Figura 2). De esta forma, lograron conseguir aislar una lámina de grafeno de un átomo de espesor. Este importante hallazgo hizo que Geim y Novoselov fueran merecedores del Premio Nobel de Física en 2010.

El grafeno es un material que posee una gran dureza, resistencia, flexibilidad y ligereza, pudiendo ser moldeado

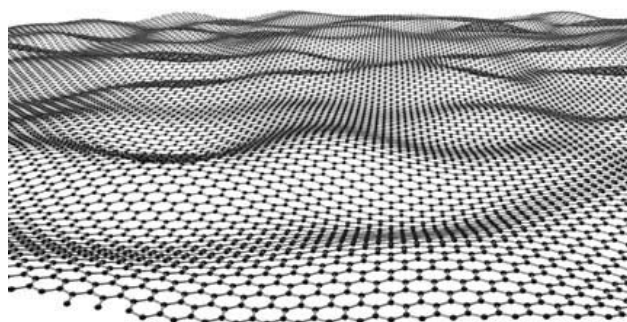


Figura 1. Lámina de grafeno. Fuente: <https://ds.lclark.edu/soan498/2014/10/03/reading-and-research-graphene-another-potential-actor-in-solar-technology-development>.

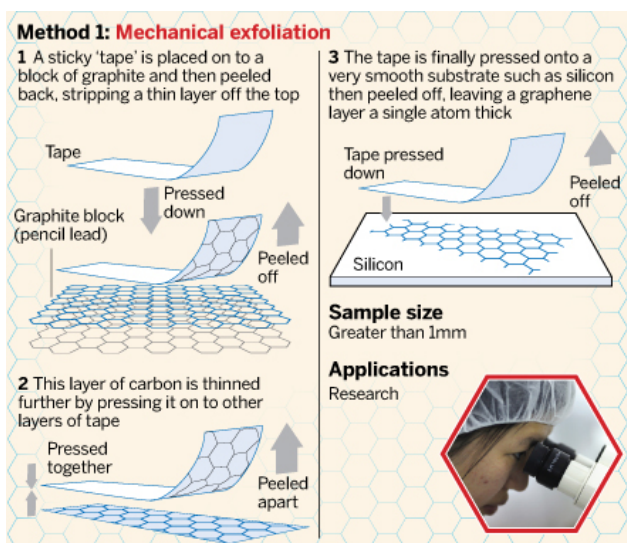


Figura 2. Procedimiento de exfoliación mecánica del grafito empleando cinta adhesiva. Fuente: <http://hi-news.ru/technology/chtivo-chudo-grafenovoj-revolyucii.html>.

ble. Es un buen conductor del calor y de la electricidad, y es estable incluso bajo presiones elevadas. El método de obtención de láminas de grafeno que fue descrito por Geim y Novoselov permite obtener un grafeno de muy alta calidad, pero en pequeñas cantidades, por lo que de cara a aplicaciones industriales resulta inapropiado. Es por ello que, diversos grupos de investigación en todo el mundo, se han centrado en la búsqueda de un método con el que poder fabricar grafeno de gran calidad y a gran escala.

Son numerosas las aplicaciones que presenta el grafeno, entre ellas, la fabricación de pantallas táctiles flexibles (ver Figura 3), pantallas para televisores y monitores, células solares, transistores, microchips e incluso piezas para aviones, automóviles y satélites espaciales. También en medicina presenta un futuro prometedor, como, por ejemplo, en la fabricación de prótesis. Además, el grafeno es capaz de almacenar energía, por lo que resulta un material muy adecuado para fabricar ba-



Figura 3. Pantalla táctil flexible fabricada con grafeno. Fuente: <http://grafeno2013.blogspot.com.es>.

terías de larga duración y menor tiempo de carga, permitiendo sustituir a los materiales contaminantes que se venían utilizando hasta el momento.

Por otro lado, el estudio de sus propiedades electrónicas ha promovido nuevas investigaciones en este campo, así como el desarrollo de nuevos materiales. Además, el grafeno es un material con un gran potencial de desarrollo, gracias a la posibilidad de combinarse químicamente con otras sustancias, permitiendo obtener compuestos con un amplio abanico de propiedades.

AEROGRAFENO O AEROGEL DE GRAFENO, EL MATERIAL MÁS LIVIANO DEL MUNDO

El aerografeno o aerogel de grafeno es el material más ligero conocido hasta el momento, tanto que hasta puede posarse sobre una flor de cerezo sin aplastar sus pétalos (ver Figura 4). Se trata de un material ultraligero, con una densidad de 0.160 mg/cm^3 . Es el material más ligero después del hidrógeno, posicionándose por delante del helio, cuya densidad es de 0.178 mg/cm^3 , y del aerografito, cuya densidad es 0.180 mg/cm^3 [2]. Posee además una gran elasticidad y flexibilidad, pudiendo comprimirse sin deformarse. Es un material ultraabsorbente, siendo capaz de absorber hasta 900 veces su peso, una capacidad muy superior a la de muchos absorbentes comerciales, lo que puede resultar de gran utilidad para el tratamiento de derrames de petróleo en el mar.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Zhejiang en China es el responsable de este fascinante hallazgo, que fue publicado en la revista *Nature* en fe-



Figura 4. Aerogel de grafeno posado sobre una flor de cerezo. Fuente: <https://scifocusperiodismo.wordpress.com/2013/04/15/aerogel-de-grafeno-el-material-del-futuro-mas-ligero-del-mundo>.

brero de 2013 [3]. Para su preparación emplearon nanotubos de carbono y láminas de óxido de grafeno, eliminando el oxígeno de su estructura mediante un proceso de liofilización, resultando una esponja conductora, elástica y sólida. Este método de preparación puede ser fácilmente aplicado a escala de metros cúbicos y permite crear piezas de cualquier tamaño, utilizando recipientes adecuados.

