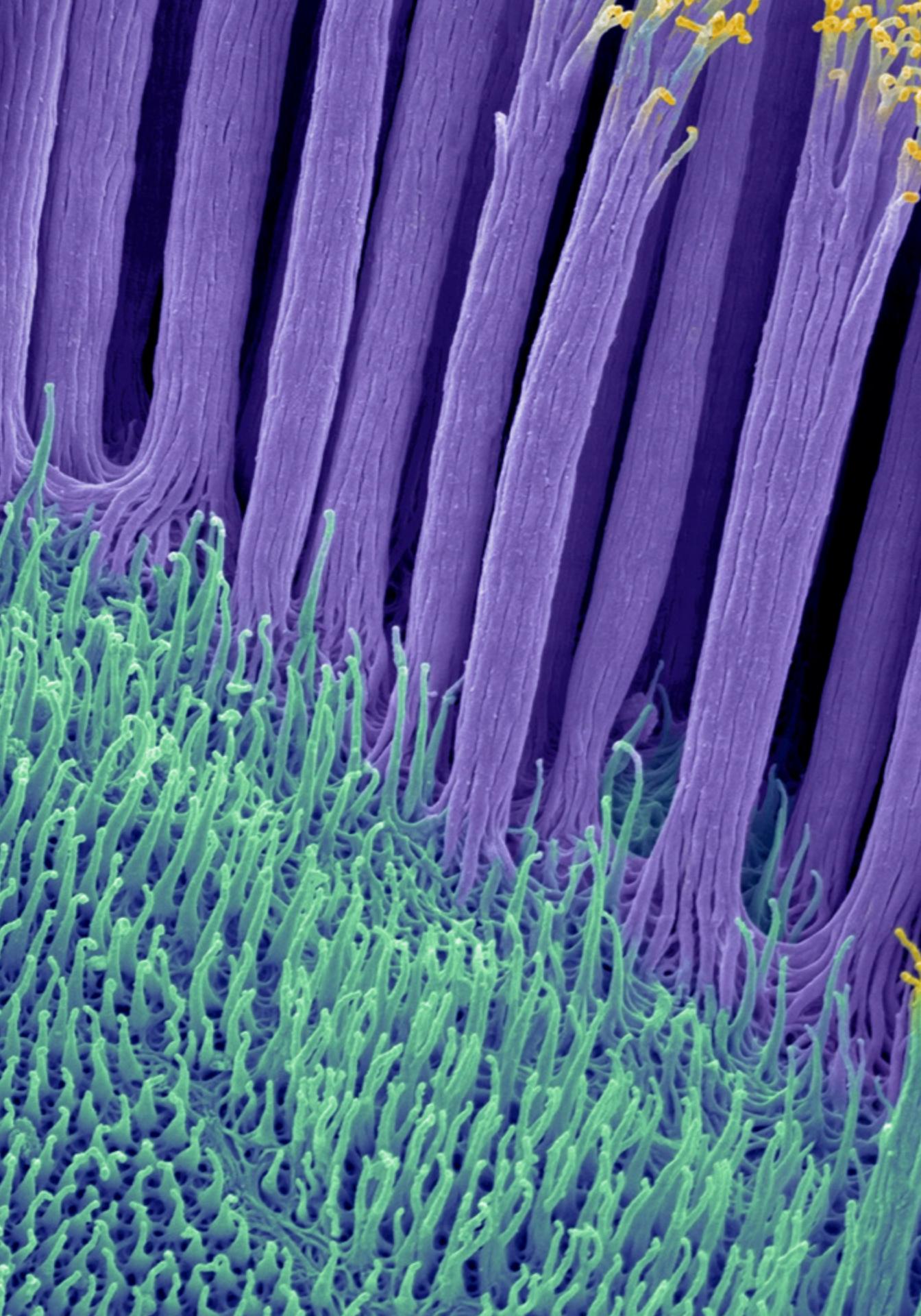


zq¹²

VOL 1 | 2015







Acerca de Zygote Quarterly

Editores

Marjan Eggermont

Norbert Hoeller

Tom McKeag

ZQ en español | Editores

Raúl de Villafranca

Carolyn Aguilar

Azucena Garza

Traducción

Historias y átomos, Entrevista con Michael Ellison: Azucena Garza; Editorial: Sayuri Yamanaka/ Azucena Garza; Diseño de productos - Aqua Creations - Taller de muebles e iluminación: Sayuri Yamanaka; Situación Resbalosa: Ana Ga-

briela Robles; Ingeniería y biomimesis, Entrevista con Blaine Brownell y Marc Swackhamer: Ingrid Amor; Infografía: El regreso de la cosa del pantaño: Delfín Montañana

Editores Colaboradores

Sayuri Yamanaka

Kristen Hoeller

Delfín Montañana Palacios

Adelheid Fischer

Manuel Quirós

Oficinas

Calgary

Ciudad de México

San Francisco

Madrid

Toronto

Contacto

info@zqjournal.org

Portada

Nematodo | Foto: Microscopía Zeiss, 2010 (Nematodo macho falsamente coloreado, hecho con ZEISS SEM. Cortesía de Emil Zieba, Universidad Católica de Lublin, Lublin, Polonia)| Flickr cc

Pág. 2-3 y pp.128-129 *Pelos de los dedos del Lagarto Gecko inspirador del diseño de adhesivos médicos* | Foto: Microscopía Zeiss 2014| Flickr cc

Diseño

Marjan Eggermont

Colin McDonald

Creative Commons License



ISSN

1927-8314

Edición de la versión en Español

Zygote Quarterly

Universidad Iberoamericana Ciudad de México,
Departamento de Arquitectura

IBERO
CIUDAD DE MÉXICO ®

DEPARTAMENTO DE
ARQUITECTURA



Hace tres años, tres de nosotros nos reunimos y decidimos que ya era hora de ofrecer al mundo algo que pensábamos hacía falta: una revista sobre diseño bioinspirado que conviviera en ese espacio que existe entre las publicaciones arbitradas y las populares. Que fuese comprensible para el lector común, aunque un tanto más demandante que una tradicional. Que también explicara las cosas a un nivel de detalle útil para los profesionales en ejercicio. En general, que celebrara el emocionante espíritu del descubrimiento y la creación que vemos en el trabajo de científicos, ingenieros, diseñadores y artistas.

Nuestra intención fue entonces lanzar una red extensa para capturar contenido y reunir en torno a nuestra publicación a tantos solucionadores profesionales de problemas como pudiésemos. Este esfuerzo continúa, pues hemos expandido no sólo nuestros contenidos sino también nuestro alcance geográfico. Uno de nuestros logros más significativos ha sido traducir ZQ al español. Este trabajo ha sido posible gracias al tremendo esfuerzo del equipo liderado por nuestros editores adjuntos Raúl de Villafranca en México y Manuel Quirós en España. También hemos agregado a nuestro contenido una sección de diseño de productos y de entrevistas internacionales. Como quien recibe un regalo del cielo, en nuestro segundo año de publicación dimos la bienvenida a la magnífica pluma de Heidi Fischer en su columna, la "Ciencia del Ver". Producir con la calidad a la que ustedes están acostumbrados no sería posible sin el trabajo profesional de Kristen Hoeller, nuestra extraordinaria revisora. Finalmente, queremos

agradecer a todos los colaboradores invitados por su tiempo, energía y apoyo. Esta revista no hubiera sido posible sin su ayuda.

En las páginas 12-17 encontrarán un índice completo de todos nuestros colaboradores invitados.

Nuestros lectores regulares saben que desde el inicio hemos estado entrevistando a una amplia gama de practicantes de la disciplina. Hemos publicado 26 entrevistas y, como se pueden imaginar, las respuestas a algunas de nuestras preguntas han sido variadas. Hemos preguntado, entre otras cosas, cuál es el mayor reto para la biomimesis y en dónde debemos enfocar nuestras energías en el futuro.

Las respuestas a la pregunta sobre los mayores retos a los que la biomimesis se enfrenta se pueden dividir en dos categorías: comunicación y avances técnicos. La respuesta más común sobre comunicación fue la necesidad de transmitir con mayor claridad la definición y el valor del diseño bioinspirado. Otras respuestas relativas a la percepción en un nivel más profundo, muestran una convicción de que cambiar la cosmovisión de las personas es el mayor obstáculo. Aquellos cuyas respuestas se centraron en lo técnico creen que la formación y el rigor científico son los problemas más apremiantes, o que resolver los tecnicismos de la traducción entre disciplinas es el principal reto. A continuación se exponen algunos ejemplos de las respuestas.

"La bioinspiración todavía no es una disciplina científica por derecho propio. Carece de un fundamento teórico que pueda ser aplicado a todos los problemas relacionados con imitar a la biología, y que sea a la vez específico a este campo. Las áreas maduras en la ciencia



Ala de mariposa, imagen con microscopía confocal correlativa

Foto: Microscopía Zeiss, 2012 | Flickr cc

y la ingeniería tienen bases teóricas que se han convertido en conjuntos objetivos de métodos para resolver problemas en el campo.”

“...persuadir y enseñar al (público) que la biomimesis es necesaria y deseable (e inclusive rentable).”

“¿...cómo construimos colectivamente una metodología de diseño, con sus respectivas prácticas, servicios y herramientas, para un diseño biológicamente inspirado, por objetivos y enfocado hacia la solución de problemas?”

En lo que respecta a dónde debiéramos enfocar de manera colectiva nuestra energía en el futuro, las opiniones de nuestros entrevistados sobre las prioridades parecen estar divididas equitativamente. El rigor científico y el apoyo a los descubrimientos tienen la misma prioridad que la educación y el resolver problemas específicos del mundo. En un menor grado, los entrevistados consideraron que el empoderamiento (financiero y de otro tipo) es crítico para transformar las ideas en una realidad tangible. No es de sorprender que los problemas específicos del mundo, que se mencionaron, incluyen el uso eficiente de la energía y los materiales para la salud y la seguridad.

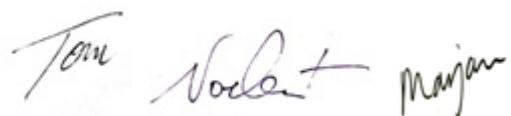
“Claramente, incrementar la eficiencia es una meta que bien vale el esfuerzo, pero necesita equilibrarse con una renovación y regeneración activa de los sistemas. Necesitamos encontrar maneras de cocrear o coevolucionar con los sistemas naturales para nuestro mutuo beneficio.”

“...cualquier cosa que eleve la credibilidad y produzca principios generales. Actualmente

la mayoría de las personas parece conformarse con diseñar artíulos (que) difícilmente cambiarán al mundo. Esto es trivial.”

“Un enfoque más sistemático, matemático y modelizado que dependa de métodos cuantitativos. Actualmente, se están dando muchos diseños ad-hoc e inspiracionales, algunos de ellos muy exitosos, pero queremos aplicar el poder de la ingeniería y de la ciencia en este campo. Aunque se han logrado algunos avances, hace falta mayor rigor.”

