

Biomimetismo

Naturaleza inspiradora

por Susana Gallardo
sgallardo@de.fcen.uba.ar

Muchos investigadores se encuentran abocados a indagar los diseños y las estrategias de plantas y animales alcanzados luego de millones de años de evolución. La idea es inspirarse en ellos, o directamente imitarlos, con el fin de crear materiales con propiedades particulares y que permitan aplicaciones tecnológicas.



La cubierta de los crustáceos, el nácar de las valvas de los moluscos y los huesos de los vertebrados, todos poseen resistencia y elasticidad incomparables. No hay misterio. Se trata de la combinación de moléculas biológicas con compuestos minerales en una estructura ordenada y, a veces, periódica, con dibujos que se repiten, como los motivos de una alfombra.

Por su parte, las alas de las mariposas y los caparazones de los escarabajos muestran múltiples posibilidades de color. En ellos es también la estructura ordenada y repetitiva la que les otorga esas propiedades ópticas. Tanto unos como otros son el resultado de millones de años de evolución. ¿Será posible que el hombre pueda imitarlos y producir materiales con propiedades similares?

Ese es el gran desafío de un nuevo campo de interés que dio en llamarse biomimetismo o imitación de la vida. Así, distintos grupos de investigación en el mundo están empeñados en observar en detalle la naturaleza para crear productos con aplicaciones tecnológicas.

Para lograr esa imitación, o más bien inspiración, es necesario, en muchos casos, acceder a la escala nanométrica para estudiar la microestructura de las superficies. Este sumergirse en el mundo nanoscópico es posible gracias a toda una nueva generación de microscopios poderosos, desarrollados en los últimos años.

Martín Bellino y Galo Soler Illia desarrollaron, en su laboratorio de la CNEA, un compuesto híbrido orgánico-inorgánico que conserva su funcionalidad biológica.



La clave, en la estructura

La selección natural tardó millones de años en producir organismos con propiedades que causan la admiración y la envidia del hombre. Pero éste recién ahora está en condiciones de producir materiales equivalentes. “Se tardó un tiempo en comprender la importancia de la microestructura”, reflexiona la doctora Sara Aldabe-Bilmes, profesora del Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química-Física (QIAQF), de la FCEyN, e investigadora del Inquimae-Conicet.

Las copas de los árboles, por ejemplo, tienen una estructura que regula la temperatura, la humedad, la radiación solar y el movimiento del aire. Lo mismo sucede con la forma en que se ensamblan las fibras de la madera, lo que confiere dureza y resistencia, y se relaciona con la disposición de ciertos bloques que, a su vez, se componen de bloques más pequeños.

“La clave para que ciertos materiales no se rompan reside en su microestructura, formada por ladrillos muy chiquitos, unidos con proteínas y polisacáridos que brindan elasticidad y permeabilidad. Al recibir un golpe, los pequeños bloques se reacomodan, sostenidos por una red elástica”, detalla la investigadora.

Otro ejemplo de microestructuras muy resistentes es la tela de araña, que puede ser más fuerte que el acero, en función no sólo de la resistencia del hilo sino también de la conformación de la tela.

También son reconocidas las propiedades de un tipo de lagarto, el gecko (nombre originado en una onomatopeya malaya que reproduce el grito de estos animales). Las plantas de los pies de estos reptiles poseen unas almohadillas que les permiten escalar superficies lisas verticales, y caminar por

los techos con facilidad. El secreto de la adherencia reversible, es decir, la posibilidad de pegarse y despegarse sin problemas, está en la fuerza atractiva o repulsiva entre las moléculas.

Lo importante, nuevamente, es la microestructura: “Con un microscopio electrónico, se ve que la superficie de las almohadillas consiste en un conjunto de manojos que se repiten en forma regular, y cada uno se compone por pequeños pelitos”, explica Aldabe-Bilmes. La estructura es jerárquica: cada manajo contiene manojos similares, más pequeños, y así sucesivamente.

Como las mariposas

En la naturaleza, no solo los pigmentos producen color, sino también la estructura de la superficie. Es una propiedad presente en muchas especies animales y vegetales, así como en algunos minerales, que poseen iridiscencia debido a efectos de interferencia de la luz. La causa reside en una microestructura tridimensional muy particular, con formas que se repiten a intervalos regulares.

