

Nanotecnología ilimitada

¿Qué es la nanotecnología, de dónde viene y qué se puede hacer con ella? La naturaleza inspira y permite crear nuevas nanoestructuras o nanomateriales con propiedades asombrosas, y son muchos los campos en los que la nanotecnología puede aportar interesantes avances. Existen diferentes sistemas que, gracias a la nanotecnología, mantienen las propiedades funcionales durante más tiempo -lo que aumenta su vida útil-, o bien mantienen su apariencia superficial en mejores condiciones -reduciendo el “envejecimiento prematuro” del producto a ojos del usuario-, o bien permiten reparar el producto -evitando recambios y arreglos-.

¿Qué es la “nanotecnología”?

El mundo de lo “nano”

Para explicar qué es la nanotecnología resulta imprescindible sumergirse en el mundo de lo “nano”. El prefijo “nano” proviene del griego “nanos”, que significa “enano”. Actualmente, la definición de “nano” corresponde a la milmillonésima parte, por lo que un nanómetro resulta de dividir un metro en mil millones de partes iguales, o lo que es lo mismo, coger un milímetro y dividirlo en un millón de partes iguales. Es probable que este segundo acercamiento permita tener una idea más clara del tamaño al que se hace referencia cuando se habla de algo “nano”.

La nanoescala se mueve hasta el rango de los 100-200 nanómetros (nm). Un pelo humano tiene un diámetro de 90.000 nm, un glóbulo rojo tiene un tamaño aproximado de 7.000 nm, la longitud de onda del espectro visible oscila entre los 400 y los 700 nm, un virus mide unos 100 nm, y las hélices del ADN son del orden de los 2 nm. Esta comparativa permite, por un lado, situar el orden de magnitud de la reducida escala en que se mueve la nanotec-

nología y, por otro, introducir a la nanotecnóloga más experimentada y con mayor número de éxitos: la naturaleza.

Aprendiendo de la naturaleza: nanobiomimética

Desde hace millones de años la naturaleza practica uniendo átomos entre sí -dando lugar a los principios de la nanociencia- a fin de conseguir estructuras más grandes: una molécula de celulosa para construir fibras que se unen a su vez para formar materias como el algodón, una proteína para generar fibras de colágeno que dan paso a los tendones, cartílagos, músculos, piel...; construyendo a partir de bloques a nanoescala algo de dimensiones de macroescala.

Pero también hace millones de años que la naturaleza provee a las flores de Edelweiss de una nanoestructura filamentosa que las hace enormemente resistentes a las radiaciones ultravioleta, lo que permite a esta flor resistir en el entorno de las grandes alturas de montaña (3.000 m) en las que habita. Del mismo modo, la superficie nanoestructurada de los ojos de las polillas les permite realizar una cap-

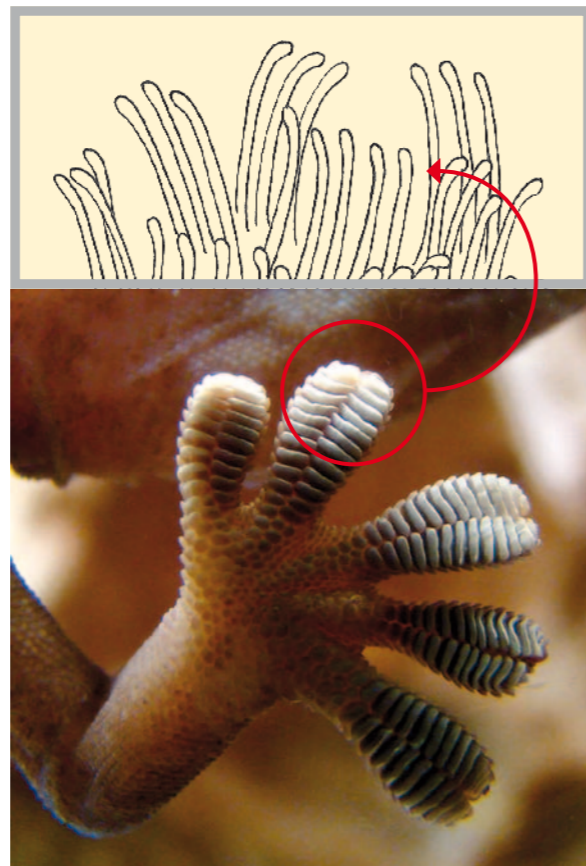
tación más eficiente de la luz, y esto les permite ver mejor de noche. Estas nanoestructuras han inspirado a los científicos para mejorar el rendimiento de las celdas solares.