Para ZQ, el camino por recorrer parece claro sabiendo que gran parte de nuestra labor es comunicar y promover la innovación basada en la naturaleza. Continuaremos lanzando nuestra red de manera más amplia y permitiremos que se sumerja a mayor profundidad mientras trabajamos para difundir estudios de casos creíbles e información útil acerca de la naturaleza, el descubrimiento humano y la solución de problemas. Por favor díganos si piensan que hemos ido por el camino correcto, qué artículos han tenido mayor repercusión y qué es lo que quisieran ver en los siguientes números. Como siempre, ¡disfruten su lectura! x

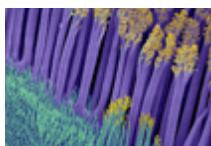


Tom McKeag, Norbert Hoeller y Marjan Eggermont



Colaboradores:

Tres años de Zygote Quarterly 10



Caso de estudio: Una situación resbalosa: En busca de un adhesivo quirúrgico óptimo

Tom McKeag 18



La ciencia del ver: Historias y átomos

Adelheid Fischer 44



Libro: Ingeniería y Biomimesis por Akhlesh Lachtakim y Raúl J. Martín-Palma (editores)

Reseña de Michael S. Ellison 60



Diseño de productos:

Aqua Creations 72



Personas: Entrevista con

Blaine Brownell y Marc Swackhamer 102



Personas: Entrevista con

Michael Ellison 112



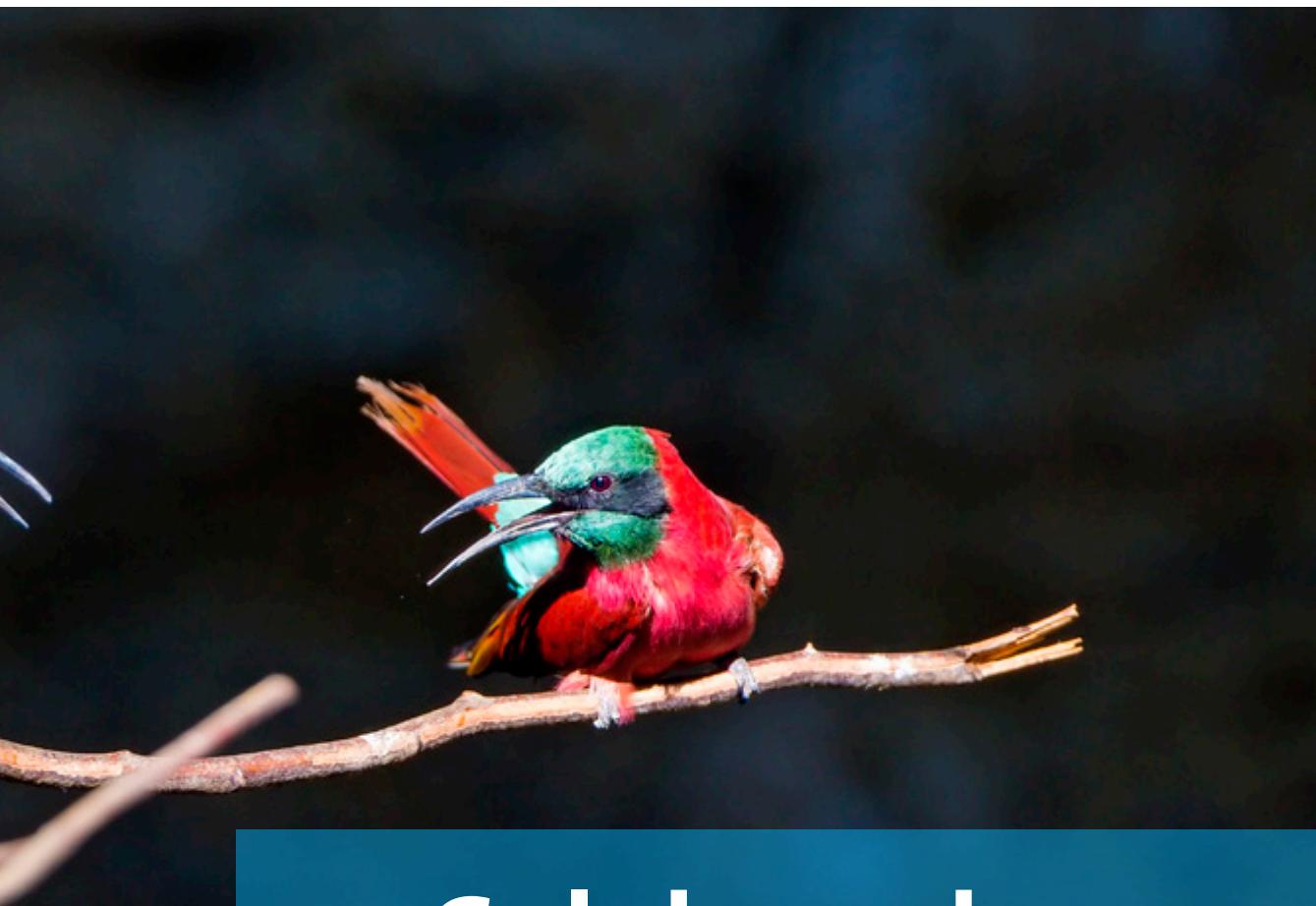
Infografía: El regreso de la cosa del pantano

Raúl de Villafranca y Colin McDonald 124



Dos abejarucos

Foto: Tambako el Jaguar, 2015 | Flickr cc



Colaboradores

Tres años de Zygote Quarterly

Colaboradores

Tres años de Zygote Quarterly



Steven Vogel



Nikolay Bogatyrev



Julian Vincent



Janine Benyus



Eiji Nakatsu



Curt McNamara



Mark Kerbel



Clint Penick



Jacqueline Nagel



Jay Baldwin



David Goodsell



Tamsin Woolley-Barker



Jeremy Faludi



Rob Kesseler



Michelle Merrill



Filippo Salustri



Colleen Mahoney



Megan Schuknecht



Anthony Upward



Elena Lapeña



Fritjof Capra



Tim McGee



Igor Siwanowicz



Ashok Goel



Lindsey Adelman



Pier Luigi Luisi



Janice McDougall



Philip Beesley



Lisa Frank



Rafael Araujo



Daan Roosegaarde



Kamelia Miteva



Janet Kubler



Randall Anway



Margo Farnsworth



Nervous System



Carolyn Aguilar



Rolf Mueller



Delfín Montañana



Scott Turner



Maria Mingallon



Jane Fulton Suri



Thomas Knittel



Wes Jackson



John Crowe



Ilaria Mazzoleni



Jay Harman



Larry Stambaugh



Dayna Baumeister



Brent Constantz



Anamarije Frankic



Markus Buehler



Prateep Beed



Arndt Pechstein



Yael Helfman Cohen



Saskia van de Muijsenberg



Chris Garvin



Daphne Haim Langford



Brian Palermo



Ray Lucchesi



Tomislav Terzin



Megan Strickfaden



Nathaniel Cady



Miriam Pye

Colaboradores

Tres años de Zygote Quarterly



Randy Olson



Marc Swackhamer



Malcolm Burrows



Ana Gabriela Robles



Blaine Brownell



Michael Ellison



Azucena Garza



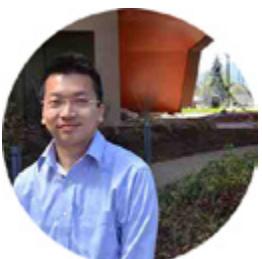
Albi Serfaty



Greg Sutton



Scott Summit



Tak Sing Wong



Wilhelm Barthlott



Michael Pawlyn



Virginia Corless



Bill Watts



Jeffrey Karp



George Lauder



Sayuri Yamanaka



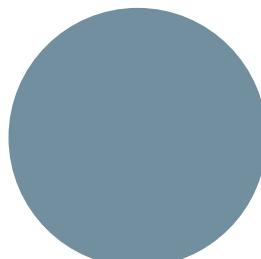
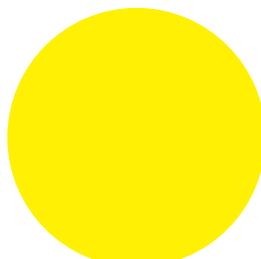
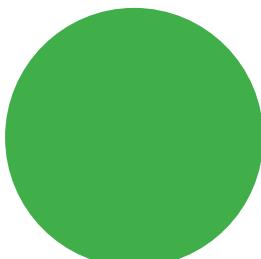
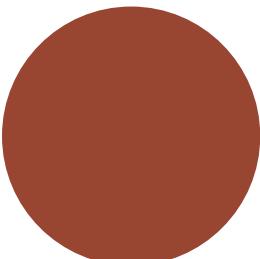
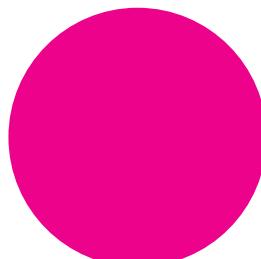
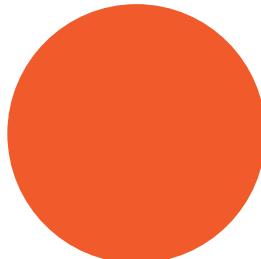
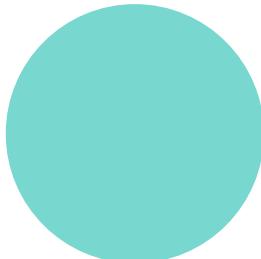
Ingrid Amor



Taryn Mead



Catalina Freixas



Adelheid Fischer



Raúl de Villafranca



Kristen Hoeller



Manuel Quirós



Gecko

Foto: Studio Tempura, 2010. | Flickr cc



Caso de estudio: Una situación resbalosa: En busca de un adhesivo quirúrgico óptimo

Tom McKeag

Una situación resbalosa

El reto

Jeffrey Karp ha emprendido una cruzada para encontrar un material que se adhiera a cosas húmedas, viscosas y que se mueven. Su campo es el microespacio de la cirugía invasiva, en la que órganos y tejidos deben ser reparados y reemplazados. Los retos funcionales y materiales de este ambiente son enormes. Cualquier sustancia debe ser biocompatible y no ser rechazada por el cuerpo humano. Debe ser biodegradable para que el cuerpo pueda absorberla. Debe ser suave y maleable, pero al mismo tiempo resistente y duradera. Debe aferrarse firmemente ante todo

tipo de movimiento, resistiendo esfuerzos constantes e intensos. Finalmente, debe ayudar, en lo posible, a sanar el tejido vivo, suministrando medicamentos o estimulantes de crecimiento.