Un ejemplo es el ópalo, un mineral constituido por capas sucesivas de pequeñas esferas de silicatos. Esas partículas microscópicas de 0,1 micrón de diámetro se encuentran como empaquetadas en un enrejado tridimensional gracias al cual, este mineral es capaz de reflejar los rayos de luz y transformarlos en los colores del arco iris. El efecto reflector del ópalo se debe a la penetración de la luz a través de la estructura de esferas y de espacios vacíos ubicados entre las esferas.

Cualquier pigmento absorbe luz en una determinada longitud de onda y refleja aquella que no absorbe. En cambio, tanto en las alas de las mariposas como en

el ópalo, la luz se absorbe sólo en parte, y lo que vemos no es la luz reflejada directamente por el objeto. “La luz, en una estructura tan compleja, recorre diferentes caminos y puede intensificarse más o menos”, comenta la doctora Diana Skigin, investigadora del Grupo de Electromagnetismo Aplicado, en el Departamento de Física de la FCEyN, que trabaja junto con la doctora Marina Inchaussandague, también investigadora de Conicet.

Y agrega: “Mientras que el color del pigmento se ve igual desde todos los ángulos de visión, lo que se conoce como color estructural es el resultado de la reflexión selectiva o la iridiscencia, que por lo general está presente en estructuras periódicas, formadas por muchas capas”. Por ejemplo, las mariposas, si bien cuentan con células que contienen pigmentos, muchas de ellas poseen color estructural. Lo mismo sucede con los escarabajos.

La estructura de las alas en forma de celdas del tamaño de unos 600 nanómetros hace que la luz forme un patrón de difracción debido a la interferencia entre haces de luz. Según el ángulo desde el que se observen las alas, se aprecian variaciones desde el violeta al verde, pasando por los azules. Esta capacidad de confundir al observador, seguramente, proteja a estos insectos de los predadores.

Asimismo, hay una especie de chinche (un insecto hematófago) casi transparente, que, cuando advierte un peligro, segrega una sustancia que ocupa los huecos de la microestructura de su caparazón, y ello hace que adquiera un color verde que le permite camuflarse entre las hojas.

Diana Skigin está abocada a identificar especies de insectos de la Argentina cuyo colorido se deba no a pigmentos sino a las características estructurales. “Las identifi-



1



2



...QUE TODO SE LIMPIE SOLO

Un grupo de investigadores de Exactas, dirigido por la doctora Sara Aldabe Bilmes, desarrolló un recubrimiento autolimpiante para cerámicas y azulejos a base de dióxido de titanio, un compuesto que, al recibir radiación ultravioleta del Sol, destruye la materia orgánica que se encuentre adherida a su superficie, tanto la suciedad como los microorganismos patógenos. De este modo, el recubrimiento no sólo facilita la limpieza de baños y cocinas, sino también, y principalmente, puede mantener la asepsia en salas de hospitales.

Si bien está inspirado en la flor de loto, el mecanismo es muy diferente. Cuando la luz incide sobre ese compuesto, sus electrones absorben esa energía, y se desplazan, dejando “huecos” con carga positiva. Estos huecos son muy oxidantes y destruyen cualquier sustancia orgánica que se halle en las proximidades. Además, con la luz, el dióxido de titanio se hace hidrofílico, es decir, afín al agua, y sus cargas positivas se combinan con átomos del agua, formando radicales libres, que son unas especies químicas con muy alto poder oxidante.

“Todo lo que se acerca al radical libre, se oxida. Es una manera de ‘quemar’ sin fuego, lo que convierte al recubrimiento en un excelente bactericida”, señala Aldabe-Bilmes.

El dióxido de titanio es una sustancia de bajo costo que se emplea en cosmética, en cremas protectoras solares, y también en la producción de pinturas, papel, cauchos y plásticos, entre otros. La cubierta de los crustáceos, el nácar de las valvas de los moluscos y los huesos de los vertebrados, todos poseen resistencia y elasticidad incomparables. No hay misterio. Se trata de la combinación de moléculas biológicas con compuestos minerales en una estructura ordenada y, a veces, periódica, con dibujos que se repiten, como los motivos de una alfombra.

camos y caracterizamos, las observamos al microscopio y estudiamos su geometría”, señala la investigadora. Una vez reunida toda esa información, la idea es generar un modelo que permita predecir la respuesta reflejada de esa estructura.