También hace millones de años que unos lagartos llamados *geckos* poseen en sus pies unos filamentos más finos que el cabello humano con múltiples terminaciones en forma de “nanosetas” que les aportan una gran adherencia en seco (sin sustancias adhesivas) gracias a la cual pueden incluso subir por las paredes y desplazarse boca abajo. En este caso, la naturaleza nos inspira para desarrollar nuevos sistemas de adhesivos en seco basados en nanoestructuras.

Por otra parte, las hojas de la flor de loto presentan una superficie rugosa, con nanocristales de cera, que confieren a esta planta un efecto superhidrofóbico (de repelencia al agua), puesto que las gotas de agua no se esparcen en su superficie, lo que además la mantiene limpia (las gotas de agua, al caer en la superficie, arrastran la suciedad que puedan hallar por el camino). Este ejemplo sirve de inspiración a la hora de idear recubrimientos para crear superficies antimanchas, de fácil limpieza o autolimpiantes mediante efecto hidrofóbico, lo que resulta muy útil en las tapicerías de sofás y coches o incluso en la ropa de trabajo.

Definición y aplicaciones de la nanotecnología

La nanotecnología es la ciencia aplicada mediante la cual es posible crear pequeños dispositivos, materiales o estructuras a nanoescala, que aportan unas interesantes propiedades. Resulta importante destacar que las propiedades de los materiales que conocemos varían a nanoescala, puesto que entran en juego factores como la superficie específica o los efectos cuánticos. De hecho, materiales como el oro, cuando se reducen a partículas de tamaño nanoscópico, pueden cambiar sus propiedades ópticas



▲ Pie de Gecko (abajo) y esquema de los nanofilamentos que facilitan su adhesión a la superficie (arriba). © Wikipedia

(las partículas de 12 nm de oro no son doradas, sino que presentan un color rojizo) o incluso variar su temperatura de fusión (a macroescala funde a 1060 °C y a nanoescala a unos 650 °C).

Gracias al estudio de la naturaleza y a la investigación en nanociencia, hoy en día resulta posible conocer mejor las propiedades de los materiales a nanoescala y, por tanto, aplicar la nanotecnología en multitud de campos, como por ejemplo¹:

- Acabados para superficies, que pueden ser: antihongos, antibacterias, fotocatalíticos, antipolución, antimanchas, repelentes al agua y al aceite, autolimpiantes o de fácil limpieza, autorrepa-

rantes, antivaho, antirreflejos o incluso para dar colores iridiscentes.

- Refuerzo de materiales, obteniendo materiales nanocompuestos. Los refuerzos pueden ser tanto nanopartículas como nanofibras, así como otras formas (siempre con al menos una de las dimensiones dentro de la nanoescala).
- En aplicaciones tecnológicas, la nanotecnología permite conseguir placas solares más eficientes, sistemas de filtración eficaces, pequeños dispositivos para monitorización, ordenadores y teléfonos móviles más pequeños y más potentes, etc.
- En medicina, se está investigando el uso de nanopartículas para crear nuevos sistemas de detección y curación del cáncer, para la liberación localizada y controlada de medicamentos (*drug-delivery*), etc.

Estos efectos se consiguen en su mayoría gracias a la aplicación de nanomateriales: nanopartículas, nanorrecubrimientos, superficies nanoestructuradas, etc.

Fabricación de nanomateriales

Para obtener estos nanomateriales, se usan dos acercamientos básicos: el acercamiento *top-down* (descendente) y el acercamiento *bottom-up* (ascendente).

En el primero *–top-down–*, se parte de partículas o bloques de un tamaño mayor que la nanoescala y se retira progresivamente el material sobrante hasta alcanzar la forma deseada y el tamaño nanométrico. Se podría decir que es un método análogo a esculpir un bloque de mármol, puesto que se parte de un gran bloque y se va retirando el material sobrante hasta obtener la figura deseada. Un ejemplo de este tipo de métodos es la litografía que se usa para fabricar los microchips de los ordenadores.

En el segundo acercamiento *–bottom-up–*, se parte de pequeños bloques que se van ordenando y apilando hasta conseguir la nanoestructura o el nanomaterial deseado. En este caso, la analogía se obtiene con el proceso de construcción de una pared, en la que pequeños bloques de construcción (ladrillos) se van apilando y ordenando a fin de con-

seguir la estructura deseada (pared). Un ejemplo de este tipo de métodos es la deposición química de vapores, en la que la interacción de un haz altamente energético con un gas adecuado produce unas nanopartículas que se depositan sobre un sustrato, dando lugar a un recubrimiento que alcanza unos pocos nanómetros de espesor.

