

Estudiar la

naturaleza

para imitarla

Gertrudis Uruchurtu

Foto: Ernesto Navarrete

Muchas veces la mejor solución a un problema es copiar las características y procesos de otros seres vivos.



Fotos: cortesía Kevin Collins

Las arañas, pulgas, caracoles, moscas y hormigas son algunos ejemplos de animales muy importantes para los ecosistemas, pero que muchas veces consideramos insignificantes para nuestra vida. No obstante, las plantas y animales que nos rodean poseen características que han ido refinando a lo largo de millones de años a través de las mutaciones, y que les han permitido adaptarse al medio en que viven para sobrevivir y reproducirse.

Biólogos, químicos, físicos e ingenieros actuales combinan sus conocimientos para obtener los secretos que muchas especies adquirieron a través de la evolución, ya sea para fabricar materiales con propiedades extraordinarias que superan a muchos sintetizados por el ser humano, o por la forma en que se adaptan al medio en que viven. Su objetivo es copiar las características y los procesos de otros seres vivos para resolver problemas que faciliten la vida de los seres humanos de manera sostenible, ya sea en objetos sencillos de uso cotidiano o en la construcción de mecanismos o edificios con diseños y materiales que minimicen el gasto de trabajo y energía.

Un ejemplo clásico de biomimetismo es el que realizó George de Mestral, un ingeniero suizo. Hace 60 años, después de dar un paseo por el campo, Mestral observó los pequeños cardos de ciertas hierbas silvestres que se adherían fuertemente a su ropa y al pelo de su perro. Intrigado, los observó al microscopio e imitando su estructura inventó el *velcro* que hoy encontramos en un sinnúmero de objetos. Las espinitas torcidas de estos frutos se adhieren con fuerza a otros cuerpos para que éstos los transporten y puedan propagar sus semillas en nuevos lugares. Hoy el velcro sustituye a botones, agujetas y cremalleras en ropa, mochilas, zapatos y muchos otros objetos.

Hay muchos ejemplos de cómo el ser humano ha imitado a la naturaleza. A

Con base en los ojos de una abeja se busca diseñar unos microlentes para cámaras de vigilancia y endoscopios médicos.

continuación siguen algunos de los más destacados.

Cámaras vigilantes

Luke P. Lee, ingeniero en materiales de la Universidad de California en Berkeley, fabricó recientemente unos microlentes cuyo diseño se basa en los ojos de los insectos. Estos microlentes están constituidos de miles de lentes colocados encima de columnas que guían y conducen un haz luminoso a una zona receptora del ojo que es sensible a la luz. Este complejo de lentes y columnas en los insectos se conoce como *ommatidios*. La resolución obtenida es mejor mientras mayor sea el número de microlentes.

Imitando los ojos de una abeja, Lee fabricó pequeños hemisferios de 2.5 cm. de diámetro con una resina sensible a la luz ultravioleta y moldeó en su superficie miles de microlentes empleando plantillas de material especial. Cuando se expone a la luz ultravioleta, cada microlente enfoca un estrecho rayo de luz hacia el centro del hemisferio. Al penetrar esta luz por la resina, ésta sufre un cambio químico que la endurece y da como resultado columnas

semejantes a las de los ommatidios de los insectos. Estas columnas son capaces de conducir la luz haciendo que converja en un punto preciso.

Aún es necesario perfeccionar el funcionamiento de los microlentes de manera que los haces luminosos incidan en fotosensores microelectrónicos que puedan captar las imágenes. El diminuto tamaño de estas lentes, que pueden obtenerse a bajo costo, hace posible su aplicación en dispositivos de cámaras de vigilancia y endoscopios médicos que obtengan imágenes del interior del cuerpo humano.

Trampas para agua

A los biólogos siempre les ha sorprendido la dureza y rigidez de las mandíbulas, garras de las patas y órganos punzantes de algunos insectos como las hormigas cortadoras de hojas y las langostas. Estos órganos están formados con proteínas cuyas moléculas incluyen átomos de cobre o zinc que les dan la rigidez y el filo necesario para destruir plantas. Sung-Mo Lee, investigador de materiales en el Instituto Max Planck de Alemania, pensó que si a las moléculas de un biomaterial como la seda de araña,

constituidas de una proteína más dura y resistente que el acero, se les introducían átomos metálicos, sus propiedades de dureza y resistencia aumentarían. Él y sus colaboradores sometieron la seda de araña a un procedimiento conocido como *infiltración por pulsación múltiple en fase de vapor* con compuestos de cinc, titanio y aluminio. Lograron introducir estos metales en la proteína del biomaterial y ésta resultó tres veces más dura y resistente, superando cualquier fibra textil hecha por el hombre en resistencia a la tensión y capacidad de extensión. A diferencia de la proteína natural que es muy sensible a los cambios de humedad y temperatura, la proteína metalizada es estable cuando varían estos factores. La tela de araña metalizada tiene muchas aplicaciones posibles en materiales médicos de alta tecnología, que incluyen huesos y tendones artificiales.