“Hasta ahora trabajamos con un escarabajo del sur de la Patagonia y Chile, que posee una estructura de multicapas, verde o marrón metalizado”, explica. El color varía según el ángulo con que se mire.

Skigin, en colaboración con la bióloga Cecilia Carmarán, docente en el Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental de la FCEyN, también está estudiando el color estructural presente en una especie de hongos, que presenta un puntillado multicolor al ser observado al microscopio.

“El objetivo es aprovechar y fabricar estructuras similares a las halladas en la naturaleza, y que permitan alcanzar un objetivo específico, por ejemplo, para el diseño de circuitos ópticos”, detalla Skigin.

Como los caracoles

Pero la idea no sólo es copiar a la naturaleza en la estructura de los materiales sino también en los métodos de fabricación. Por ejemplo, ¿cómo hacen los caracoles para producir el nácar? Forman pequeñas plaquetas hexagonales de carbonato de calcio cristalizado que toman del suelo, y las apilan en capas, que luego compactan mediante una sustancia biológica: una proteína que forma un biopolímero elástico.

Ahora bien, los caracoles, para fabricar sus valvas, no necesitan un horno a 600 grados centígrados, sino que trabajan a temperatura ambiente. Para obtener re-

sultados equivalentes, los investigadores copian el proceso: trabajan a escala diminuta y a temperatura ambiente.

Galo Soler Illía, profesor en el Departamento QIAQF-FCEyN e investigador del CONICET en la Comisión Nacional de Energía Atómica (Cnea), desarrolla “materiales con estructuras complejas y propiedades que resultan de la interacción entre lo biológico y lo mineral”. Por ejemplo, cristales con poros pequeñísimos que multiplican al infinito la superficie donde pueden producirse reacciones químicas.

Para obtener esos poros, los investigadores fabrican un molde supramolecular con micelas, burbujas pequeñísimas de un polímero orgánico, similares a las que se forman cuando un detergente se mezcla con agua. “En este caso, las micelas son nanoobjetos que tienen el mismo tamaño, formadas a partir del ensamblado de moléculas más pequeñas”, subraya Soler Illía.

Luego incluyen un compuesto mineral, que forma un óxido alrededor de las micelas.

“Apilamos las micelas como si fueran naranjas, y luego chorreamos óxido sobre ellas. Sintetizamos el material al igual que los caracoles: paso a paso, a partir de moléculas y a temperatura ambiente”, describe.

El hecho de trabajar a temperatura ambiente permite que la matriz mineral se genere en presencia de moléculas biológicas, que son frágiles y se destruirían con el calor. Una vez que se formó la carcasa de óxido, se calienta el producto para destruir el polímero, de modo que sólo queda el material inorgánico perforado por pequeñísimos poros nanométricos, como si fuera una esponja de vidrio.

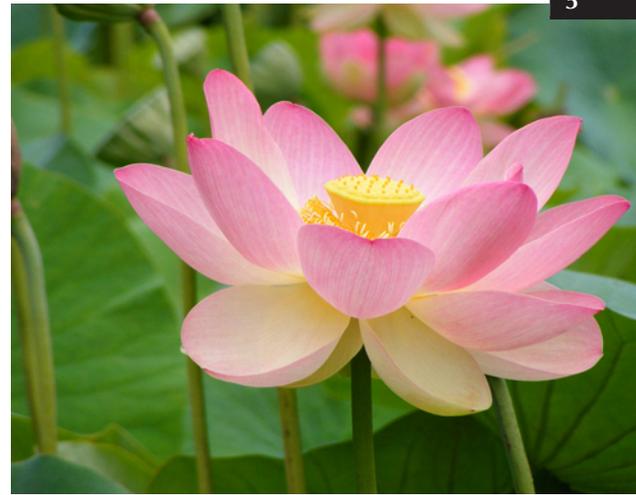
3



4



5



Inspirado en las mariposas y los caracoles, el equipo que lidera Soler Illia diseñó un dispositivo que, al interactuar con la luz, permite detectar la presencia en el aire de moléculas específicas, por ejemplo, un gas tóxico. “Se trata de cristales recubiertos con una fina película de un óxido con poros regulares del tamaño de unos pocos nanómetros –la millonésima parte del milímetro–”, explica Soler Illia. Esta porosidad le confiere al material una gran superficie expuesta: por ejemplo, un gramo de óxido de silicio tiene entre 600 y 1000 metros cuadrados de superficie disponible para reaccionar con cualquier sustancia con la que entre en contacto.