Nanotecnología y consumo

La sociedad de consumo actual de algún modo “exige” al mercado que la sorprenda con nuevas propuestas, nuevas soluciones, nuevas tecnologías. Cada vez nos vemos más rodeados de productos o dispositivos de altas prestaciones en las que la tecnología desempeña un papel clave. Un claro ejemplo de ello son las tecnologías de la comunicación. En pocos años, el sector de la tecnología móvil se ha reinventado. A un teléfono móvil ya no sólo le pedimos que esté localizable las 24 horas del día, sino también que sea ligero, efectivo, reciclable, seguro,

“Para obtener los nanomateriales se usan dos acercamientos básicos: el acercamiento *top-down* (de arriba abajo) y el acercamiento *bottom-up* (de abajo a arriba)”

que disponga de acceso a internet, aplicaciones para jugar, conexión con las redes sociales, etc. Lo mismo puede decirse de los ordenadores y otros dispositivos electrónicos como las *tablets* o las consolas de videojuegos. En un entorno en el que cada año surgen notables avances, esta sociedad consumidora de tecnología se informa e interesa y busca aquellos productos que le parecen nuevos y sorprendentes.

En la actualidad, los nanomateriales se concentran en dos tipos de aplicación, básicamente: como refuerzos en polímeros (en la mayoría de los casos), dando lugar a plásticos nanocompuestos con interesantes y mejoradas propiedades; o bien en forma

¹ Ashby, M. F.; Ferreira, P. J.; Schodek D. L. “Nanomaterial Product Forms and Functions”. En: Ashby, M. F.; Ferreira, P. J.; Schodek D. L. *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009, p. 403-465.

de recubrimientos que contienen nanopartículas, y que confieren acabados especiales a vidrios, muros, estructuras de acero, etc. Son estas interesantes propiedades y estos acabados especiales, sumados a la demanda que existe en la sociedad de productos nuevos y sorprendentes, los que hacen que nazca un claro interés alrededor de la nanotecnología, dado el gran valor añadido que aportan al producto, y más considerando que se trata de un valor añadido altamente funcional.

Por este motivo, la investigación en nanomateriales crece exponencialmente y cada vez aparecen más productos basados en la nanotecnología. Y este ritmo de investigación y desarrollo de producto resulta tan vertiginoso que disponemos en nuestro entorno de materiales (nanocompuestos, por ejemplo) incluso antes de saber cómo se va a gestionar su fin de vida, o si podrían suponer un riesgo para el medio ambiente o para la salud. Hoy en día no existe un consenso al respecto, a pesar de que se están haciendo esfuerzos en este sentido. Prueba de ello son una importante cantidad de estudios en los que se analizan los efectos de las nanopartículas en la salud humana y en el medio ambiente, recogidos en artículos de revisión², los organismos que se han creado o adaptado a fin de regular la normativa y la legislación, y los proyectos iniciados para aumentar el conocimiento sobre estos nanomateriales³, como es el caso del proyecto *Recytube*⁴ en el que se intenta evaluar la reciclabilidad de los nanotubos de carbono, una de las nanopartículas de mayor interés en la actualidad. De todos modos, debe decirse que hace relativamente pocos años que se ha tomado conciencia de ello; y a esta falta de consenso se une un reclamo general de falta de información y normativas. Resulta curioso que la nanotecnología se encon-

trara a nuestro alcance incluso antes de definir las normas de ensayo, de etiquetado o su nomenclatura.

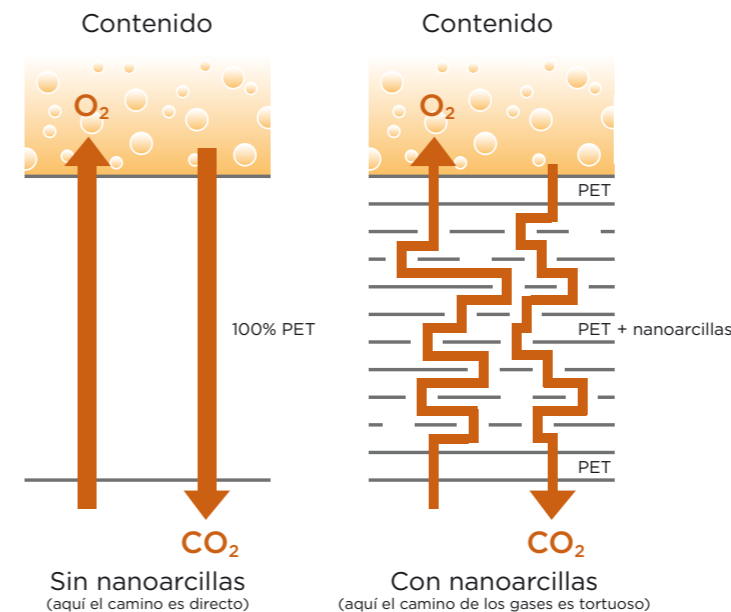
Por tanto, la tendencia actual respecto al consumo se puede resumir en una palabra: rapidez. Los productos se compran y son rápidamente reemplazados por otros, puesto que cuando su aspecto difiere del inicial se considera que ya están viejos y que hay que cambiarlos o, en el mejor de los casos, repararlos, repintarlos o embellecerlos. El lanzamiento de un nuevo producto con mejores prestaciones también puede provocar una “obsolescencia” de otros productos. Dentro de este sistema y del entorno que se perfila desde hace algunos años, el consumidor responsable busca productos de mayor calidad y valor añadido que le permitan tener el producto adecuado y en las mejores condiciones de usabilidad durante más tiempo. Es aquí donde la nanotecnología puede ayudar a conseguir este valor añadido.