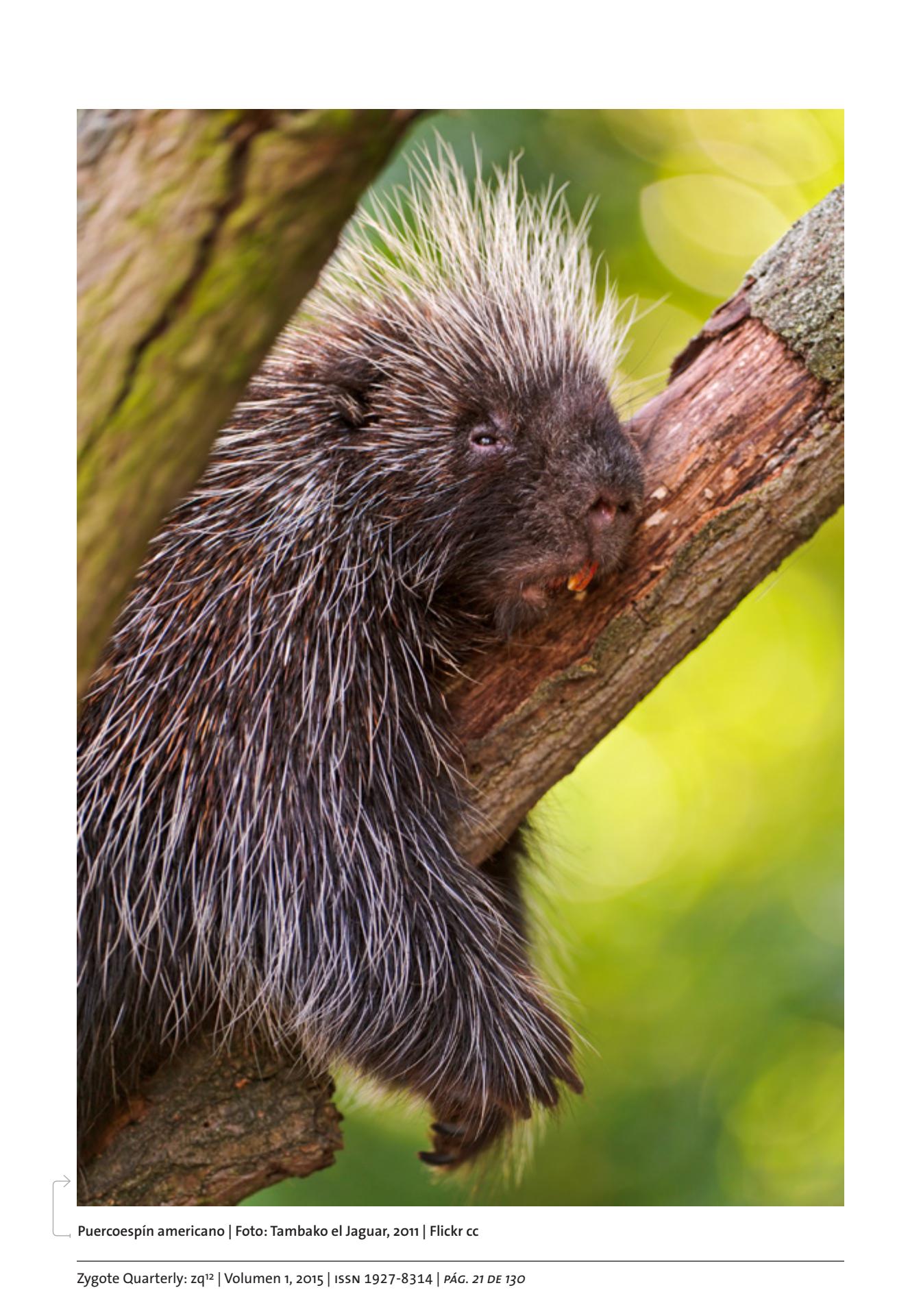
El Dr. Karp es un bioingeniero del Hospital Brigham and Women's en Boston, profesor asociado de medicina en la Escuela de Medicina de Harvard, y miembro distinguido de la Facultad en el Harvard Stem Cell Institute, además de ser Miembro Afiliado de la Facultad en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) a través del programa de la División de Ciencias y Tecnología de la Salud (HST). También es cofundador de una empresa única, Gecko Biomedical. Es un firme creyente en la búsqueda de posibles soluciones en la naturaleza. Él y el personal de su laboratorio han estudiado a puercoespines, geckos y gusanos y se han inspirado en ellos para innovar en su búsqueda de un mejor bioadhesivo.

“...realmente hemos tenido que ver más allá de nuestros campos profesionales y buscar nuevas fuentes de inspiración. Lo que me parece extraordinario es que cuando salimos al aire libre, o vamos al acuario o al zoológico o cuando empezamos a aprender acerca de los animales que nos rodean, descubrimos soluciones a problemas increíbles.”

Ésta búsqueda guiada por la naturaleza ha dado sus frutos para Karp, pues le ha conseguido varios premios, además de darle la base IP para la nueva empresa de la que es cofundador, Gecko



Jeffrey Karp



Puercoespín americano | Foto: Tambako el Jaguar, 2011 | Flickr cc

Biomedical. En 2008, fue galardonado con el premio TR35, otorgado por el Technology Review de MIT a los mejores innovadores menores de 35 años. En 2009, la tecnología adhesiva gecko (Gecko Adhesive Techology), desarrollada por su laboratorio, fue seleccionada por la revista *Popular Mechanics* como uno de “Los 20 principales nuevos logros en biotecnología que cambiarán la medicina”, y en 2011 recibió el Premio Juvenil de Investigación (Young Investigator Award) por parte de la Sociedad de Biomateriales. Gecko Biomedical, con sede en París, recientemente recibió 1.3 millones de euros en fondos para apoyar su desarrollo, por parte de Bpifrance, una subsidiaria del grupo Caisse des Dépôts y del gobierno francés. El dinero será utilizado para seguir desarrollando su línea de “Soluciones Quirúrgicas Bioinspiradas”.

En el ámbito de la biomimética de referencia, el laboratorio de Karp tiene una posición y un perfil digno de mención. Son ingenieros, por lo que en vez de empezar investigaciones biológicas profundas que den lugar a ideas para aplicaciones, el laboratorio busca ideas en toda la naturaleza. Todos estos candidatos diversos deben adaptarse a las exigencias del principal reto: encontrar la mejor manera de cerrar heridas y reparar tejido. Si bien este “reto de organismos inspiradores” no es nuevo, lo que distingue a este laboratorio es la amplitud en la investigación y la capacidad científica para probar los resultados y proponer aplicaciones.

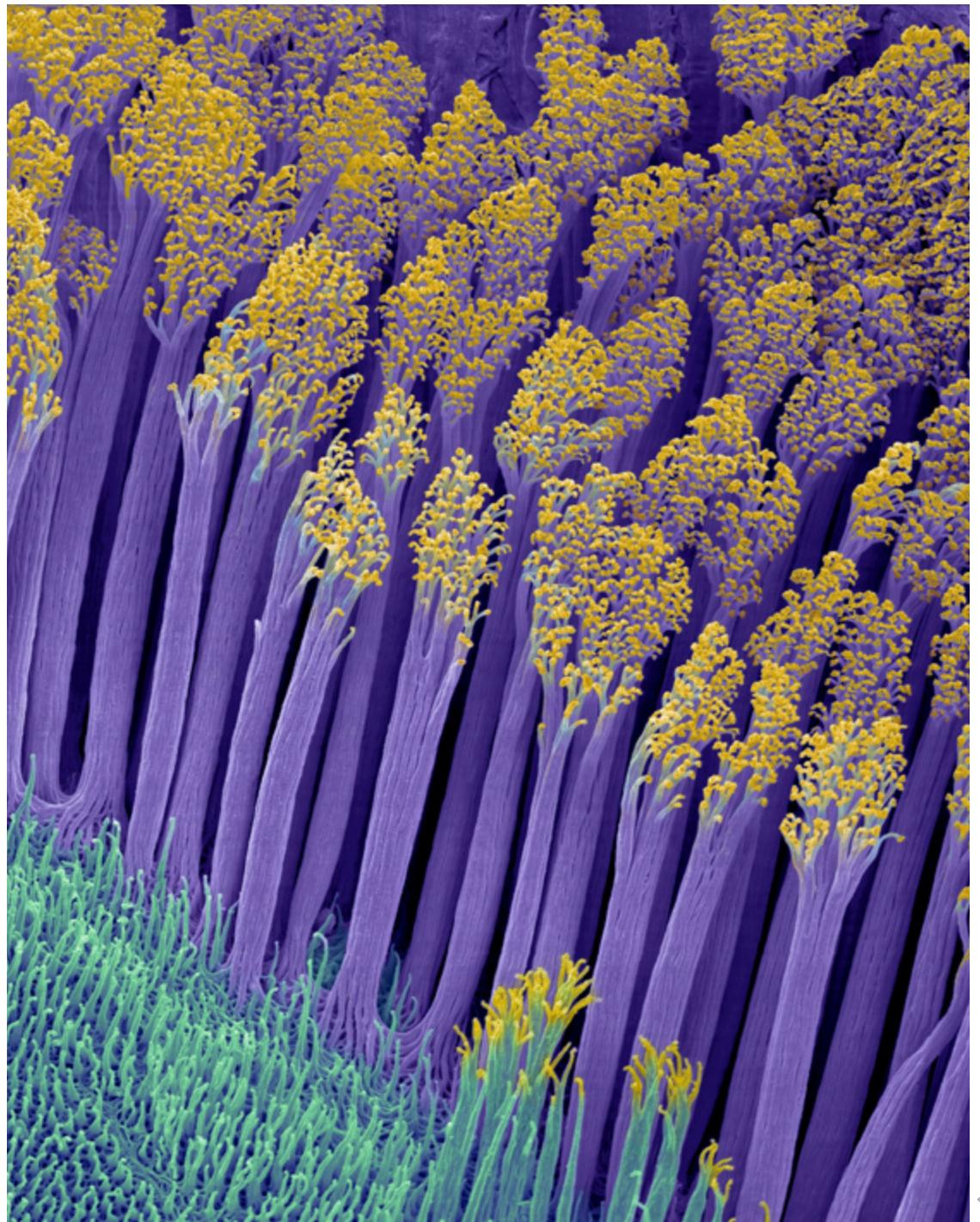
La divergencia entre la búsqueda y el profundo conocimiento requerido, implica que la colaboración interdisciplinaria sea esencial, y Karp es un firme convencido de este enfoque.

“Creo que el proceso de la innovación sucede en la interfaz de las disciplinas. Hay muchos, muchísimos pasos necesarios para traducir una tecnología en soluciones que tengan el poder de ayudar a los pacientes y de mejorar la calidad de vida. Cada paso requiere reflexión y creatividad, desde la búsqueda de la inspiración para un nuevo material hasta la forma de crearlo, fabricarlo, hacer pruebas clínicas, etc. Conforme la bioingeniería ha ido ganando terreno desde la década de los 90, ha habido un reconocimiento de que se puede conseguir mucho más cuando se reúnen diferentes tipos de científicos, compartiendo y colaborando junto con ingenieros y médicos clínicos. Mi laboratorio no podría existir sin este tipo de interacción.”