Las telarañas de cada especie de arácnido tienen diferentes propiedades (ver *¿Cómo ves?* No. 115). Unos biólogos han encontrado que la *viuda negra*, conocida por su mortífero veneno, secreta una proteína para construir su telaraña que es cinco veces más resistente que el

acero y el Kevlar, el polímero empleado en la fabricación de chalecos antibalas. Esta gran resistencia se podría usar en microsuturas que no dejen cicatriz en cirugías; para reforzar tendones que se hayan lesionado y para cables que resistan tensiones enormes.

Sin embargo, hacer un criadero de viudas negras para recolectar la proteína secretada no ha resultado práctico, pues además de que se necesitarían millones de estos arácnidos, son caníbales y no pueden vivir cerca de ningún otro animal, aunque sea de su misma especie.

Para obtener grandes cantidades de una fibra con las características de la telaraña, se ha buscado en el ADN de la viuda negra el gen responsable de producir la proteína y se ha insertado en el genoma de diversos organismos para que éstos fabriquen la fibra. Pese a que esto se ha logrado, el rendimiento y la calidad obtenida no han sido muy buenos. Parece ser que lo más práctico será insertarlo en ciertas plantas de cultivo para que éstas la produzcan en cantidades industriales.

En zonas desérticas habitan arañas del género *Uloborus*, que aparentemente viven sin agua, pero ningún tipo de vida



La resilina, que le da elasticidad a los mosquitos, nos podría servir en implantes de disco intervertebrales sintéticos.

en la Tierra puede existir sin ella. Yongmei Zheng, investigador en la Universidad de Beijing, realizó un estudio más detallado de las telarañas del desierto y ha encontrado que capturan la escasa humedad de la atmósfera. Zheng investigó la estructura y composición de la seda de *Uloborus* con el fin de imitarlas.

Observaciones con microscopio electrónico muestran que estas telarañas constan de dos tipos de estructuras de nanofibras con proteínas de diferente textura. Las primeras forman nudos rugosos donde las fibras no están acomodadas regularmente. Las segundas forman fibras alineadas y su textura es lisa. Ambos tipos de proteínas tienen una gran capacidad de captar agua. Los nudos son los primeros en llenarse de agua y cuando se saturan, las fibras lisas se estiran y se hacen más angostas, permitiendo que el agua se deslice por ellas hasta el otro nudo, de manera que siempre quede libre un nudo para atrapar más agua. La diferencia entre las fuerzas de tensión superficial de las dos estructuras posibilita el movimiento del agua.

Los químicos de materiales han fabricado materiales con las propiedades de la telaraña. Su proyecto es producir redes con esa misma estructura y colocarlas en zonas desérticas donde puedan atrapar la mínima humedad de la neblina de manera que pueda recolectarse. También podrían



La *viuda negra* secreta una proteína para construir su telaraña que es cinco veces más resistente que el acero y el Kevlar, el polímero empleado en la fabricación de chalecos antibalas.

OTRAS BIOIMITACIONES

- * Se ha logrado crear superficies siempre limpias copiando la estructura de las hojas del loto y del berro, cuya superficie rugosa está constituida de gránulos microscópicos que son cristales de cera natural de entre 200 y 5 000 micras. Estos gránulos hacen que las gotas rueden sobre las superficies sin romperse llevándose consigo toda la mugre.
- * La estructura artificial de los nanotubos de carbono, que consisten en láminas de grafito compuestas por una red hexagonal de átomos de carbono de una millonésima de milímetro, imita la forma de los nidos de abeja, pues éstos no tienen huecos. Estas redes son 100 veces más resistentes que el acero. Además, dependiendo del ángulo en que se enrollen, las láminas de grafito de estos nanotubos pueden ser excelentes conductoras o semiconductoras. Por otra parte, si el nanotubo se somete a distintas cantidades de energía, emite electrones, por lo cual puede usarse como cañón en pantallas planas de televisores y computadoras.
- * La forma de la locomotora de alta velocidad imita la cabeza del martín pescador que acecha desde el aire a sus presas que nadan en las profundidades. Al igual que el martín pescador atraviesa de un medio a otro sin que se produzcan explosiones de las ondas sonoras, el tren consigue atravesar espacios con diferente densidad de aire, como los túneles, sin que esto suceda.
- * A la parte del tren llamada pantógrafo, que está en contacto con todos los cables que llevan la electricidad, se le han hecho unas estrías en los extremos que imitan la forma de las alas de los búhos para amortiguar las turbulencias y no producir ruido.
- * Se ha desarrollado un marcapasos diminuto inspirado en el sistema eléctrico del corazón de la ballena jorobada.
- * La compañía Carbozyme Inc. diseñó unos filtros que eliminan el 90% del dióxido de carbono (CO₂) del escape de los automóviles a partir del estudio del funcionamiento de los pulmones del ser humano.
- * Detectar las ondas sonoras de los tsunamis cuando viajan aún lejos de la costa por los mares profundos y poder alertar a las personas a tiempo resulta difícil, pues los datos tienen que transmitirse desde miles de metros de profundidad —superando reverberaciones e interferencias— hasta una boya en la superficie del mar, la cual los retransmite a un satélite para que los distribuya a los centros de alerta. Sólo los delfines han logrado enviarse mensajes rápidos empleando varias frecuencias altas en cada transmisión que los hacen, además, bastante audibles. Emulando la singular frecuencia modulada por los delfines, la compañía EvoLogics desarrolló un módem de alto rendimiento bajo el agua para transmitir datos que se utiliza actualmente en el sistema de alerta temprana de tsunamis en todo el océano Índico.