¿Cómo permite la nanotecnología alargar la vida de algunos productos?

La nanotecnología ofrece una gran variedad de opciones y clasificarlas resulta realmente complejo, puesto que en ocasiones un mismo acabado proporciona varios efectos de valor añadido. Desde el punto de vista del producto, y atendiendo a la voluntad de explicar cómo la nanotecnología permite alargar la vida de los productos, se plantean tres escenarios: que se mantengan las propiedades funcionales del producto durante más tiempo –lo que aumenta su vida útil–, que se mantenga su apariencia superficial en mejores condiciones –reduciendo el “envejecimiento prematuro” del producto a ojos del usuario–, o bien que se logre reparar el producto de un modo autónomo, o más sencillo y rápido –evitando reemplazos o acciones costosas–.

Nanotecnología para prolongar la funcionalidad del producto

Tal y como se apunta anteriormente, uno de los puntos claves de la nanotecnología hoy en día es la obtención de nanocargas (como los nanotubos de carbono, los fullerenos o las nanoarcillas) para reforzar polímeros. Con muy pequeñas cantidades, incluso



▲ Esquema 1

del orden del 1-5 %, es posible modificar considerablemente las propiedades del plástico al que han sido añadidas. Pero además de un refuerzo mecánico, es decir, una mejora de su resistencia, las nanopartículas empleadas pueden generar la mejora de otras propiedades muy interesantes. Por ejemplo, la adición de nanotubos de carbono permite conseguir un plástico más resistente, pero a la vez que se convierta en conductor eléctrico (cuando la naturaleza de los polímeros es claramente aislante). Del mismo modo, un polímero que se refuerce con nanoarcillas, presentará una mejora de su resistencia a la llama y mejores propiedades de barrera a los gases, entre otras. Estos polímeros reforzados pueden usarse en forma de finas capas, dando lugar a los nanorrecostrucciones.

Existen dos claros ejemplos de productos que prolongan su funcionalidad gracias a la nanotecnología, puesto que sus propiedades como barrera a los gases alargan su vida útil: las pelotas de tenis

y los envases de bebidas gaseosas. En ambos casos, la adecuada dispersión de nanoarcillas en la matriz polimérica crea una distribución de pequeños elementos que dificultan el paso de los gases. Tal y como se muestra en el esquema 1, para atravesar la pared, los gases deben sortear un camino tortuoso que resulta más largo, por lo que se dificulta este paso. De este modo, la permeabilidad a los gases se reduce impidiendo, por una parte, que los gases contenidos en el interior escapen con facilidad, y por otra, que otros gases del exterior puedan entrar con facilidad.

En deportes como el tenis, el rebote de la pelota resulta crítico para el desarrollo del juego. Estas pelotas contienen una esfera interior de goma que se encarga de contener el aire en su interior con cierta presión (para asegurar el bote). Ésta se recubre posteriormente con un tejido de característicos filamentos amarillos. La parte interior de la pelota, la esfera de goma, presenta una baja permeabilidad a los gases, pero no nula; además, los fuertes impactos que recibe durante el desarrollo del juego no facilitan que se mantenga la presión dentro de la pelota. Es por ello que las pelotas de tenis, con el uso, dejan de botar de un modo adecuado, y puesto que no tienen ningún mecanismo para inflarlas, deben ser retiradas. Se trata de un producto con una vida útil limitada. Sin embargo, la aplicación de un nanosellante en el interior (una fina capa de nanorrecostrucción) le confiere una barrera a los gases (mediante el mecanismo descrito anteriormente), lo que permite que la vida de la pelota se duplique⁵. Se reduce a la mitad la necesidad de reemplazo del producto, junto con las implicaciones medioambientales que ello conlleva: menor cantidad de desechos que gestionar y menor necesidad de materias primas. Con este mismo concepto es posible mejorar el comportamiento de elementos como las cámaras de aire de las ruedas, aunque en este caso no se alarga la vida útil del producto propiamente dicho, sino que simplemente se reduce la necesidad de mantenimiento (hinchado de la rueda).