Las inspiraciones

El gecko

El gecko tokay (*Gekko gekko*) se pega a paredes y techos por la conjunción de muchas fuerzas pequeñas de atracción molecular, llamadas fuerzas Van der Waals, que existen entre sus patas y las superficies donde se posa. Estas pequeñas fuerzas son suficientes para mantener al reptil sujeto y se dan gracias a la estructura jerárquica de la pata del gecko. En este tipo de pata los dedos con rebordes contienen muchos pelos o setas y éstas están divididas en la punta y cada punta tiene una almohadilla diminuta. Estas divisiones a través de la escala lineal de lo macro a lo nano se multiplican hasta formar una extensa superficie expuesta de millones de almohadillas en cada pata. Kellar Autumn fue el primero en



Pelos de los dedos del Lagarto Gecko

Foto: Microscopía Zeiss, 2014 | Flickr cc

descubrirlo en el año 2000 y el proceso fue explicado en la publicación *Proceedings of the National Academy of Sciences* en 2002.

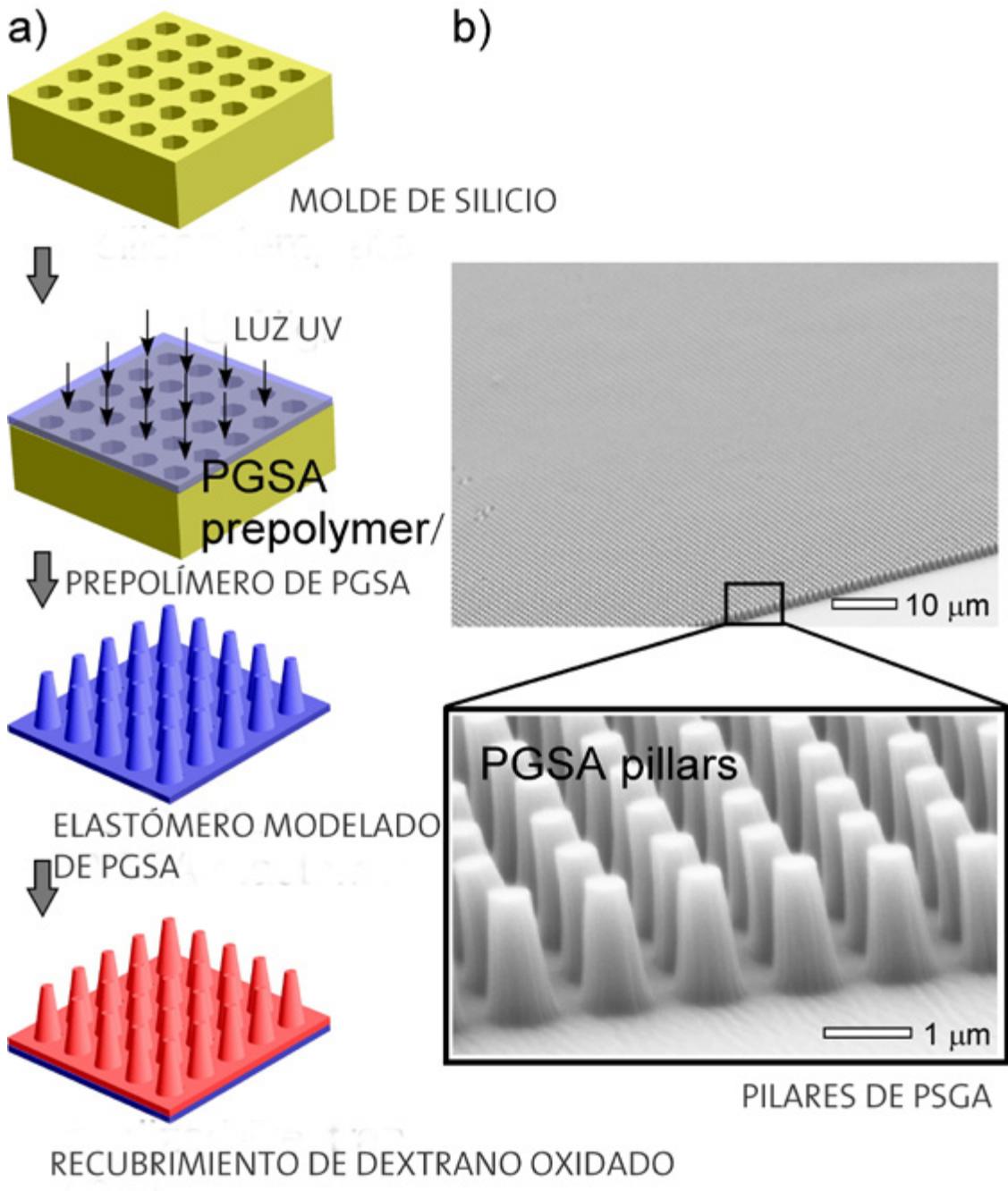
Desde entonces, muchos laboratorios se han unido al movimiento para aprovechar esta extraordinaria revelación y han producido más de 100 patentes o aplicaciones de patentes. Karp fue uno de los muchos que leyó la literatura del fenómeno y comenzó a aplicar sus conceptos en su propio trabajo en 2005. Karp cree en la gran necesidad de contar con un material tipo cinta adherible que ayude a reparar y sanar heridas y cirugías. Este tipo de material podría ser menos invasivo que las suturas tradicionales y tener más aplicaciones mecánicas, como envolver tejido o insertarse dentro de incisiones pequeñas.

En 2007, en la misma revista, Karp y sus colegas relataron su procedimiento para traducir las bien sabidas propiedades de adhesión en seco del gecko a retos de reparar tejidos *in vivo*, en un artículo titulado “Una cinta adhesiva biodegradable y biocompatible inspirada en el gecko”.³

Algunos de sus retos de diseño fueron diferentes a los de la naturaleza. En el caso del gecko, el mecanismo de adherencia es seco, basado en una estructura jerárquica que atrae a las fuerzas Van der Waals para lograr la adherencia, y es reversible a velocidades relámpago en este rápido animal. Por otra parte, para la aplicación médica el equipo requería incrementar la adhesión en un ambiente húmedo, y no les interesaba para nada la reversibilidad del proceso, sino más bien lograr una adhesión que perdurara durante toda la vida de la cinta. Esta vida sería corta y parte del cometido del diseño era hacer un material que se degradara en el cuerpo.

Su estrategia fue incrementar el área de la superficie de la cinta usando las lecciones aprendidas de las setas del gecko, y añadir un adhesivo húmedo que fuera tanto biocompatible como biodegradable. Entonces crearon un bioelastómero con protuberancias puntiagudas y lo cubrieron con un pegamento polisacárido. Después de probar muchas diferentes bases con nano estampados seleccionaron la versión que se parecía más al tejido vivo y después agregaron el pegamento. En las pruebas en tejido vivo de cerdos y de ratas, la cinta con estampados resultó ser dos veces más resistente que la lisa y agregar el pegamento incrementó la adhesión en un 100%. El material de la cinta y sus estampados se pueden calibrar para diferentes usos y los medicamentos incluidos en la cinta también se pueden ajustar para liberarse de manera específica conforme el material se degrada. Esta capacidad de afinar y ajustar es una característica importante de los proyectos biomédicos exitosos y maximiza el potencial de las aplicaciones.

Para fabricar el material se usaron algunas de las técnicas de fotolitografía y grabado con iones reactivos utilizadas en la tecnología de las obleas de silicio. Con silicio se hizo un molde de hoyos en forma de cono, sobre el cual se vertió una premezcla de monómeros para el poli (glicerol-co-sebacato acrilato) o PGSA, y esto se secó usando luz ultravioleta. El elastómero endurecido y modelado hecho del polímero PGSA se liberó del molde y se cubrió con una capa de Dextrano oxidado. El PGSA es biocompatible y biodegradable, al igual que el aldehído Dextano (DXTA). Los grupos de aldehídos en el DXTA tienen enlaces cruzados con los grupos amino



Proceso de fabricación de “un adhesivo tisular biodegradable y biocompatible inspirado en el gecko”

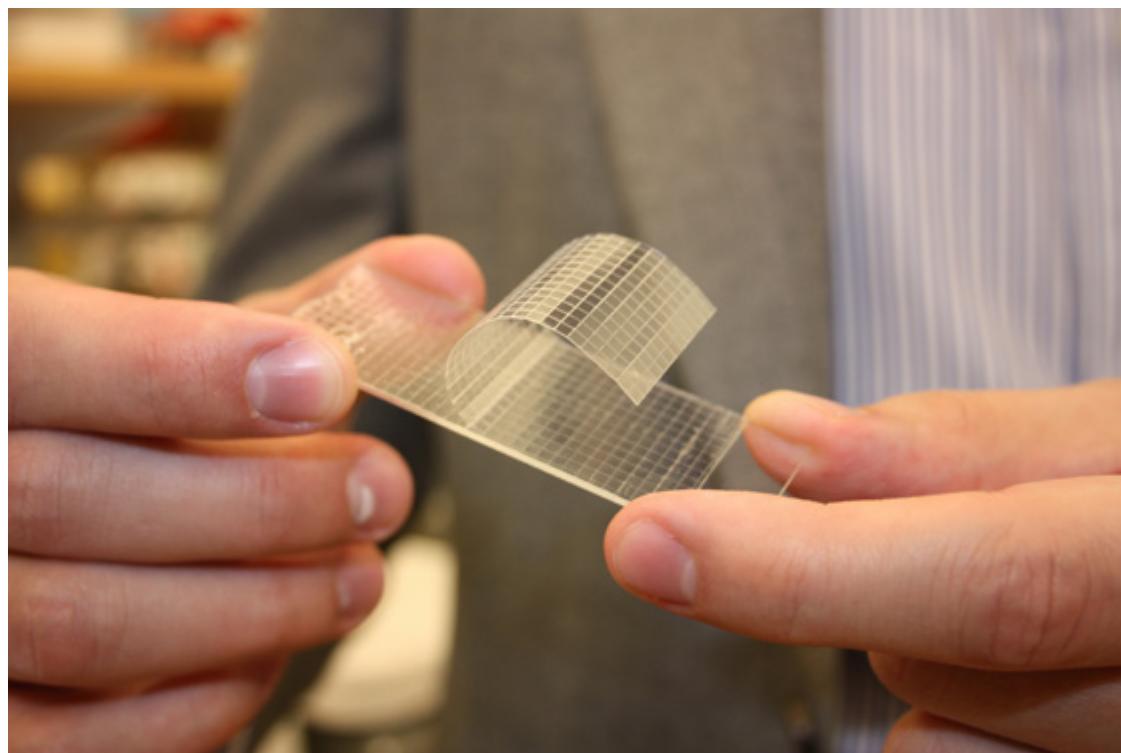
Foto cortesía de Jeffrey Karp

en las proteínas del cuerpo como el colágeno y también se vinculan con la subunidad de glicerol en el elastómero PGSA.