El aerografeno posee una gran variedad de propiedades y aplicaciones, lo que le convierte en el material del futuro. Se puede utilizar como aislante térmico, en pantallas táctiles, para implantaciones y prótesis, transistores, celdas solares, etc. Sin embargo, su aplicación más innovadora es, sin duda, la protección del medio ambiente, luchando contra la contaminación.

Q-CARBONO, UN MATERIAL MÁS DURO QUE EL DIAMANTE

El Q-carbono es una estructura amorfa (no cristalina) de carbono, descubierta en 2015 por científicos de la North Carolina State University mientras probaban un nuevo método para fabricar diamantes de forma más rápida (ver Figura 5) [4]. Las propiedades de este material habían sido primeramente estudiadas en 2013 por investigadores de la Universidad de Rice en Houston, aunque entonces no se percataron de su gran descubrimiento. Habían determinado que estaba formado por átomos de carbono con hibridaciones sp^2 y sp^3 , resultando un material flexible y resistente, a diferencia del diamante, cuyos átomos sólo presentan hibridaciones sp^3 . Sin embargo, tras diversos intentos fallidos, este grupo de científicos no consiguió sintetizar una conformación estable del Q-carbono.

Ha sido el grupo de investigadores de la North Carolina State University el que ha conseguido preparar recientemente este material por la técnica de pulso láser a temperatura ambiente y presión atmosférica, controlando la cinética y el tiempo, superando así las limitaciones termodinámicas [5].

Se trata de un material que presenta una baja afinidad electrónica, lo que le convierte en un excelente conductor/emisor de electrones. Es más resistente que el grafeno y los nanotubos de carbono y más duro que el diamante, habiéndose comprobado que el único sitio en la naturaleza donde puede encontrarse este material es en el núcleo de algunos planetas.

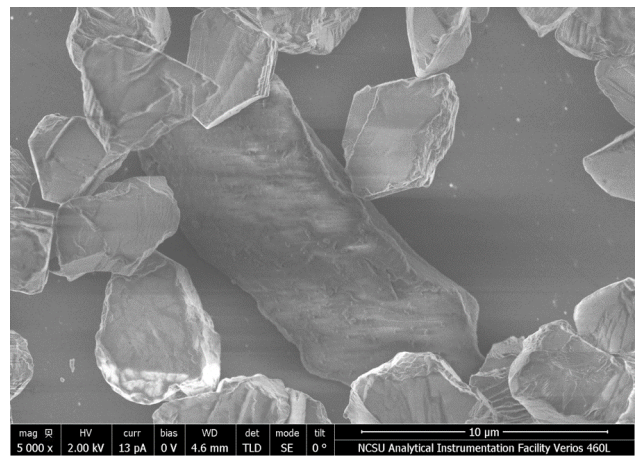


Figura 5. Micrografía del material Q-carbono. Fuente: <http://www.q-carboninc.com/?portfolio=portfolio-04>.

Una de las extraordinarias propiedades del Q-carbono es su particular brillo cuando se expone a distintos niveles de energía, siendo también ferromagnético. Aunque este estudio se encuentra en su primera fase de desarrollo, estas investigaciones representan un avance importante para las tecnologías basadas en diamantes. La aplicación más importante de este material es, de momento, la posibilidad de fabricar diamantes aplicando una técnica con láseres en condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica, lo que permite abaratar los costes de su producción de forma considerable. Sus descubridores exponen que es posible fabricar diamantes en distintas formas, incluso a nivel nanoscópico, como las nanoagujas, lo que abre un nuevo abanico de aplicaciones para el diamante. Estas aplicaciones potenciales abarcan desde detección biomédica, dispositivos electrónicos y fotónicos de alta potencia, hasta el mecanizado a alta velocidad y perforación en alta mar.

La facilidad del proceso de fabricación del Q-carbono y sus propiedades físicas únicas sugieren un futuro prometedor para esta tecnología.

UPSALITO, UN MATERIAL SUPERABSORBENTE

El Upsalito (ver Figura 6) es un material superabsorbente de carbonato de magnesio anhidro, que fue descubierta en el año 2011 por investigadores de la Universidad de Uppsala, en Suecia [6]. Este grupo de investigadores sueco, después de diversos intentos fallidos modificando parámetros de síntesis del material, descubrió, tras dejar olvidada durante un fin de semana la mezcla de síntesis en la cámara de reacción, la formación de un gel rígido, que una vez seco presentaba excelentes propiedades.



Figura 6. El Upsalito, carbonato de magnesio anhidro. Fuente: <https://www.theguardian.com/science/shortcuts/2013/aug/14/impossible-upsalite-really-wonder-stuff>.

El procedimiento de síntesis del Upsalito consiste en hacer reaccionar óxido de magnesio (MgO), metanol (CH_3OH) y dióxido de carbono (CO_2) a baja temperatura como se muestra en la Figura 7. Así, se consigue un material nanoestructurado poroso de carbonato de magnesio ($MgCO_3$) anhidro, con un tamaño de poro por debajo de los 6 nm y una elevada área superficial, de unos $800 \text{ m}^2/\text{g}$.