Alicia García Bergua

emplearse para extraer humedad no deseada en procesos industriales.

Elasticidad y resistencia

Las pulgas y los mosquitos también han sido una fuente de inspiración en la ingeniería de materiales. Al observar estos insectos, Christopher Elvin, de la Organización de Investigación Científica e Industrial de la Comunidad Australiana (CSIRO, por sus siglas en inglés), se preguntó por qué una pulga puede brincar a una altura equivalente a 200 veces la longitud de su cuerpo o cómo es posible que un mosquito pueda agitar las alas tantas

veces y con tal intensidad sin dañar su cuerpo. Encontró que la respuesta a ambas preguntas está en una proteína llamada *resilina*, que es, hasta ahora, la sustancia más elástica que se conoce. Estos insectos la tienen donde se articulan las patas o las alas con el resto del cuerpo. Unos investigadores tomaron el gen que produce la resilina de un cromosoma de la mosca de la fruta y lo insertaron en el ADN de una bacteria llamada *Escherichia coli* para que la bacteria “aprendiera” a producir la resilina. Un cultivo de estas bacterias produjo varios gramos del antecesor de esta proteína, llamado *pro-resilina*, y con

un catalizador la convirtieron en resilina. La elasticidad de esta sustancia, que le permite estirarse y regresar a su forma original muchas veces sin romperse ni deformarse, la convierte en algo muy útil para el ser humano. Por lo pronto, se cree que con ella pueden fabricarse discos intervertebrales sintéticos para ser implantados en pacientes con discos desgastados por traumatismo o por degeneración. Si un mosquito mueve las alas estirando la resilina cerca de 500 millones de veces en su vida, es muy probable que el implante de un disco de esta sustancia entre las vértebras de una persona pueda restituírle la flexibilidad normal a su espalda, que se flexiona miles de veces a lo largo de la vida.

Adhesivo bacteriano

Los pegamentos con mayor capacidad de adhesión a una superficie son de origen natural. Algunos permiten que moluscos como los mejillones y los percebes se adhieran con mucha fuerza a una roca y que el oleaje más violento no pueda despegarlos. Recientemente Jay Tang, investigador de la Universidad de Providence, encontró un adhesivo aún más potente producido por una bacteria no dañina, llamada *Caulobacter crescentus*. Éste se utiliza ya en superficies mojadas como los cascos de los buques, las tuberías de agua y los catéteres médicos. La bacteria se afianza a las superficies con un flagelo,



Imagen: Yves Brun

Ningún pegamento comercial tiene la fuerza de adherencia de *Caulobacter crescentus*.



Foto: cortesía Pawel Kuzniar

Durante su vida el vencejo (*Apus apus*) puede volar 4.5 millones de kilómetros. Alcanza una velocidad de 110 km por hora.

una especie de hilo, que termina en gancho y se adhiere con una sustancia constituida de cadenas muy largas de azúcares. Para quitar este pegamento se requiere una fuerza de 7.14 kg por milímetro cuadrado de superficie; el pegamento comercial con mayor adherencia requiere una fuerza de 2.5 kg.

Los químicos están tratando de sintetizar una molécula semejante con mayor capacidad adhesiva en superficies húmedas, que podría ser un excelente pegamento quirúrgico.