De este modo, los ingenieros habían creado una base altamente adaptable, muy parecida a un tapete de plástico con protuberancias puntiagudas, como de pasto artificial, hecho de pilares a nanoescala cubiertos de un pegamento pegajoso. El pegamento era permanente pero de corta duración, formando enlaces covalentes con proteínas como el colágeno pero degradándose en cuestión de días.

El trabajo llamó la atención de los editores de la revista *Popular Mechanics* quienes incluyeron esta invención como la número 17 en “Los 20 nuevos avances en biotecnología que cambiarán al mundo de la medicina”, publicado en marzo de 2009.

Este esfuerzo ilustra la colaboración interdisciplinaria que se necesita para llevar una idea a la práctica y ponerla a prueba. Al frente del equipo estuvieron Karp y su colega y mentor de posdoctorado, Robert Langer, quienes comparten puestos en la División de Ciencias y Tecnología de la Salud (HST) de Harvard-MIT. El apoyo para la investigación provino de la Universidad de Ba-



→ Cinta médica de rápido desprendimiento

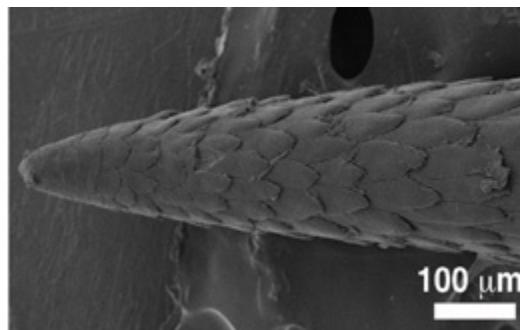
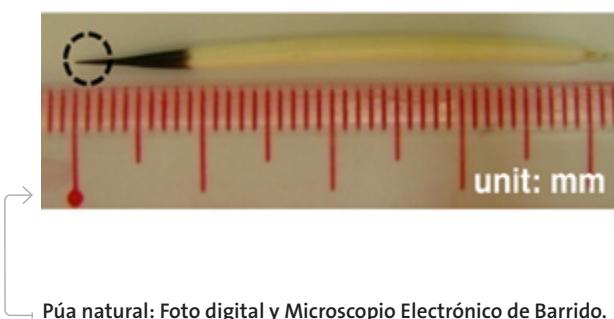
Foto cortesía de Jeffrey Karp

silea en Suiza así como del MIT, y los ingenieros del Laboratorio Draper hicieron los nanomoldes necesarios, mientras que los investigadores del Hospital General de Massachusetts realizaron las pruebas en animales.¹ El Doctor Langer opera en un reconocido laboratorio en el Departamento de Ingeniería Química en el MIT, y ha ganado la Medalla Nacional de Ciencias y la Medalla Nacional en Tecnología e Innovación de los Estados Unidos. Tiene más de mil patentes otorgadas o pendientes y ha cofundado 26 empresas, incluyendo Gecko Biomedical.

En 2012, Karp y Langer presentaron los resultados para otra versión de la cinta inspirada en el gecko, esta vez para solucionar el problema de las lesiones de piel ocasionadas al quitar la cinta adhesiva médica. Este problema es especialmente grave para los recién nacidos y los ancianos. La contradicción que trataban de solucionar es una que el gecko ya había resuelto: adherirse fuertemente y a la vez poder despegarse a voluntad sin ninguna pérdida de material. Un ejemplo de aplicación médica son los recién nacidos prematuros que requieren apoyo respiratorio y a quienes típicamente se les intuba, fijando las sondas a su cuerpo con cinta adhesiva. La piel de los neonatos no ha tenido tiempo de queratinizar o

formar una epidermis más resistente, por lo que es vulnerable a desgarres, y en algunos casos a cicatrices de por vida.⁴

La manera en la que abordaron el problema fue haciendo una capa intermedia de material entre el adhesivo húmedo de la gasa y el sustrato de tela. Al quitar la cinta, el sustrato de tela se despega fácilmente de la llamada capa de desprendimiento y el adhesivo permanece en el cuerpo hasta disolverse de manera natural sin provocar traumatismo alguno. El aspecto clave de esta solución fue transferir la mecánica de cómo se adhiere el gecko, en vez de imitar la estructura o el material. Karp y Langer reconocieron que necesitaban un material con capas que tuviera una alta resistencia al desgarre y que no se deslizara, pero que tuviera una baja resistencia a la hora de ser desprendido. El gecko lo consigue mediante una acción muscular que cambia el ángulo de ubicación de sus dedos y desprende todos esos millones de cojinete de nanoscalas. Los investigadores crearon un material cuadrículado que sirve el mismo propósito cuando se levanta: la fuerza se localiza en el borde que se ha de desprender, por lo que la fuerza de tracción no se difunde hacia arriba causando la superficie del adhesivo causando lesiones.



Púa natural: Foto digital y Microscopio Electrónico de Barrido.

Foto cortesía de Jeffrey Karp



Puercoespín americano | Foto: USPWS Pradera montañosa, 2006 | Flickr cc



Puercoespín

Las púas del puercoespín norteamericano (*Erethizon dorsatum*) son extremadamente difíciles de quitar por los agujones orientados hacia atrás que tienen en las puntas. El laboratorio de Karp observó con detenimiento esta estructura y la adaptó para aplicaciones en el campo médico: adhesivos, agujas o grapas quirúrgicas por ejemplo.

Lo que sorprendió al equipo fue que la estructura de los agujones también hacía que las púas pudieran entrar con mayor facilidad en la piel o el músculo (¡a veces en ambos!). Hasta ese entonces, nadie se había tomado la molestia de analizar la microestructura de las púas, y lo que descubrieron Karp y su equipo fue que los extremos de los agujones tenían una geometría perfeccionada que hacia posible la penetración de tejido usando muy poca fuerza. En el espacio de aproximadamente 4-5 mm, los extremos negros de las púas presentan una degradación del diámetro de la punta lo que facilita el corte del tejido. Al igual que la punta de una flecha, los múltiples agujones, todos de unas 100-120 micras de longitud, se hacen más largos al estar dispuestos hacia atrás. El equipo trazó las fuerzas necesarias para insertar y extraer las púas de un tejido en una prueba llamada de penetración-retracción. Lo compararon con varios controles incluyendo una aguja hipodérmica calibre 18 y con púas sin agujones de otras especies de puercoespín.

El tema clave a investigar en el caso de la penetración del tejido fue la concentración de estrés, y en sus resultados el equipo comparó la disposición de los agujones con el borde dentado de un cuchillo de cocina. Las agujas sin agujón de-

formaban primero el material antes de que la fuerza de compresión del empuje venciera la resistencia y la aguja perforara la piel. Como el borde dentado de un cuchillo de cocina, los agujones sirven para concentrar el estrés en áreas muy localizadas para desde ahí propagar las grietas abiertas. Esto no sólo disminuye el trabajo, sino que además reduce el daño al material.

Durante la retracción el equipo observó que las púas agujonadas naturales poseen mayores cualidades que propician arrastre, que las púas que hicieron de poliuretano. Los agujones en las púas naturales a menudo se doblan y esto incrementa significativamente el arrastre a lo largo del desplazamiento relativamente extenso de la púa. Aún no está claro si los agujones se despliegan mecánicamente para dar este resultado o si se doblan al azar a causa de las circunstancias. Sin importar la causa, el equipo advirtió la importancia de este doblamiento en el diseño de cualquier dispositivo sintético con agujones.

Además de fabricar agujas de poliuretano para las pruebas de control, el equipo también desarrolló un micro parche de agujas hecho de silicona (PDMS) como un prototipo de prueba.⁵

Resulta interesante que otros laboratorios han explorado la idea de una microaguja dentada, inspirada en la naturaleza, observando animales muy diferentes. Los ingenieros de la Universidad de Kansai en Japón, por ejemplo, publicaron en 2010 los resultados de una aguja basada en la probóscide de un mosquito. En el animal dos maxilares de bordes dentados rodean a un labrum liso. Los maxilares sirven para cortar la piel, haciendo la intrusión tan limpia que normalmente no se siente, y el labrum se mueve hacia abajo dentro de los maxilares para perfo-

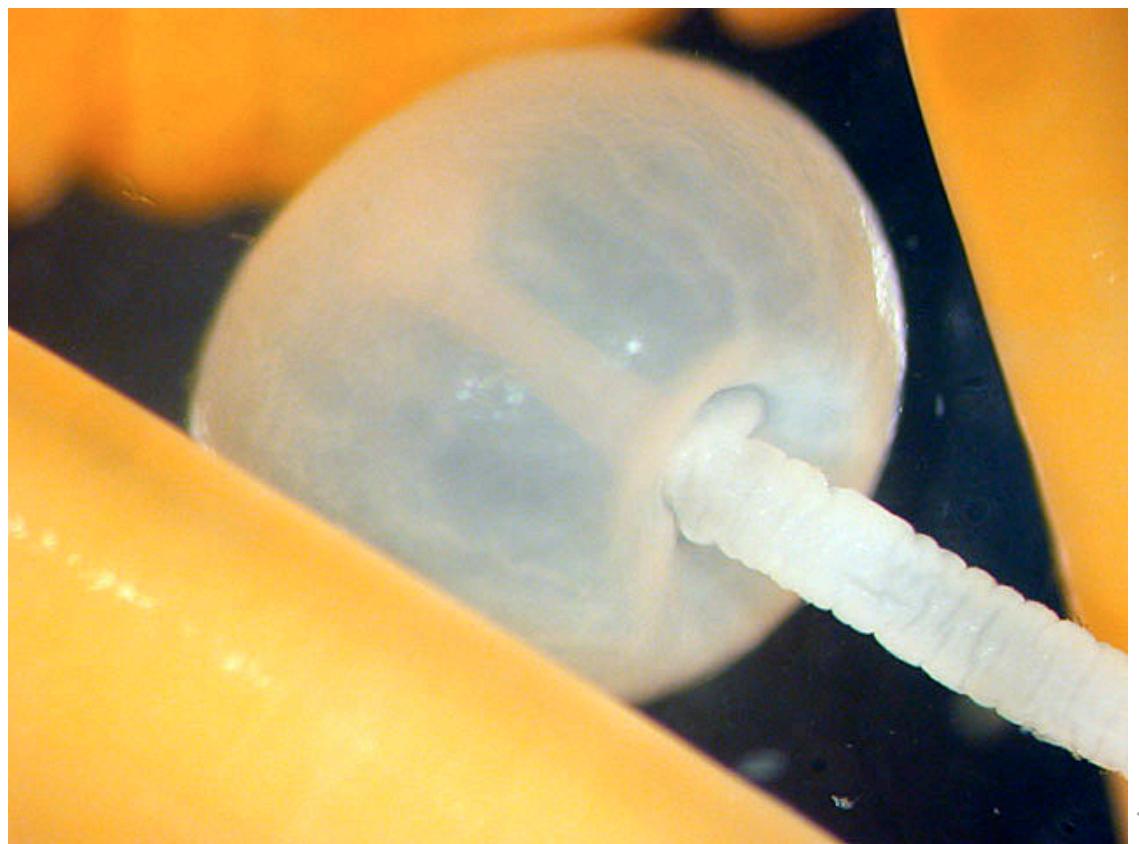
rar y extraer la sangre como si fuera un sifón. Los investigadores fabricaron un mecanismo de tres partes similar.⁶