En el sector de la alimentación, las bebidas gaseosas y la cerveza, pero también los productos ali-

2 Maynard, A. D. "Nanotechnology: assessing the risks". *Nano Today*, vol. 1, núm. 2 (2006), p. 22-33.

3 Karluss, T. et al. "FORUM. Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part VIII: International Efforts to Develop Risk-Based Safety Evaluations for Nanomaterials". *Toxicological Sciences*, vol. 92, núm.1 (2006), p. 23-32.

4 Proyecto *Recytube* [en línea]. [Consulta: 20 de junio de 2012]. Disponible en: <http://www.recytube.eu/>

5 InMat Inc. "New technology doubles the life of tennis balls" [en línea]. 2001. [Consulta: 13 de abril de 2012]. Disponible en: <http://www.inmat.com/newsdocs/InMat-Press-release.htm>

mentarios frescos como las carnes envasadas, sufren especialmente los efectos de la permeabilidad a los gases de sus envases, en unos casos porque pierden el gas que contienen y en otros porque gases del exterior entran en el interior del envase, perjudicando al alimento. Una forma de prolongar la conservación de estos productos alimentarios es la de proveer envases que bloqueen adecuadamente el paso de los gases. Son numerosos los estudios de aplicaciones de nanoarcillas en diferentes matrices plásticas, desarrolladas para dar un adecuado efecto barrera a los gases con el fin de aplicarlos en envases alimentarios. Incluso se realizan estudios para mejorar esta propiedad en polímeros como el PLA⁶, que es un plástico biodegradable, lo que permitiría tener envases con propiedades mejoradas y, además, que fueran a priori menos perjudiciales para el medio ambiente en su gestión final. Además, también la adición de algunas nanopartículas en los plásticos para envasado⁷, como las nanopartículas de plata⁸ (características por sus propiedades antibacterianas), pueden dar lugar a envases activos⁹ que ayuden a conservar el alimento durante más tiempo.

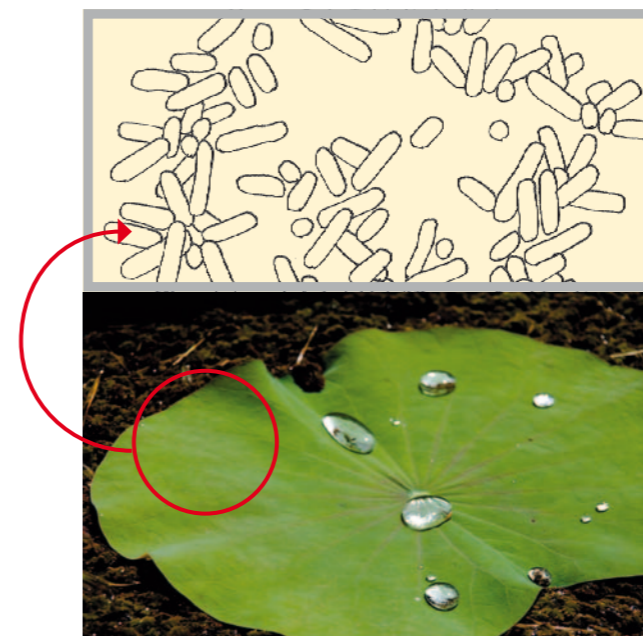
En el caso de las botellas de cerveza, tradicionalmente se han realizado en vidrio precisamente por su impermeabilidad a los gases. Sin embargo, estos envases son pesados y frágiles, y esto conlleva dificultades en el transporte. Pero un envase de plástico convencional no ofrece una buena barrera a los gases, por lo que no resulta una opción viable. Gracias a la nanotecnología se pueden obtener envases con finas capas intermedias (nanosellantes) que contengan estas nanoarcillas, lo que proporciona las condiciones adecuadas de envasado, al evitar tanto

que el oxígeno pueda entrar en el interior del envase, como que el dióxido de carbono pueda escapar del interior del mismo.