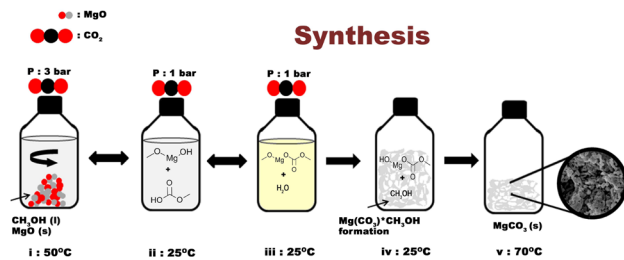


Figura 7. Método de preparación del material Upsalito. Fuente: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0068486>.

La particularidad de este material radica en su mejor capacidad para absorber agua a humedades relativas bajas, en comparación con otros materiales utilizados hasta el momento, como son las zeolitas higroscópicas. Además, tiene un menor coste y posee la capacidad de liberar agua a más baja temperatura que las zeolitas, lo que conlleva un menor gasto energético. El Upsalito puede ser regenerado por calentamiento a 95°C , frente a los 150°C que precisan muchas zeolitas.

Gracias a las cualidades que presenta este material, puede ser utilizado para controlar la humedad ambiental en el sector de la construcción, como revestimiento en la estabilización de suelos y para evitar la aparición de eflorescencias, en las industrias electrónica y química, en el desarrollo de fármacos con componentes activos de escasa solubilidad en agua, como absorbente de sustancias tóxicas y en la eliminación de malos olores.

METAMATERIALES E INVISIBILIDAD ÓPTICA

Los metamateriales son materiales artificiales capaces de desviar y controlar la dirección de las ondas electromagnéticas rodeando un objeto, no absorbiendo ni reflejando la luz, volviéndolo invisible (ver Figura 8), como cuando una roca es rodeada por el agua que fluye río abajo [7]. Los metamateriales, como su nombre indica, están fabricados de metal y son quebradizos, por lo que su manufactura a gran escala es aún un importante reto por cumplir.

La base científica de estos materiales radica en su índice de refracción. La medida del índice de refracción determina la reducción de la velocidad de la luz cuando esta pasa de un medio de propagación a otro. Este fenómeno implica también un cambio en la dirección de propagación del rayo de luz, produciendo su curvatura. El control de este parámetro es el que permite crear objetos transparentes; concretamente, se precisan índices de refracción negativos, imposibles en materiales naturales.

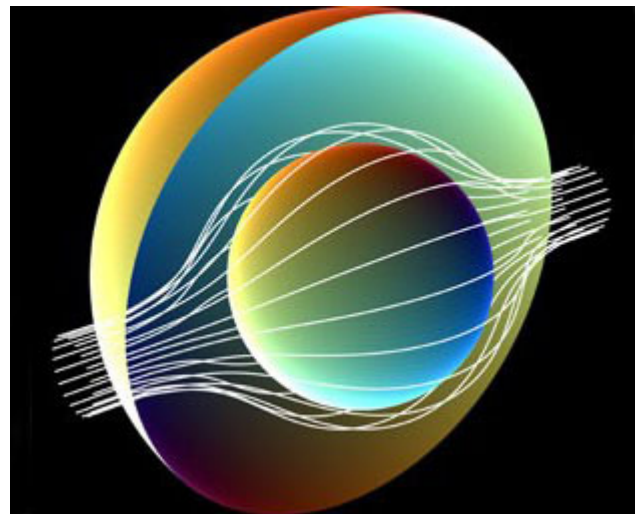


Figura 8. Metamaterial desviando rayos de luz alrededor de una pelota haciéndola invisible. Fuente: <http://discovermagazine.com/2009/apr/10-metamaterial-revolution-new-science-making-anything-disappear>.

Algunos científicos pioneros en el campo de los metamateriales, son John Pendry, del Imperial College en Londres, y David Schurig y David Smith, de la Duke University en Estados Unidos, que publicaron en la revista *Science* en el año 2006 su teoría acerca de una novedosa “óptica transformacional”, cuya finalidad era controlar la transmisión de la luz [8]. Estos científicos trabajaron para conseguir que las dimensiones de la estructura del material fueran inferiores a la longitud de onda de la luz, por lo que la nanotecnología juega en este caso un papel muy importante. De esta forma, dise-

ñaron el primer objeto invisible a la radiación microondas, insertando minúsculos circuitos eléctricos en planos concéntricos sobre bandas de cobre. Los estudios de estos científicos han hecho que las investigaciones sobre los metamateriales hayan aumentado de forma considerable en los últimos años.

Otro científico destacado en este campo ha sido Xiang Zhang, de la Universidad de Berkeley en California [9]. En este caso, el grupo de investigación liderado por él ha logrado importantes avances sobre metamateriales ópticos que trabajan en tres dimensiones, no reflejando la luz, haciéndolos invisibles. Se trata de estructuras de múltiples capas con forma de red y un índice de refracción de la luz negativo. Estos metamateriales, que se han obtenido aplicando técnicas de nanoingeniería, han sido financiados por el Pentágono, ya que una de las aplicaciones que se baraja es su posible uso en el campo militar, por ejemplo, para camuflar aviones y carros de combate.

Más tarde, científicos de Reino Unido de la Universidad ST Andrews, en Escocia, han inventado un nuevo material capaz de hacer invisibles objetos que no sean planos e incluso a personas. Su trabajo fue publicado por la revista *New Journal of Physics*, donde expusieron que el metaflex (ver Figura 9), nombre otorgado a este metamaterial, interactúa con los rayos de luz de forma diferente a los materiales comunes. La base científica de este estudio radica en las propiedades electromagnéticas poco usuales de estos materiales, que son capaces de curvar y canalizar la luz. Este material es rodeado por los rayos de luz sin llegar a reflejarlos. Estos resultados son excelentes para futuras generaciones de metamateriales tridimensionales flexibles en ondas de longitud óptica, ya que confirman que es posible producir metamateriales sobre sustratos flexibles y operar con ellos en un régimen de visibilidad.