Gusano de cabeza espinosa

El gusano de cabeza espinosa (*Pomphorhynchus laevis*) vive en un ambiente muy parecido a donde operan los cirujanos: húmedo, maleable y lleno de movimiento. Se trata de un endoparásito que se alimenta de los intestinos de peces

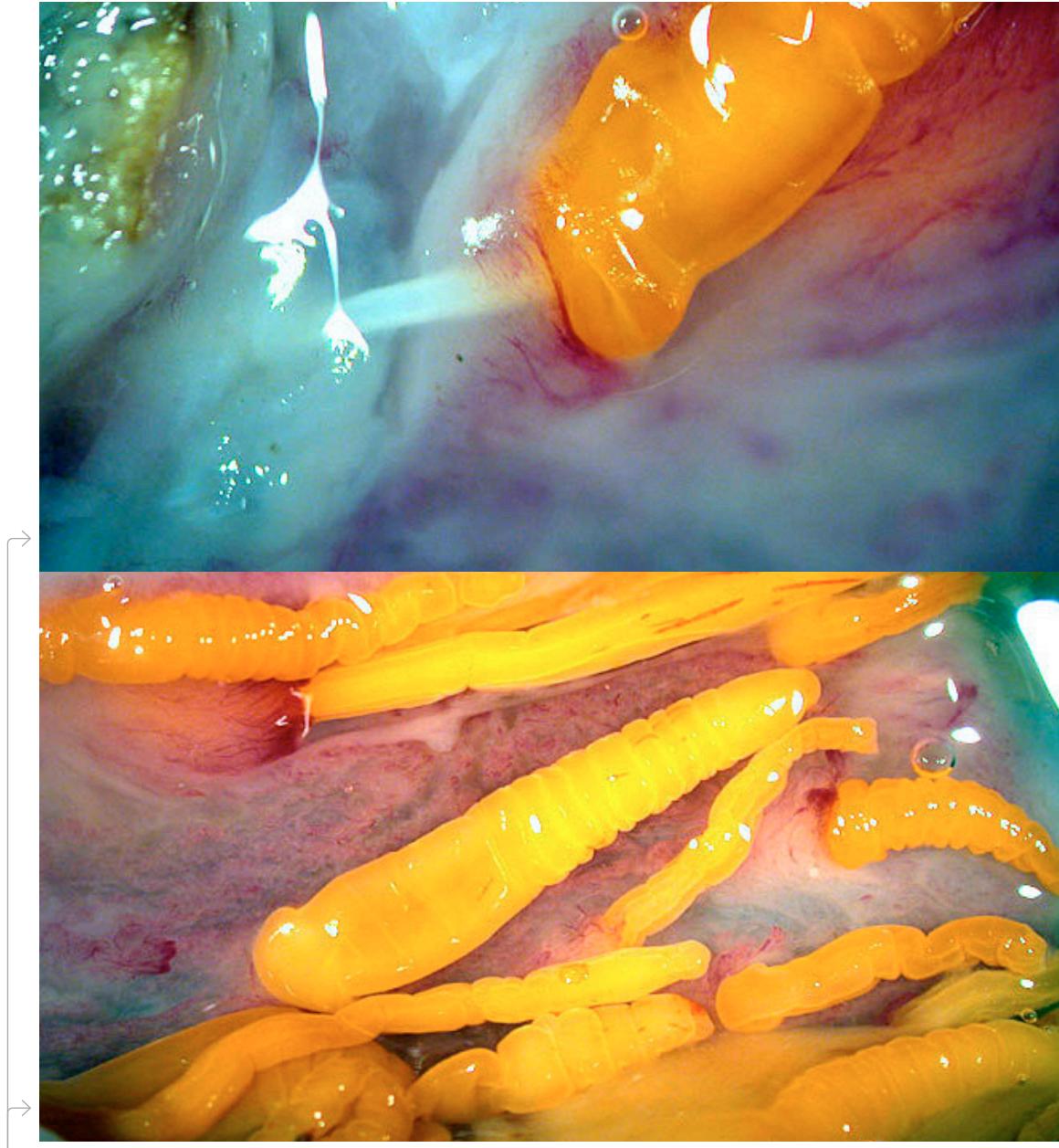
teleósteos, y Karp y sus colegas decidieron investigarlo cuando vieron que por su apariencia tenía las herramientas adecuadas para hacer el trabajo.

El interés inicial de Karp surgió a partir de un estudio realizado por biólogos enfocados puramente en lo académico.⁷ Para ellos la taxonomía del gusano y su papel en el ecosistema eran la información más valiosa, y percibían al aparato con el que se adhiere principalmente como una característica morfológica que ayuda a identifi-



Ajuste por fricción: *Pomphorhynchus* del Bluefish (*Pomatomus saltatrix*)

Foto: fishdisease.net, 2007 | Wikimedia Commons



Acantocéfalo *Pomphorhynchus*

Foto: fishdisease.net, 2007 | Wikimedia Commons

car al animal. El propósito del estudio de los biólogos fue establecer un claro árbol filogenético para estas especies y estaban interesados principalmente en clasificar los clados con pruebas de ADN. Adicionalmente, los gusanos parásitos se consideraban posibles organismos modelo para el estudio de la coevolución de huésped-parásitos. Sin embargo, el equipo de Karp identificó algo diferente.

El gusano pertenece a la familia de los Acantocéfalos. Aunque hay 83 géneros diferentes y 594 subespecies, los Acantocéfalos comparten algunas características comunes. Los gusanos no tienen boca, por lo que absorben directamente a través de sus cuerpos los nutrientes ya digeridos por sus huéspedes. Esto implica que deben quedarse dentro de sus anfitriones un buen rato y para lograrlo cuentan con una amplia variedad de tipos de ganchos, la mayoría de los cuales son curvos y están dispuestos en espirales a lo largo de proboscides expansibles. En el caso de *P. laevis*, una extrusión bulbosa se inserta en las paredes del tejido del anfitrión y luego se expande; podría decirse que es un ajuste por fricción, algo similar a los pernos expansibles usados en la construcción o en la escalada en roca.

Para lograr el mismo tipo de mecanismo de agarre los investigadores hicieron un núcleo de poliestireno con una capa externa de puntas cónicas en una combinación de polietileno y ácido poliacrílico, un material altamente absorbente usado típicamente en los pañales para bebés. Aplicada en un parche, la matriz de microagujas se puede aplicar al tejido insertándose con facilidad y cuando las puntas se hinchan se mantiene firme contra el material, resistiendo sin desprendérse.

Al igual que la cinta inspirada en el gecko, el parche de microagujas hinchable, de acuerdo con los investigadores, ofrece ventajas básicas sobre otros métodos: facilidad de aplicación en procedimientos mínimamente invasivos, adaptabilidad a tejidos suaves, menor riesgo de infección que las grapas tradicionales, extracción menos traumática, mínimo daño debido a la aplicación y la habilidad de suministrar medicamento así como de reparar heridas. El dispositivo presenta un buen rendimiento: se ha registrado un incremento de 3,5 veces en la fuerza de adhesión en comparación con las grapas típicamente usadas en los injertos de piel, un área de aplicación considerada como la más prometedora.

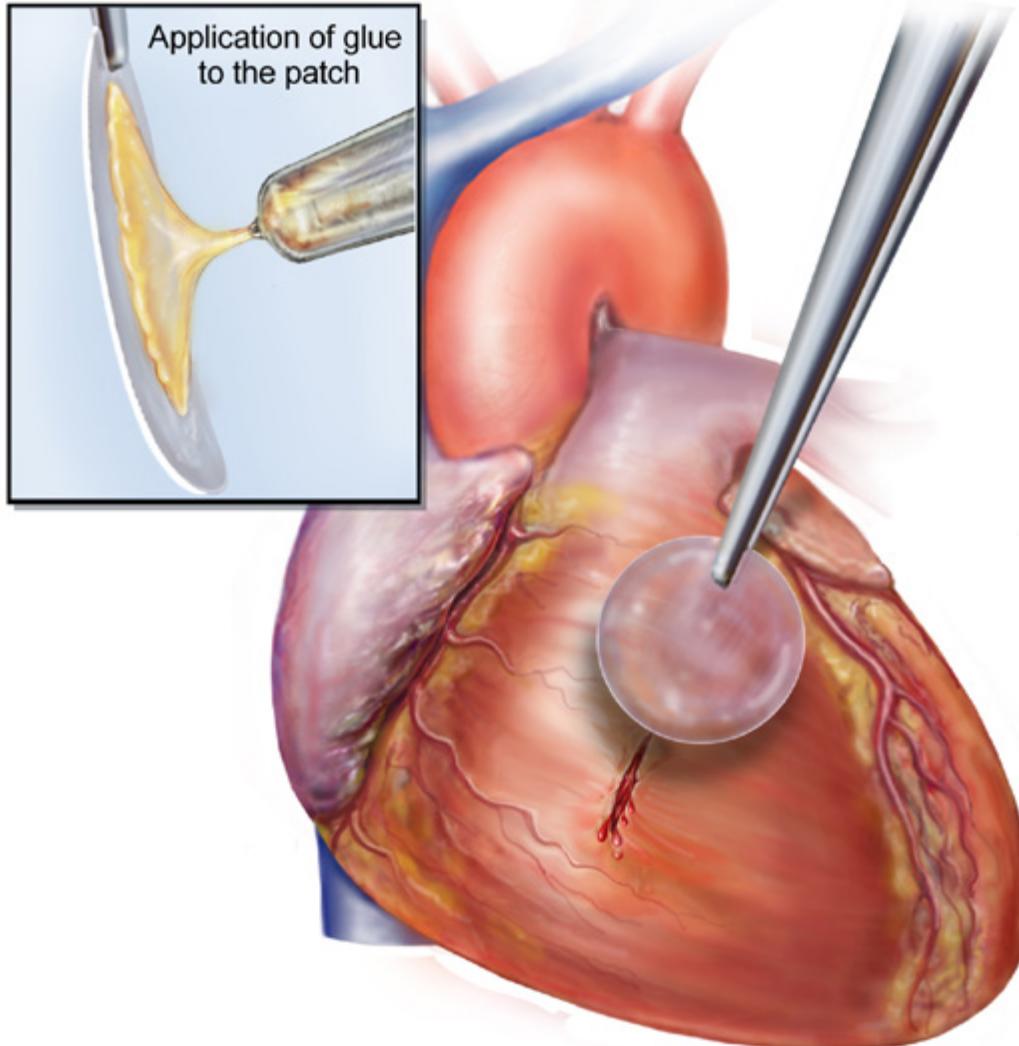
A la fecha, el equipo ha probado este dispositivo bifásico en tejido animal y pretende hacer más investigación para determinar la viabilidad de realizar pruebas clínicas. Karp advierte, sin embargo, que los dispositivos prometedores fabricados en el laboratorio aún tienen un buen tramo que recorrer antes de ser productos comerciales.