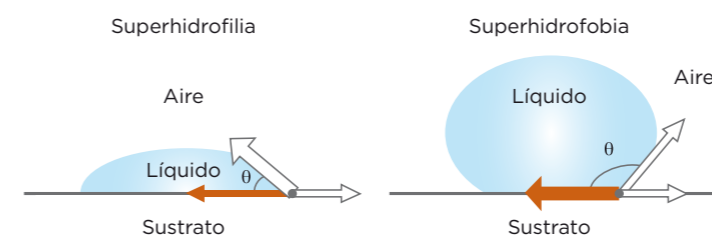
Nanotecnología para mantener una buena apariencia del producto

Hace tiempo que existen neveras con superficies metálicas que venden sus propiedades anti-huellas, o pantalones de un tejido que repele el agua y, por tanto, también las manchas. Desde recubrimientos antirreflejantes con una mayor resistencia a las ralladuras hasta muros antigrafiti, la nanotecnología dispone de numerosas aplicaciones en las que resulta básico mantener el buen aspecto del producto. En este tipo de aplicaciones, en las que normalmente se hace uso de nanorrecubrimientos, el producto prolonga su vida útil porque se reduce la necesidad de reemplazarlo por su deterioro en cuanto a su apariencia superficial. Sin embargo, también se considera que reducir la necesidad de mantenimiento alarga la vida del producto.

Para ilustrar este segundo escenario, se presenta el ejemplo de las superficies autolimpiantes, que se relaciona estrechamente con el concepto de fácil limpieza o de antimanchas, entre otros¹⁰. Estas superficies pueden presentar dos sistemas totalmente opuestos: superhidrofobicidad o hidrofilia. Ambos sistemas juegan con la energía superficial para conseguir que los líquidos se esparzan totalmente mojado con facilidad la superficie (hidrofilia), o bien que los líquidos se mantengan sobre ella en forma de gotas sin mojar la superficie (hidrofobia). El efecto presentado será uno u otro en función de la energía superficial que sea necesaria para crear una



▲ El sistema basado en la superhidrofobicidad se basa en el efecto flor de loto. © GJ Bulte



▲ Esquema 2



▲ Estos tejidos llevan un acabado superficial de fluorocarbonos que le confieren, en la cara en la que se aplica este acabado, una gran hidrofobicidad o repelencia al agua

superficie líquido-aire. Si requiere mucha energía, y la energía superficial sólido-líquido necesaria es menor, la gota tenderá a maximizar el contacto con el sólido, esparciéndose. Si requiere poca energía y, por el contrario, la energía superficial sólido-líquido necesaria es mayor, la gota tenderá a minimizar el contacto con el sólido, adquiriendo una forma redondeada.

El sistema basado en la superhidrofobicidad, comentado anteriormente como ejemplo de nanobio-mimética, se basa en el efecto flor de loto (esquema 2). Consiste en conseguir que la superficie sea extremadamente repelente al agua de modo que las gotas de agua (o las manchas) resbalen sobre la superficie sin mojarla. El efecto de autolimpieza se produce porque, al resbalar el agua sobre dicha superficie, se arrastran posibles restos de suciedad, polvo u otros. Un ejemplo de este sistema es el de los tejidos antimanchas. Estos tejidos llevan un acabado superficial de fluorocarbonos que le confieren, en la cara en la que se aplica este acabado, una gran hidrofobicidad o repelencia al agua. Por ello, cuando una gota de salsa de tomate o de salsa de soja cae sobre la superficie tratada, la mancha resbala hasta que se desprende. Este mismo tejido, en su cara no tratada, puede absorber perfectamente el agua o el sudor, lo que lo convierte en un tejido confortable a la par que funcional. Este tipo de acabados pueden usarse en tejidos como tapicerías, ropa de trabajo, corbatas, calzado, etc., creando una colección de productos que reducirán su necesidad de lavados, facilitarán su mantenimiento y, en casos como las tapicerías de algunos sofás, que no se pueden retirar, prolongarán considerablemente la vida del producto.

El segundo sistema, basado en la hidrofilia, es el sistema utilizado en vidrios y muros para conseguir este efecto autolimpiante. En este caso el agua, al contactar con la superficie, se esparce rápidamente mojándola y creando una fina capa que, por la gravedad, cae como una cortina barriendo a su paso el polvo u otras suciedades. Este tipo de acabados pueden conseguirse mediante nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2), que pueden aplicarse como recubrimientos transparentes en los vidrios de

6 Picard, E.; Espuche, E.; Fulchiron, R. "Effect of an organo-modified montmorillonite on PLA crystallization and gas barrier properties". *Applied clay science*, vol. 53, núm. 1 (2011), p. 58-65.

7 Robinson, Douglas K. R.; Morrison, Mark J. "Nanotechnologies for food Packaging: Reporting the science and technology research trends" [en línea]. ObservatoryNANO, agosto de 2010. [Consulta: 17 de julio de 2012]. Disponible en: <http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/Food%20Packaging%20Report%202010%20DKR%20Robinson.pdf>

8 Soutter, W. "Silver Nanoparticles as Antimicrobial Agent". [en línea]. 2012. [Consulta: 19 de julio de 2012]. Disponible en: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3056> Will Soutter

9 Silvestre, C.; Duraccio, D.; Cimmino, S. "Food packaging based on polymer nanomaterials". *Progress in Polymer Science*, vol. 36, núm. 12 (2011), p. 1766-1782.