Figura 9. Metaflex. Fuente: http://news.xinhuanet.com/english2010/sci/2010-11/07/c_13594966.htm.

El metaflex no sólo promete importantes avances en el campo de la óptica, sino que también se ha aplicado en la fabricación de membranas flexibles para producir tejidos inteligentes, que podrían hacernos invisibles al ojo humano cuando vistiésemos estas prendas. Este hecho es posible gracias a la unión de las membranas flexibles que componen el metaflex a través de una técnica capaz de liberar los átomos de la superficie sobre la que se fabricó. Una de las potenciales aplicaciones del metaflex es la fabricación de superlentes de mayor eficacia que las ya existentes en el mercado.

Como es de esperar, las investigaciones sobre los metamateriales seguirán avanzando en los próximos años, ante la anhelada búsqueda de la completa invisibilidad de cualquier cuerpo.

ESPUMAS METÁLICAS COMPUESTAS

Las espumas metálicas son materiales ampliamente conocidos; sin embargo, los nuevos compuestos metálicos ligeros o espumas metálicas compuestas (Composite metal foams, CMFs) son materiales más recientes [10]. Las CMFs (ver Figura 10) son un nuevo tipo de espuma metálica formada por esferas huecas metálicas fabricadas con materiales como acero inoxidable, acero al carbono o titanio, encajadas en una matriz metálica compuesta por aleaciones de aluminio, acero u otras aleaciones metálicas. La presencia de la matriz refuerza y estabiliza las paredes de las esferas, reduciendo la posibilidad de su flexión cuando se aplica una carga y dando como resultado un material más fuerte, con una capacidad de absorción de energía mucho mayor. Las propiedades de las CMFs pueden ser alteradas por su técnica de procesamiento, variando el tamaño y grosor de la pared de las esferas huecas, así como los materiales de la matriz y las esferas.

Los estudios realizados con estos materiales han demostrado su gran dureza, siendo capaces de destruir por completo proyectiles de perforación de alto impacto. Este material es capaz de absorber entre un 60 y un 70% de la energía cinética total del proyectil cuando este es disparado sobre el mismo. Es por ello, que resulta un material óptimo para la fabricación de armaduras balísticas, como blindajes de vehículos, chalecos antibala, etc., pudiendo incluso sustituir a las tradicionales planchas metálicas utilizadas para estos fines.

Las CMFs son muy eficaces en el bloqueo del calor, gracias a las bolsas de aire presentes en su interior, ya

que el calor se desplaza con más lentitud atravesando el aire que atravesando el metal [11]. Las propiedades aislantes de estos materiales frente al calor extremo han sido ampliamente estudiadas por una profesora del área de Ingeniería mecánica aeroespacial de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. En su trabajo expuso que las espumas metálicas compuestas presentaban una estabilidad térmica superior y un excelente rendimiento retardante de las llamas cuando se usaban como aislante térmico, en comparación con otros materiales comercializados para este fin, como es el caso del acero inoxidable. Con estos resultados, las CMFs se presentan como unos materiales competentes en otras áreas, como por ejemplo, en la fabricación de contenedores de almacenamiento y transporte de material nuclear, materiales explosivos, peligrosos o tóxicos, así como en la industria aeroespacial, debido a sus propiedades de gran resistencia y ligereza.



Figura 10. Espuma metálica compuesta (CMF) fabricada con esferas de acero y matriz de aluminio utilizando una técnica de fundición. Fuente: http://www.labspace.net/102021/New_material_mimics_bone_to_create_better_biomedical_implants.

HORMIGÓN AUTO-REPARABLE

Desde hace unos años, existe un creciente interés por desarrollar mecanismos de auto-reparación para una gran variedad de materiales, entre los que se encuentra el hormigón. El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, cuya composición general suele ser cemento, arena y agua. Sin embargo, un nuevo componente de origen biológico podría ser añadido muy pronto a dicha mezcla en las hormigoneras. Investigadores de la Universidad Técnica de Delft, en los Países Bajos, han fabricado un hormigón auto-reparable, empleando microorganismos que sintetizan

carbonato cálcico para rellenar las grietas o fisuras ocasionadas por las tensiones [12]. Para este estudio, se buscaron microorganismos capaces de crecer y sobrevivir en un material rocoso, seco y bastante alcalino, seleccionándose los del género *Bacillus*, capaces de soportar condiciones extremas. Su función consiste en producir carbonato de calcio, con el que van rellenando las grietas o fracturas, quedando así el material sellado. Estas bacterias, además, se reactivan cuando disponen de suficiente agua, que se filtra a través de las grietas. A pesar de causar la oxidación del acero en el hormigón, en este caso, el agua sirve para activar a los microorganismos. Para poder sintetizar el carbonato cálcico necesario para sellar el hormigón, estas bacterias necesitan, además, nutrientes, por lo que se les añade lactato de calcio en forma de cápsulas biodegradables, que se rompen al ponerse en contacto con el agua.