“Antes de que podamos avanzar a las pruebas clínicas, tenemos que entender lo que se requeriría para remplazar las tecnologías existentes. Tenemos que conocer todos los datos prácticos. Hay muchas tecnologías atractivas, sin embargo muchas de ellas no pueden ser producidas masivamente de manera consistente, o podrían costar demasiado para integrarlas a la práctica, y así sucesivamente.”¹



Casas de nido de abeja (gusanos de castillos de arena) | Foto: kqedquest, 2007 | Flickr cc





Aplicación del pegamento al parche

Imagen cortesía de Jeffrey Karp

Gusano castillo de arena

El gusano castillo de arena (*Phragmatopoma californica*) es un poliqueto del océano Pacífico que vive en la dinámica zona intermareal. Como parte de su estrategia de supervivencia contra las fuerzas mecánicas de las olas y el acecho de los depredadores, el gusano usa un adhesivo para pegar pedazos de concha y partículas de arena con los que forma una casa en forma de tubo. Estos tubos forman colonias que se pueden extender a lo largo de varios metros. Durante la marea baja que expone al gusano, éste permanece bajo su opérculo sellado y cuando la marea sube el gusano extiende sus tentáculos para atrapar la comida en el agua. No es el único que utiliza un pegamento acuático; los mejillones, las ostras y los percebes usan esta misma estrategia en el medio marino.

La composición de este pegamento ha sido objeto de investigación desde hace algún tiempo y en 2005 un equipo del laboratorio de J. Hebert Waite en la Universidad de California, campus

Santa Bárbara, pudo obtener la secuencia de la estructura de la proteína de este bioadhesivo y describir cómo se fija. Como era de esperar, las proteínas son similares a aquellas encontradas en el biso de los mejillones y pertenecen a un pequeño grupo de proteínas llamadas polifenólicas. Por la manera en la que se hace y se dispensa, este pegamento se parece mucho a una resina epólica de dos componentes; diferentes proteínas y grupos asociados que generan adhesivos se forman por separado y luego se mezclan conforme son segregados de una glándula. El pegamento se fija bajo el agua en 30 segundos y se seca en un lapso de 6 horas. Los investigadores piensan que el fijado se desencadena cuando la mezcla de proteína, que es ácida, se junta con el agua de mar, que es básica.

En 2009, el laboratorio de Russel J. Stewart en la Universidad de Utah fue capaz de hacer una versión sintética del pegamento. Este grupo logró resultados similares sin imitar servilmente la estructura química de la versión natural. La combinación de las cadenas laterales para lograr el vínculo cruzado y la formación de un coacer-vado complejo, una matriz hidrofóbica, fueron importantes para desarrollar este líquido visco-so inmisible.⁹

El grupo del Dr. Karp informó el desarrollo de su nueva cinta adhesiva para uso quirúrgico en la edición de enero de 2014, de *Science Translational Medicine*, “Una cinta adhesiva quirúrgica resistente a la sangre para la reparación de válvulas y defectos del corazón”. Su meta era lograr un adhesivo no tóxico y fuertemente vinculante que pudiera funcionar en el ambiente dinámico y húmedo de la cirugía. Esto con el propósito de mejorar las cirugías reconstructivas cardiovaseculares mínimamente invasivas. Los criterios clave



Un gusano de castillos de arena (*Phragmatopoma californica*) en el laboratorio de Russell Stewart de la Universidad de Utah, haciendo un tubo fuera de la arena (amarillo) y los granos de óxido de circonio (blanco).

Foto: Fred Hayes de la Universidad de Utah | CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons



Gecko Rayado de cola de hoja - Reserva exótica Peyrieras, Madagascar | Foto: David D'o, 2008 | Flickr cc





Pie de Gecko sobre cristal

Foto: Bjørn Christian Torrisen, 2009 | CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons

de diseño fueron que la sustancia fuera “un precursor biomimético, estable, e insoluble en agua que pudiera resistir el lavado *in vivo*, curarse *in situ* mediante la activación por luz y lograr un vínculo resistente al agua pero flexible al mismo tiempo.”

Los métodos clínicos actuales incluyen el uso del cianoacrilato de grado médico (súper pegamento) o el sellador de fibrina y ambos tienen serios inconvenientes, ya que son tóxicos o se adhieren débilmente y son propensos a ser lavados del cuerpo por el flujo de la sangre antes de que estén fijados. Otros adhesivos en desarrollo dependen de las interacciones químicas específicas que hacen que su aplicación sea limitada, y sus secuencias de catalización dificultan el posicionamiento previo.

Aunque el grupo mencionó que se inspiró inicialmente en fórmulas inspiradas por animales, incluyendo el pegamento sintético inspirado en el gusano castillo de arena, seleccionaron para su base un adhesivo sintético que desarrollaron en 2007 como un elastómero biocompatible, el poly (glicerol cosebacato acrílico), PGSA. Éste contiene componentes que se encuentran presentes en el cuerpo humano: el glicerol es un elemento fundamental de los lípidos, y el ácido sebálico que es un intermediario metabólico de los ácidos grasos. Ambos están aprobados por la Agencia de Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos de Norte América (FDA, por sus siglas en inglés). El PGSA puede ser fotocurado en un lapso de entre cinco a treinta segundos, lo que lo convierte en un excelente candidato para procedimientos médicos.⁹

El resultado de su experimentación fue un adhesivo hidrofóbico activado con luz (HLAA) hecho

de PGSA como precursor y un foto iniciador. Fue probado *in vitro* e *in vivo*, usando, entre otras cosas, tejido de cerdo y corazones de rata. Reportaron una excelente biocompatibilidad, buena adherencia a tejido blando y, muy importante, no hubo deslave o degradación de las propiedades adhesivas a causa del flujo sanguíneo. Las ventajas en comparación con los métodos y materiales actuales son muchas, ya que hoy no hay procedimientos que permitan posicionar los prepolímeros hidrofóbicos con un curado tan rápido que evite daños potenciales por el calor de la fuente lumínica. Además, los investigadores afirman que son capaces de calibrar las propiedades mecánicas de la sustancia ajustando la fórmula y controlando el tiempo de secado y la intensidad de la luz.¹⁰

Recientemente los investigadores han podido aumentar 100 veces la escala de la fabricación del adhesivo y pretenden probarlo en cerdos vivos en 2015.

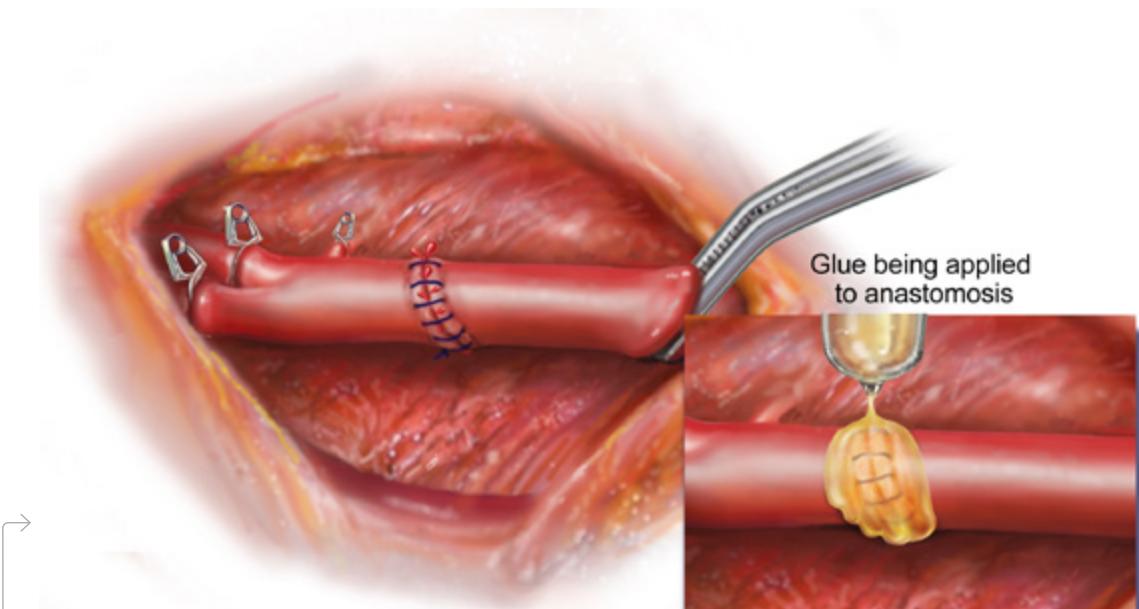
El mercado

El éxito del funcionamiento del HLAA ha mejorado las perspectivas de la nueva compañía de Karp, Gecko Biomedical, una empresa biotecnológica de reciente creación con sede en París. Gecko Biomedical es una empresa privada financiada por un grupo de inversionistas entre quienes se incluye Omnes Capital, CM-CIC Capital Innovation, y CapDecisif Management. La primera ronda de financiamiento alcanzó los 8 millones de euros. La empresa es una confluencia del talento científico del MIT, específicamente el Dr. Langer y el Dr. Karp, iBionext Network fundada por el Dr. Bernard Gilly y centrada en París alrededor del Institut de la Vision, e inversores de

capital. El Dr. Karp funge como observador en la Junta Directiva y es Presidente del Consejo Asesor en Temas Científicos y Clínicos.¹¹

El enfoque de mercado de la empresa es en el sector de procedimientos mínimamente invasivos (MIP, por sus siglas en inglés), donde un pegamento que se seca instantáneamente y puede soportar las demandas de un ambiente *in vivo* presenta grandes ventajas. Como se ha descrito anteriormente, el HLAA podría también convertirse en la nueva opción estándar para todo tipo de reparación de tejidos.

Aún falta mucho por hacer antes de que este adhesivo se convierta en un elemento habitual de los quirófanos. Su desarrollo se encuentra en las pruebas preclínicas; esto significa que no se ha probado aún en seres humanos, pero la empresa ha logrado ajustar el material para su producción, estabilizó la fórmula y pretende iniciar las pruebas en seres humanos en 2015, o a principios de 2016. Actualmente trabajan en el desarrollo de nuevas fórmulas; en ajustes a características tales como la viscosidad y la fuerza de adherencia; y en explorar maneras de incorporar elementos terapéuticos bioactivos. Más allá de esto, se tendrán que llevar a cabo estudios de



Aplicación del pegamento al anastomosis

Imagen cortesía de Jeffrey Karp

toxicidad y seguridad para preparar el camino hacia las fases clínicas. Los inventores piensan que una primera posible ruta para las pruebas en seres humanos será un agente homeostático para el sangrado en la línea de sutura o en pequeñas laceraciones, ya que el pegamento sella muy bien. Este tipo de pruebas más limitadas de funcionalidad y seguridad pueden ocurrir antes de las pruebas más complejas y de más largo plazo que se necesitan para aplicaciones de reparación de tejidos internos como parches cardíacos.