El dispositivo, un pequeño ladrillo iridiscente, es lo que se denomina un cristal fotónico (por fotón, partícula de luz). Cuando la luz incide en él, se produce un efecto de difracción e interferencia, y el cristal sólo refleja luz de un color, que depende del índice de refracción de cada uno de los componentes: el sustrato y la película que lo recubre. El desarrollo constituye la tesis de doctorado de María Cecilia Fuertes, y cuenta con una patente compartida por el Conicet y el Instituto de Ciencia de Materiales (ICM) de Sevilla, España, pues participó un investigador de ese instituto, el argentino Hernán Míguez.

Cuando dentro de los poros de ese cristal se condensa un vapor o se deposita una gota de una sustancia determinada, el índice de refracción se modifica y, por ende, cambia el patrón de colores. Así se podría detectar la presencia de vapores tóxicos en el ambiente. El cambio en la luz es percibido por un sensor que podría, por ejemplo, activar una alarma, a la distancia. Lo interesante es que estos materiales transmiten información a través de la luz, en lugar de la electricidad, evitando así el uso de cables.

Otro material inspirador es la membrana de las células, que contiene túneles por los que pasan, en forma selectiva, ciertas moléculas, mientras que otras tienen el acceso vedado. “Fabricamos unos coladores de material inorgánico, y tapizamos los agujeros con un polímero orgánico para que permita entrar a determinadas moléculas y les impida el paso a otras”, comenta Soler Illia. A temperatura ambiente, el polímero se pliega, disminuye su volumen, y el poro se abre. A mayor temperatura, se expande y cierra el poro. “Esos poros serían como tranqueras moleculares”, compara. En el trabajo de tesis de Alejandra Calvo, se desarrolló una membrana que reacciona de manera selectiva al pH del medio.

Soler Illia, junto con Martín Bellino, en su laboratorio de la CNEA, desarrollaron una delgada película cerámica que tiene atrapada en sus poros una gran cantidad de moléculas de polimerasa, la enzima encargada de copiar el ADN en el núcleo de las células. El pequeño dispositivo desarrollado permite multiplicar un fragmento de ADN, del mismo modo que la técnica denominada PCR (reacción en cadena de la polimerasa), empleada para hacer diagnósticos, hallar al culpable de un crimen, o determinar la paternidad.

“Queríamos demostrar que podemos armar un compuesto híbrido orgánico-inorgánico que conserve su funcionalidad biológica, y que pueda albergar una enzima compleja y frágil, como la polimerasa de ADN,” señala Soler Illia. En el trabajo también participaron el doctor Alberto Regazzoni y el grupo de la doctora Hebe Durán (CNEA).

MODELOS NATURALES

El ópalo, la tela de araña, la mariposa, el gecko y la flor de loto, algunos de los ejemplos de la naturaleza que los científicos usaron como modelo para distintos desarrollos de materiales.

Como la flor de loto

No sólo su belleza hizo famosa a la flor de loto, sino también la propiedad que tienen sus hojas de limpiarse a sí mismas. En efecto, esta planta acuática, a pesar de vivir rodeada de fango, tiene sus hojas siempre brillantes debido a las moléculas hidrofóbicas de la epidermis, que se compone de unas papilas pequeñísimas, de 10 a 20 nanómetros de ancho, recubiertas por una capa hidrofóbica. De este modo, las gotas de agua que caen sobre ellas, al ser repelidas, tienden a minimizar su superficie de contacto y alcanzan una forma esférica.

En consecuencia, las gotas redondas arrastran las partículas de suciedad y las barren de la superficie. Este “servicio” de limpieza es importante para la planta pues la mantiene libre de patógenos, además de conservar su capacidad de fotosíntesis al mantener libre la superficie expuesta a la luz. Este mecanismo pudo explicarse recién en la década de 1970 gracias a los modernos microscopios electrónicos.

Es claro que cuando se habla de biomimetismo es necesario pensar en una tarea conjunta de investigadores de diferentes áreas, sumando también el trabajo de ingenieros y arquitectos.

Históricamente, la naturaleza ha sido la fuente de inspiración de los artistas, ya fueran pintores, escultores o poetas. Hoy sirve de modelo para la ciencia y la tecnología. Las posibilidades parecen inagotables, y están al alcance de la mano. Sólo hay que saber observar. |