Esta propuesta mejora la esperanza de vida del hormigón, permitiendo ahorrar en reparaciones, así como en mantenimiento. Ya se ha empleado para reparar grietas de hasta 0.5 mm de sección, tanto en estructuras nuevas como antiguas. Sin embargo, no aumenta la resistencia de la estructura, por lo que las fracturas mayores tienen que ser reparadas empleando métodos tradicionales. En el caso del hormigón armado, reforzado con acero, así como en aquellas construcciones de difícil accesibilidad, esta solución conduciría a importantes ahorros, ya que se requerirían menos reparaciones y mantenimiento. Los próximos estudios en este campo serán investigar cómo afecta la temperatura a la auto-reparación del hormigón y trabajar en la producción de cepas de *Bacillus* capaces de sintetizar la mayor cantidad posible de carbonato cálcico.

Investigadores de la Universidad de Newcastle han sintetizado una bacteria modificada genéticamente llamada *BacillaFilla* a partir de unas bacterias comunes que residen en los suelos [13]. La bacteria *BacillaFilla* es capaz de reproducirse y excretar una mezcla de carbonato cálcico y un pegamento, que al endurecerse se vuelve rígida como el cemento, sellando así las grietas (ver Figura 11). La *BacillaFilla* sólo se reproduce cuando entra en contacto con el hormigón, al reconocer el pH de este material, y además no puede sobrevivir en otro entorno que no sea el del hormigón, debido a que se le ha implantado un gen de autodestrucción.

La utilización de este tipo de microorganismos para auto-reparar las estructuras afectadas se presenta como una solución muy interesante, ya que a su bajo coste,

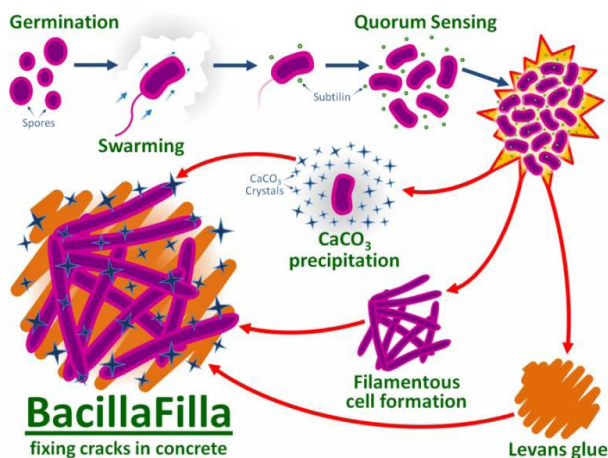


Figura 11. Mecanismo de reparación del hormigón por las bacterias BacillaFilla. Fuente: <http://2010.igem.org/Team:Newcastle>.

hay que añadir el hecho de tratarse de una solución sostenible, ya que reduciría la producción de hormigón, que es una actividad antropogénica que contribuye en cerca de un 5% a las emisiones de dióxido de carbono. Una importante área de aplicación de esta bacteria sería en la reparación de aquellas grietas o fisuras ocasionadas en edificios parcialmente dañados por terremotos, sin la necesidad de tener que ser derruidos.

Otro estudio reciente de la Universidad de Yonsei en Corea del Sur, muestra el primer modelo de recubrimiento protector auto-reparador para hormigón, basado en microcápsulas de polímero [14]. Estas microcápsulas contienen en su interior una solución que, al ser expuesta al sol, solidifica, siendo además resistente al agua. Así, si el hormigón sufre algún agrietamiento, estas cápsulas se abren liberando la solución y rellenando las grietas, que solidifican con la luz solar. Este sistema aporta importantes ventajas frente a otros sistemas de auto-reparación basados en microcápsulas, que consisten en un agente curativo y un catalizador que provoca la solidificación de la solución. Al no requerir catalizador, el coste del nuevo sistema es más bajo. Además, el polímero utilizado como agente curativo no se congela, ni siquiera a temperaturas muy bajas y es compatible con el medio ambiente. Las próximas investigaciones en este tema irán encaminadas a establecer la composición óptima del recubrimiento y demostrar su estabilidad durante largos tiempos. De momento, se ha demostrado que este recubrimiento puede persistir inalterable durante un año.

GEOSILEX, UN MATERIAL CAPTADOR DE DIÓXIDO DE CARBONO

El Geosilex es un nuevo material utilizado en la construcción, obtenido a partir de desechos industriales procedentes de la fabricación de acetileno [15,16] (ver Figura 12). La fabricación del Geosilex ha sido desarrollada en un proyecto de investigación entre la empresa Geosilex Treza Metal (Zamora) y la Universidad de Granada y lleva patentada desde el año 2010. El proceso de obtención de este material consiste en recuperar el hidróxido cálcico generado como residuo en la producción del gas acetileno. Este residuo se limpia de impurezas (tipo sulfuros, sulfitos y sulfatos y residuos de carbono orgánico), resultando una cal que posee una gran capacidad de adsorción de dióxido de carbono, gracias a su estructura laminar y a su pequeño tamaño de partícula (ver Figura 13). Para potenciar las propiedades de este material acorde con sus prestaciones físicoquímicas, se emplean diferentes aditivos.

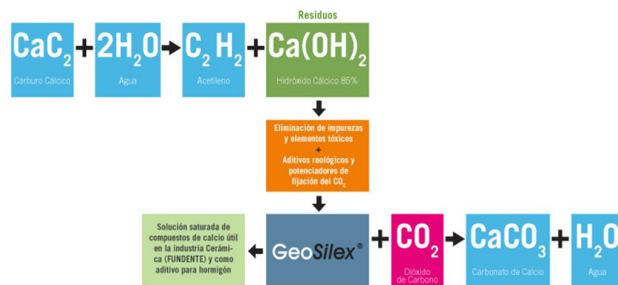


Figura 12. Proceso patentado para la obtención del Geosilex y su utilización como adsorbente del CO_2 . Fuente: <http://www.geosilex.com/geosilex/proceso-de-obtencion-del-geosilex>.