A prueba de balas

Por las fisuras hidrotermales, que se encuentran a gran profundidad en los océanos, escapan gases provenientes del interior de la Tierra que calientan el agua a temperaturas superiores a los 400 °C y además sustancias ácidas y corrosivas. Aparentemente esto haría imposible la vida en las cercanías de esas troneras, sin embargo, unos biólogos marinos encontraron recientemente un caracol, llamado *Crysmallon squamiferum*, en las troneras hidrotermales del océano Índico, que además de resistir la temperatura y la acidez, tiene un caparazón tan duro que las tenazas de unos enormes cangrejos que lo atacan no pueden romperlo. Con el fin de descubrir a qué se deben estas extraordinarias propiedades mecánicas, que no se encuentran en los caparazones de otros moluscos, Christine Ortiz, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, ha analizado su estructura. Encontró que la capa más interna es de carbonato de calcio, igual que la de todos los moluscos, y sobre ésta se adhiere una segunda capa gruesa de proteína. Encima de la capa proteica hay una capa externa que consta de escamas de sulfuro de hierro.

Las fuertes presiones pueden romper el caparazón de este caracol, pero las escamas evitan que las grietas se extiendan y el material proteico de la capa inferior las rellena. Con la presión, las escamas de

sulfuro de hierro se deslizan unas sobre otras endureciendo más el material. La curvatura del caracol amortigua, además, la presión ejercida sobre la capa de carbonato de calcio, lo que indica que el cambio de forma de un material puede mejorar sus propiedades.

Al resultado obtenido con la combinación de las tres capas se le conoce como *amplificación de propiedades mecánicas*; los materiales juntos se hacen 100 veces más resistentes de lo que cada uno de ellos es por separado.

Volar como vencejo

Desde sus inicios, el diseño de los aviones ha tratado de imitar las estructuras anatómicas de los pájaros que posibilitan el vuelo. Sin embargo, incluso los diseños más veloces y modernos no alcanzan la eficiencia del vuelo de algunas aves.

David Lentlink, biólogo que previamente hizo estudios de ingeniería aeronáutica, sorprendido por las excepcionales características del vuelo del vencejo, un ave parecida a las golondrinas, ha investigado cómo es posible que durante su vida llegue a volar 4.5 millones de kilómetros y alcance una velocidad de 110 km por hora. Los vencejos pasan casi toda su vida en el aire; comen, se aparean y duermen mientras vuelan.

Para conocer de qué manera la forma, posición y orientación de las alas influyen en la eficiencia del vuelo, recolectó 15 pares de alas de vencejos y las colocó en un túnel de viento. Encontró que para un vuelo lento se requiere que las alas estén perfectamente extendidas, mientras que para aumentar la velocidad tienen que estar dirigidas hacia atrás de la cabeza. Cuando dan un giro a gran velocidad, las dirigen totalmente hacia atrás para que no revoloteen y se fracturen por la fuerza extrema. Mientras las aves duermen, las



El caparazón de *Crysmallon squamiferum* consta de escamas de sulfuro de hierro.

alas planean lentamente y su consumo de energía es mínimo. Utilizar estas alas en el experimento permitió saber más sobre la aerodinámica de los vencejos que si se hubieran hecho modelos artificiales.

Por ahora, resulta problemático adaptar todas las propiedades de estas alas al diseño de aviones, pero, por ejemplo, existe una nave de combate que dirige las alas hacia atrás para obtener su máxima velocidad. Todavía las alas de los aviones no pueden tener la flexibilidad de las de los pájaros porque para ello se requerirían soportes muy pesados que contrarrestarían los beneficios del ahorro de energía.

Trabajo en equipo

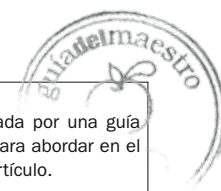
Los ejemplos anteriores muestran que para imitar la estructura o el funcionamiento de plantas o animales se necesitan equipos de científicos de todas las ramas de la ciencia. La biología describe su anatomía y sus procesos fisiológicos; la química analítica descifra la composición química y estructura molecular de la zona que se quiere imitar. La química, orgánica o inorgánica, aporta los conocimientos para sintetizar moléculas idénticas o semejantes y equivalentes. A la física y la matemática les toca, a su vez, proponer modelos basados en las características naturales que ayuden a integrar y evaluar el efecto que las variables estudiadas por las otras disciplinas tienen en las distintas aplicaciones. 👁

MÁS INFORMACIÓN

- ✳ www.cienciapopular.com/n/Tecnología/Biomimetismo/Biomimetismo.php
- ✳ www.asknature.org
- ✳ www.youtube.com/watch?v=n93UbaFQ-CM

Para nuestros suscriptores

La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.



Gertrudis Uruchurtu es química farmacobióloga. Durante 30 años fue maestra de química de bachillerato y es egresada del Diplomado de Divulgación de la Ciencia de la DGDC-UNAM.