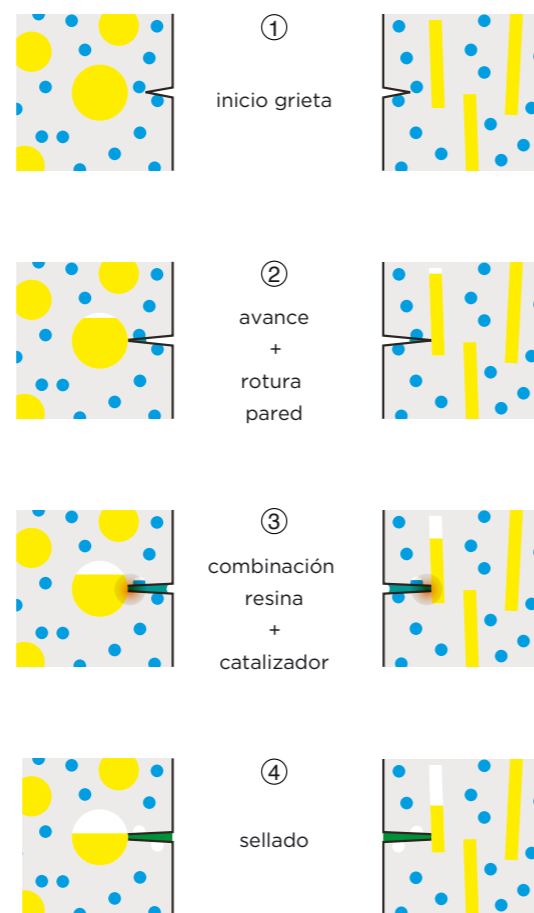
10 Greßler, S.; Fiedeler, U.; Simkó, M.; Gazsó, A.; Nentwich, M. "Self-cleaning, dirt and water-repellent coatings on the basis of nanotechnology". *Nano Trust Dossiers* [en línea], núm. 20 (2010), p. 1-6. [Consulta: 19 de julio de 2012]. Disponible en: http://epub.oeaw.ac.at/Oxc1aa500d_0x0024fa56.pdf.

grandes rascacielos o muros exteriores de edificios. Es lógico pensar que gracias a este tipo de acabado los vidrios de los rascacielos requerirán un menor mantenimiento o, en su defecto, lo harán más fácil, puesto que bastará con mojarlo, pero también resultan útiles en las lunas de los coches, ya que, aparte de mantener la visibilidad (la luna se mantiene limpia), incluso la mejoran en condiciones extremas de lluvia, convirtiéndose en un sistema de seguridad. Por otra parte, la aplicación de estos productos en muros exteriores hace que su aspecto pueda mantenerse más limpio durante más tiempo, lo que reduce la necesidad de pintura en fachadas, por ejemplo.

Sin embargo, estas nanopartículas de TiO_2 no sólo aportan un efecto autolimpiante a estas superficies; su peculiar naturaleza hace que estos muros también puedan contribuir a limpiar el ambiente (antipolución) y a evitar que crezcan en él hongos que afecten al aspecto visual de la fachada. Esto se debe a que las nanopartículas de TiO_2 presentan efecto fotocatalítico. Este efecto hace que, gracias a la interacción de la luz ultravioleta con estas nanopartículas, se produzca una reacción de oxidación de elementos orgánicos, que tanto afecta a bacterias y hongos (evitando que los muros enverdezcán) como a los compuestos orgánicos volátiles y NO_x , que son contaminantes muy presentes en el aire de las grandes ciudades. Por tanto, se produce una reducción de estos contaminantes a dióxido de carbono, agua y otros productos no tóxicos, por lo que se considera un sistema de purificación (incluso se pueden eliminar olores). Este último ejemplo es, además, un claro ejemplo de cómo la nanotecnología permite aportar un gran valor añadido al producto.

Nanotecnología para reparar el producto

En la actualidad, existen algunos productos basados en nanopartículas de cera que se comercializan para la reparación de ralladuras y el abrillantamiento de las carrocerías de los coches, por ejemplo. Sin embargo, el punto fuerte que la nanotecnología puede presentar en el futuro es obtener materiales que se autorreparen, es decir, que estén provistos de sistemas “inteligentes” capaces de revertir la acción de



▲ Esquema 3

un daño mecánico, por ejemplo, sin necesidad de realizar costosas actuaciones, del mismo modo en que los caracoles tienen la capacidad de autorreparar grietas y daños en su caparazón.