Esta cal se suministra en forma de polvo, para posteriormente mezclarse con cenizas procedentes de las centrales térmicas de carbón. Dichas cenizas permiten que este material pueda fraguarse, pudiendo llegar a convertirse en un sustituto del cemento, según indican los científicos. Este nuevo descubrimiento supone un gran avance, ya que el método tradicional de fabricación de la cal industrial, la calcinación de carbonato cálcico a elevadas temperaturas, emite grandes cantidades de dióxido de carbono (gas de efecto invernadero). Por el contrario, la utilización del Geosilex como sustituto de la cal en la industria del hormigón está libre de huella de carbono, al proceder de la valorización de desechos industriales. Además, puede utilizarse como captador de dióxido de carbono, por ejemplo en las propias chimeneas de las industrias cementeras, transformándolo en carbonato cálcico según la siguiente reacción: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

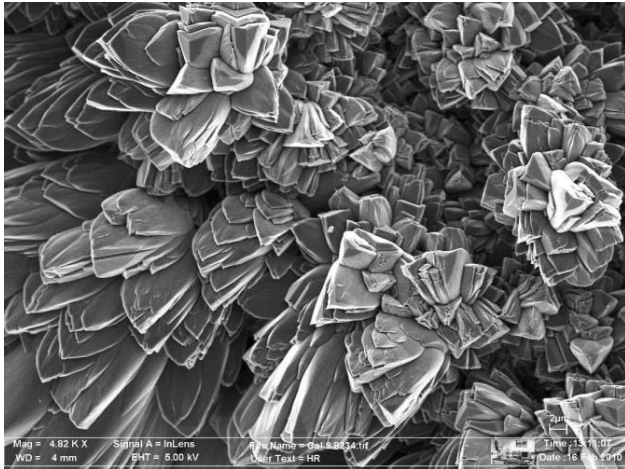


Figura 13. Imagen de la estructura laminar del Geosilex al microscopio. Fuente: http://noticiasdela ciencia.com/not/4169/se_patenta_un_nuevo_material_que_absorbe_co2.

Adicionalmente, la estabilidad química del cemento mejora gracias al elevado pH del Geosilex, que evita la fijación de microorganismos y vuelve inertes a los sedimentos orgánicos, lo que hace que las construcciones sean más duraderas. También se ha comprobado que la incorporación de Geosilex en los materiales de construcción mejora sus propiedades aislantes térmicas.

En los últimos años el trabajo de esta investigación se ha centrado en llevar a cabo la carbonatación forzada, reacción que ocurre entre el hidróxido cálcico disuelto en agua y el dióxido de carbono de la atmósfera, para dar lugar a carbonato cálcico insoluble. Para ello, se emplea una enzima, la *anhidrasa carbónica*, que acelera el proceso, reduciendo hasta miles de veces el tiempo necesario. La aplicación del Geosilex en lugares donde existe gran emisión de gases contaminantes ha conducido a obtener unos primeros resultados que parecen prometedores.

En definitiva, se trata de un nuevo material bastante rentable desde el punto de vista medioambiental, ya que no sólo contribuye al reciclaje de residuos, sino que es un material con una huella de carbono cero y capaz de captar dióxido de carbono, lo que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, al ser un material de construcción, reduce las cantidades de cemento que se utilizan de forma habitual, por lo que la huella de carbono podría incluso alcanzar valores negativos. Por lo tanto, resulta fundamental seguir avanzando en estas líneas de investigación para progresar en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética de las nuevas construcciones.

REPELENTE DE GÉRMENES (SLIPS)

El repelente de gérmenes SLIPS (*Slippery Liquid-Infuse Porous Surfaces*, cuyas siglas traducidas del inglés son superficie porosa-resbaladiza para líquidos infundidos), es un material fabricado por un grupo de científicos de la Universidad de Harvard [17]. Este grupo de investigadores se ha inspirado, para su preparación en el mecanismo que utiliza una planta carnívora (especie lanzadora *Nepenthes*) para atrapar a los insectos (ver Figura 14). Cuando llueve, en la superficie de la hoja ahuecada de esta planta se crea una capa lubricante de agua, una superficie casi sin fricción, que se transforma en una trampa letal para insectos y también para las ranas [18]. Basándose en dicho mecanismo, han conseguido fabri-

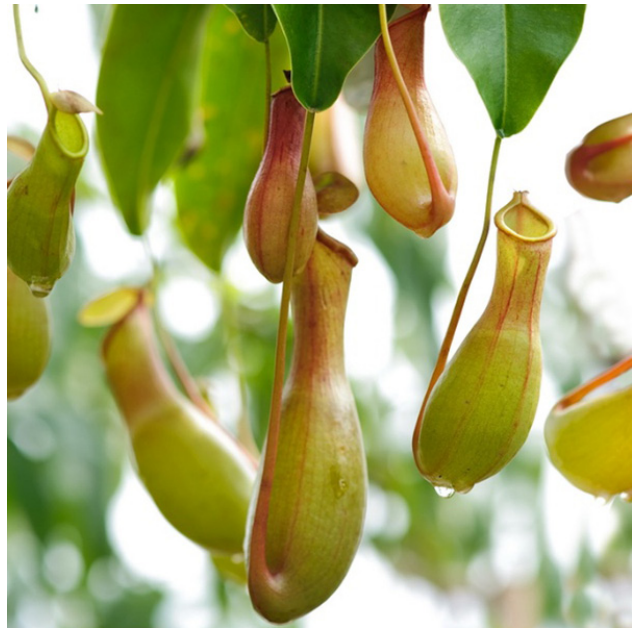


Figura 14. Especie *Nepenthes* lanzadora, la planta jarra carnívora tropical. Fuente: <http://www.slipstechnologies.com/about-slips>.

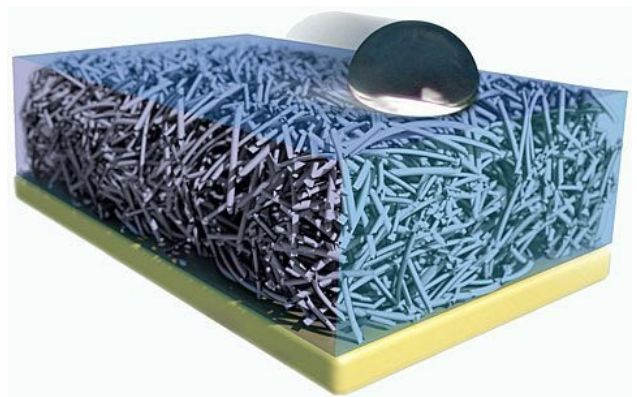


Figura 15. Repulsión de una gota de agua por el material SLIPS. Fuente: <http://www.xatakaciencia.com/tecnologia/se-crea-un-nuevo-material-capaz-de-repeler-liquidos>.

car un material poroso funcionalizado (SLIPS), en el cual se inyecta un fluido lubricante (ver Figura 15). Este sistema combinado no muestra retención alguna y es capaz de repeler no sólo la sangre y el aceite, sino prácticamente cualquier líquido, hasta en condiciones extremas de presiones elevadas y temperaturas bajo cero, proporcionando un recurso sencillo y versátil para repeler líquidos. Hasta el momento, para este tipo de trabajos se habían investigado otra clase de hojas, como las de loto, que son resistentes al agua pero no a los líquidos orgánicos o complejos. En el caso de las hojas de loto el sistema utiliza nanoestructuras tipo almohadilla rellenas de aire, que repelen el agua. Sin embargo, en el caso de las hojas de la planta carnívora estas se encuentran protegidas con una capa de agua que hace de superficie repelente y precisan muy poco ángulo de inclinación para que los líquidos o los sólidos (se ha probado que pueden repeler incluso el hielo) puedan deslizarse fuera de su superficie.

Según esta investigación, la base de este descubrimiento podría tener gran variedad de utilidades en campos como la medicina (fabricación de catéteres, sistemas de transfusión de sangre, etc.), en la fabricación de tuberías de agua, en autolimpieza de ventanas, en tecnologías antihielo y en transporte de combustibles, entre otras.

SEDA ARTIFICIAL DE ARAÑA

La seda natural es un material con excelentes propiedades físicas, siendo más fuerte que el acero y más resistente que el Kevlar, pudiendo ser estirada sin romperse en más de un 40% respecto a su tamaño original. Se trata de un material natural muy apreciado; sin embargo, el proceso de fabricación de la seda artificial o sintética a gran escala es complejo y de elevado coste. Es por ello que científicos en todo el mundo han estado realizando continuas investigaciones con objeto de simplificar y abaratar el proceso de síntesis. Investigadores del grupo de Materiales Estructurales Avanzados y Nanomateriales, adscrito a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y al Centro de Tecnología Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid, han conseguido producir una de las fibras de seda de araña más resistente en todo el mundo [19]. Para su fabricación siguieron los mismos pasos que para la producción de la denominada hijuela, hilo de seda de gusano muy resistente, preparado desde hace aproximadamente dos siglos en la región de Murcia. El procedi-

miento tradicional seguido por los murcianos consistía en deformar en medio ácido (mezcla agua-vinagre) la glándula sericígena que poseen los gusanos para producir las proteínas que componen la seda. De esta forma, conseguían un hilo de gran resistencia que utilizaban para pescar y suturar heridas. De forma similar, el grupo de investigadores de Madrid empleó las glándulas sericígenas de la especie arácnida *Nephila inaurata* (ver Figura 16) y las trató en medio ácido, optimizando parámetros para mejorar la resistencia de las fibras. La nueva fibra sintética preparada por estos investigadores, conocida como “hijuela de araña”, posee un diámetro muy superior al de la fibra natural, pudiendo soportar cargas mayores sin romperse.

Por otro lado, una *start-up* japonesa, conocida como Spiber, ha estudiado también una nueva ruta para poder producir sintéticamente seda con las mismas propiedades que la seda natural [20,21]. El hilo de seda Spiber llamado Qmonos, que significa en japonés “telaraña”, es un ejemplo de biomimética, una ciencia que se inspira



Figura 16. Araña de la especie *Nephila inaurata*. Fuente: https://ro.wikipedia.org/wiki/Nephila_inaurata.

en la propia naturaleza para resolver problemas humanos. Las investigaciones de Spiber en el campo de la ingeniería genética, han consistido en revelar el gen responsable de la producción de la proteína conocida como fibroína, que producen algunos artrópodos como las arañas o los gusanos de seda mientras segregan el hilo. El hilo de seda (ver Figura 17) está compuesto por dos proteínas principalmente, que son fibroína (centro estructural) y sericina (material pegajoso que rodea a la fibroína). La fibroína es una proteína globular que, cuando es eyectada, se desnaturaliza, cambiando de estructura globular a fibrosa. Esta proteína está compuesta por una cadena molecular de cuatro aminoácidos neutros y es producida por las glándulas de seda o hileras, ubicadas en la parte posterior del cuerpo de la araña. De esta forma, Spiber ha conseguido sintetizar hasta 8 kilómetros de seda a partir de un solo gramo de fibroína y espera llegar a producir hasta 10 toneladas próximamente. Por último, Spiber señala que se precisa realizar otra serie de pruebas para preservar este material del medio ambiente, siendo incluso posible recubrirlo con resina, para evitar que se rompa con el tiempo.