La obtención de pinturas para metales que sean capaces de revertir ralladuras o grietas es importante, porque de la pérdida del recubrimiento en estas zonas puede derivarse la corrosión de la pieza. También si estas ralladuras afectan de un modo estético, como es el caso de los coches, pueden ahorrarse dinero y materias primas si el recubrimiento se autorrepara y se evita tener que pintar nuevamente el coche. Y en el caso de determinados bloques de material, como en paredes de cemento o baldosas,

la aparición de una grieta puede ser fatal para la resistencia de la pieza. Por ello, eliminar estos daños que actúan como concentradores de tensiones, reduciendo la posibilidad de fallo mecánico, puede resultar una aplicación francamente relevante. Los sistemas de autorreparación están todavía en estudio, pero los conocimientos actuales permiten pensar que en un futuro no muy lejano será posible disponer de algunos de estos sistemas suficientemente desarrollados.

El principio de funcionamiento más estudiado en autorreparación¹¹ se basa en la encapsulación de agentes curativos (resinas poliméricas, básicamente) en el interior de esferas o tubos que resultan relativamente frágiles. En el material, pues, se introducen tanto las cápsulas como pequeñas partículas que contienen el catalizador adecuado para el agente. De este modo, frente al avance de una grieta por el interior del material, las cápsulas se rompen, liberando el agente curativo que, al reaccionar con el catalizador, generan una reacción de curado, solidificando y produciendo el sellado de la grieta, tal y como se muestra en el esquema 3. A pesar de que la mayoría de las investigaciones se ha enfocado a la microescala, en algunos estudios se investiga la obtención de nanocápsulas¹².

Conclusiones

Se han presentado varios casos de productos en los que la nanotecnología permite alargar su vida mediante diferentes mecanismos. Es posible hallar actualmente productos en el mercado que emplean la nanotecnología (y la tendencia parece que va en aumento).

Por otra parte, no debe olvidarse que, antes de que estos productos lleguen masivamente al mercado, es necesario disponer de una normativa clara y

eficiente que permita su uso extendido sin que supongan un riesgo para la salud y el medio ambiente. Los nanomateriales no son perjudiciales por definición, pero sí es importante tener en cuenta ciertas consideraciones, del mismo modo que sucede con un gran número de productos químicos, baterías o medicamentos, por ejemplo.

Apostar por la nanotecnología para dar un alto valor añadido a los productos permite volverlos más eficientes, con menor necesidad de mantenimiento y, en el fondo, más respetuosos con el medio ambiente, pero esto debe hacerse considerando el ciclo de vida completo del producto. De este modo, sería posible plantear la recuperación del residuo, lo que podría conducir a un mayor control de los nanomateriales contenidos (sistema de cadena de custodia) y al reaprovechamiento de los mismos, que propiciaría un ahorro en los costes tanto económicos como ambientales.

Todo esto conduce a una pregunta: ¿cuál es el balance de utilizar estas nanopartículas que son capaces de matar bacterias tanto si son perjudiciales como si no, o que pueden suponer riesgos si no se controlan como es debido? Y es necesario plantear esta pregunta, puesto que el avance de la ciencia (y también de la medicina) necesita pasar por este “tamaño” para ofrecer novedades revolucionarias, porque necesita alcanzar las “interesantes propiedades” que los materiales presentan a nanoescala para obtener productos más ligeros, más eficientes, más duraderos, con mejores propiedades, etc. Llegados a este punto, es importante remarcar que en el 7º Programa Marco de I+D de la Unión Europea, una importante cantidad de líneas de investigación se centran en la nanotecnología y el estudio de sus riesgos¹³.

¹¹ Ashby, M. F.; Ferreira, P. J.; Schodek D. L. *Op.Cit.*

Cho, S.H.; White, S.R.; Braun, P.V. “Self-Healing Polymer Coatings”. *Advanced Materials*, núm. 21 (2009), p. 645-649.

¹² Blaiszik, B.J.; Sottos, N.R.; White, S.R. “Nanocapsules for self-healing materials”. *Composites Science and Technology*, núm. 68 (2008), p. 978-986.

¹³ Fries, R.; Gzásó, A.. “Research projects on EHS aspects of nanotechnology in the 7th Framework Program of the EU”. *Nano Trust Dossiers* [en línea], núm. 30 (2012), p. 1-6. [Consulta: 17 de julio de 2012]. Disponible en: http://epub.oeaw.ac.at/Oxc1aa500d_Ox002b2673.pdf.