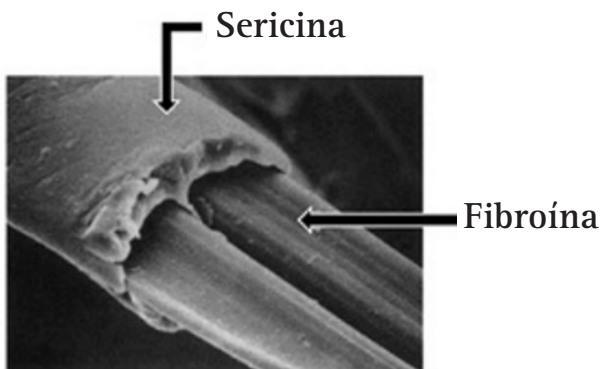


Figura 17. Imagen de las dos proteínas que constituyen el hilo de seda. Fuente: https://ro.wikipedia.org/wiki/Nephila_aurata.

Más sorprendente aún es el estudio que han realizado en la Universidad de Utah en Estados Unidos el profesor Randy Lewis y sus colaboradores. Estos investigadores han conseguido obtener seda de arañas a partir de leche de cabra (“cabras araña”) [22]. Se trata de un material de gran valor comercial gracias a su resistencia y elasticidad. Este equipo de investigadores, realizando estudios genéticos, logró introducir el gen de las arañas responsable de producir seda, en un segmento de ADN de la cabra, pudiéndose reproducir fielmente secuencias iguales de control de ADN. Lo hicieron de tal forma que la proteína que extrajeron del gen de la araña sólo se formaba en la ubre de la cabra cuando esta producía leche.

Los científicos consideran muy importante continuar con las investigaciones en este campo debido a las valiosas aplicaciones que presenta la seda sintética. Entre estas se encuentran las aplicaciones biomédicas, gracias a su biocompatibilidad y a sus excelentes propiedades mecánicas, resistencia y deformabilidad, pudiendo llegar a sustituir a la seda natural. La seda artificial podría jugar, también, un papel muy importante en medicina regenerativa ya que es capaz de adherirse a células para regenerar los tejidos dañados. Por último, la gran capacidad de este material sintético para absorber importantes cantidades de energía mecánica antes de fracturarse, hace que pueda incluso utilizarse en la fabricación de materiales de protección, chalecos antibala y productos para la seguridad vial, tipo parachoques, vallas, llantas, etc.

REFERENCIAS

- [1] Novoselov KS, Geim AK et. al. (2004). *Science* 306, 666.
- [2] <http://www.aerographene.com/en>.
- [3] Nature publishing group: Nanomaterials: Solid carbon, springy and light, *Nature* 494 (2013).
- [4] <https://news.ncsu.edu/2015/11/narayan-q-carbon-2015>.
- [5] <http://www.slashgear.com/researchers-create-diamond-at-room-temperature-30416392>.
- [6] <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0068486>.
- [7] <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/08/11/ciencia/1218449444.html>.
- [8] http://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/11/121112_invisibilidad_metamateriales_am.
- [9] <https://hipertextual.com/2015/09/capa-de-invisibilidad>.
- [10] Chen S, Marx J, Rabiei A (2016). *International Journal of Thermal Sciences* 106, 70–79.
- [11] https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Boletines/Metal_mecanico/optibas0116.pdf.
- [12] http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-05-19/hormigon-cemento-bacterias-grietas-autorreparacion_807312.
- [13] <http://wp.cienciaycemento.com/bacillafilla-una-bacteria-que-repara-el-hormigon>.

- [14] <https://www.technologyreview.es/materiales/42617/un-hormigon-autorreparable-utiliza-la-luz-solar>.
- [15] http://noticiasdelaciencia.com/not/4169/se_patenta_un_nuevo_material_que_absorbe_co2.
- [16] <http://www.geosilex.com/geosilex/proceso-de-obtencion-del-geosilex>.
- [17] <http://www.abc.es/20110921/ciencia/abci-crean-nuevo-material-repele-201109211502.html>.
- [18] <http://www.slipstechnologies.com/about-slips>.
- [19] Jiang P, Mari-Buyé N, Madurga R, Arroyo-Hernández M, Solanas C, Gañán A, Daza R, Plaza GR, Guinea GV, Elices M, Cenis JL, Pérez-Rigueiro J (2014). *Scientific Reports* 4, Article number: 7326.
- [20] <http://lat.wsj.com/articles/SB10001424127887323848804578605812481468332>.
- [21] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612014000100001.
- [22] http://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/01/120119_cabra_arana_utah_am.shtml.

Vanesa Calvino Casilda
María Luisa Rojas Cervantes
Dpto. de Química Inorgánica y Química Técnica
Francisco José Delgado Gómez
Arisbel Cerpa Naranjo
Dpto. de Ingeniería Industrial y Aeroespacial
Universidad Europea de Madrid