Desde los geckos hasta los puercoespines y los gusanos, el laboratorio de Karp se ha dedicado a estudiar algunas de las formas y procesos más enigmáticos de la naturaleza, pero siempre con la intención de mejorar la profesión médica y la vida de las personas. Karp y su equipo se han enfocado en una sola categoría del reto mecánico y en un solo espacio de aplicación, pero dentro de esa esfera los retos han sido tan demandantes que sus amplias investigaciones sobre la naturaleza les han resultado no sólo útiles, sino también necesarias. Se puede atribuir su éxito a un agudo enfoque en las aplicaciones para la solución de problemas, a su apertura hacia ideas divergentes en la interacción de equipos interdisciplinarios, así como a su habilidad de observar profundamente y probar rigurosamente cuando se investigan algunas de las mejores ideas de la naturaleza. X

Notas

1. <http://www.newscientist.com/article/mg22429900.400-what-id-ask-spiderman-mascot-of-bioinspiration.html>
2. <http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/36093/title/Sticking-Power/>
3. <http://www.pnas.org/gca?submit=Go&gca=pnas%3B105%2F7%2F2307&allch=>
4. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1216071109
5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3535670/>
6. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424710000737>
7. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0028285#s4>
8. <http://www.nytimes.com/2010/04/13/science/13adhesive.html?src=sch&pagewanted=all&r=0>
9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2662850/>
10. <http://stm.sciencemag.org/content/6/218/218ra6.editor-summary?sid=5dc78c2a-d08a-4418-ab01-e97617f0045e>
11. <http://www.geckobiomedical.com>

Enlaces adicionales

www.karplab.net

<http://tedmed.com/talks/show?id=309658>



→ Muérdago oriental (*Phoradendron leucarpum*) del Norte de Tejas|

Foto: David R.Tribble, 2009 | Wikimedia Commons



La ciencia del ver *Historias y átomos*

Adelheid Fischer

Historias y átomos

Bienvenidos al octavo ensayo de la serie titulada "La ciencia del ver"



Una de las mejores cosas de la vida es que uno nunca sabe cuando aparecerá una joya en la cotidianidad, trayendo consigo un exquisito nuevo placer que uno saborea durante el resto de su vida.

Tal joya cayó en mi regazo un día de verano en 1995. Había viajado 480 kms en dirección norte desde mi casa en Minneapolis hacia la Isla Mallard en la frontera entre Estados Unidos y Canadá. Mallard es un diminuto broche de piedra

asido en el encaje de islas que se extiende a lo largo de los 932 kms cuadrados del lago Rainy. Fue hogar del ya fallecido Ernest Oberholtzer, un explorador del ártico y conservacionista de Minnesota cuyo activismo en la década de los 30s y 40s ayudó a preservar el medio ambiente de los lagos de la frontera.

En el momento de mi visita, Ober, como lo conocían sus amigos y admiradores, ya había fallecido hacía casi dos décadas y la isla se había convertido en un lugar de aprendizaje para personas como yo, interesadas en la historia, cultura y ecología del norte del país. No obstante, la presencia de Ober seguía siendo palpable, particularmente en las extravagantes estructuras que el arquitecto paisajista, educado en Harvard bajo la tutoría de Frederick Law Olmsted, había diseñado y guardado bajo los árboles. A lo largo de las décadas, estas estructuras habían hospedado a familiares y amigos, al igual que a camaradas soldados de las trincheras de la conservación que planeaban batallas legislativas sentados alrededor de las mesas en Wannigan, una barcaza que ahora se encontraba en dique seco en el extremo norte de la isla, convertida en una cocina comunitaria.

Una tarde durante mi estancia en la isla me encontré en la Casa Grande, la residencia personal de Ober. Llena de frontones, la Casa Grande fue construida sobre un afloramiento de granito de la era precámbrica, como ladrillos que se balancen sobre la espalda de una gran ballena gris que emerge de la superficie del lago Rainy. Los

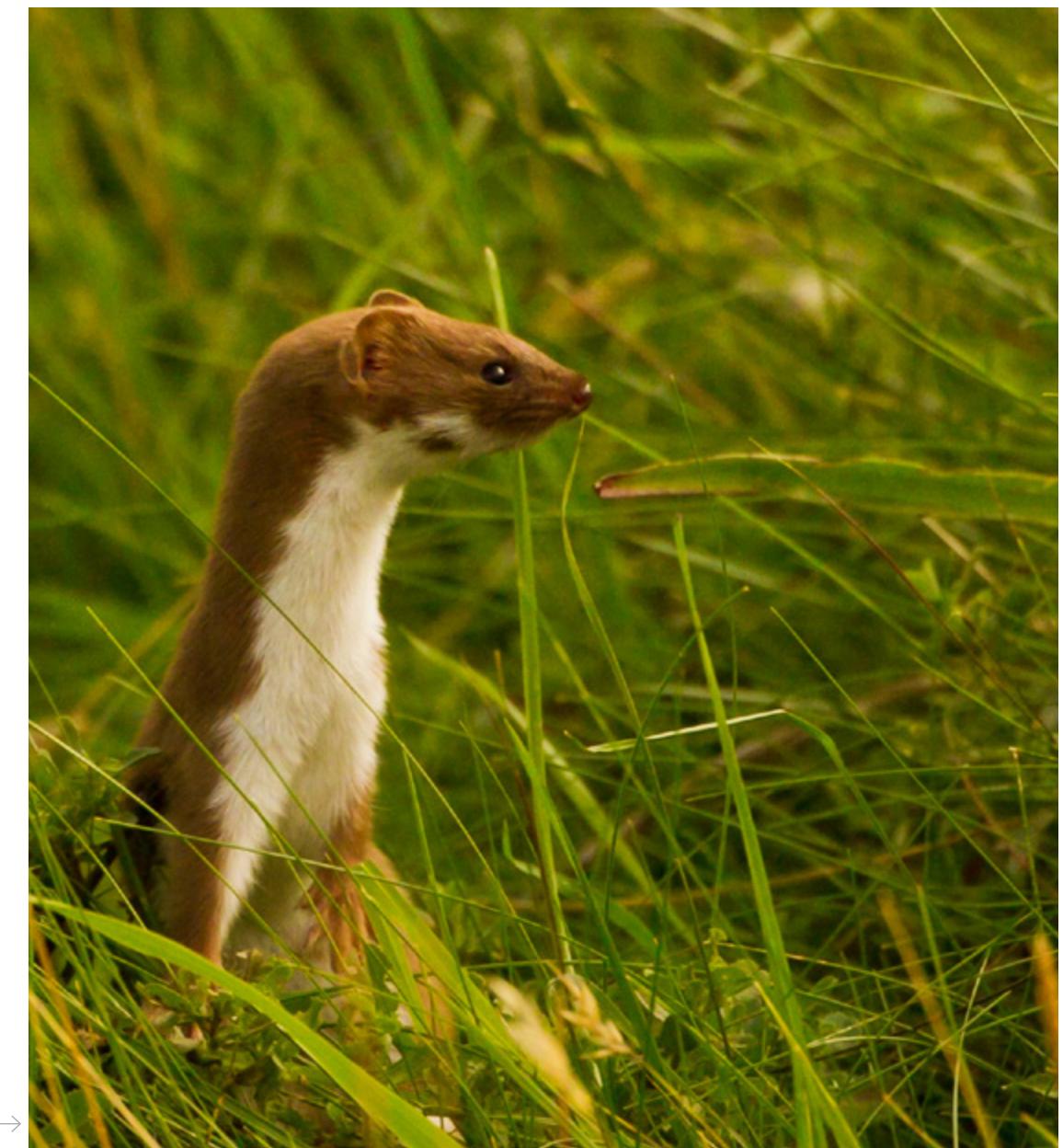


Explorador norteamericano, autor y conservacionista Ernest Oberholtzer (derecha) con el perro Skippy y trampero ojibwe y guía Billy Magee (izquierda) que sostiene la col | Wikimedias Commons



Cuscuta común

Foto: Dendroica cerulea, 2014 | Flickr cc



Comadreja

Foto: Borderslass, 2012 | Flickr cc

techos tenían escotillones que daban a rincones de lectura privados y porches cerrados con malla mosquitera asidos como percebes miradores en el segundo piso. Lo mejor de todo era la sala con una chimenea de losas del lago construida por un vecino ojibwe, Charlie Friday, cuyo espíritu, se dice, reside en esta obra a partir de su muerte. Guardada en el techo estaba la amada canoa que Ober y otro amigo ojibwe suyo, Billy McGee, usaron en un viaje por el ártico hacia las tierras desiertas de la Bahía de Hudson en 1912. Algunas de las fotografías en blanco y negro de esta travesía épica descansaban sobre un gran piano cuyas notas, junto con las del violín de Ober, había desparecido hacía mucho tiempo en los profundos montones de nieve invernal.

Fue ahí, en el brillo tenue y sepia de esta sala en los bosques del norte, sus pesadas vigas impregnadas del humo de cálidos fuegos, que mi amiga Jean Replinger, entonces directora de la Fundación Oberholtzer, me mostró la colección de Ober de libros antiguos de historia natural. Ávido lector con intereses enciclopédicos, Ober había convertido casi cada centímetro cuadrado de pared en las estructuras de la isla (con excepción de las casas exteriores) en lugar de almacén para su biblioteca de 11,000 volúmenes, incluyendo muchos de historia natural. Jean, quien se encontraba desarrollando un proyecto a varios años para catalogar los libros, sabía de alguien que nos podría ayudar a identificar a un animal que se arrastraba y que habíamos visto merodear por las playas de la isla de vecina. ¿Sería una marta americana, un visón o una comadreja común? Jean sacó un libro grueso, con letras doradas sobre una portada de piel café: Cassell's *Popular Natural History*. Volumen 1: *Mammalia*. Londres: 1860. Para nuestra sorpresa y deleite,

había un registro sobre comadrejas comunes. Así que nos sentamos en unas mecedoras y empecé a leer en voz alta. Pronto nos resultó evidente, sin embargo, que más que Cassell's *Popular Natural History* (Historia natural popular de Cassell), un mejor título para este libro sería Cassell's *Fanciful Natural History* (Historia natural fantástica de Cassell) ya que la información sobre comadrejas rápidamente se convirtió en lo que sólo puede llamarse infoentretenimiento Victoriano. Como en un cuento de hadas, la historia empezó de manera inocente:

Una noche de verano el padre del capitán Brown, el naturalista, regresaba de Gilmerton, cerca de Edimburgo, por la calle Dalkeith. Observó en las tierras altas, a una distancia considerable, entre él y el castillo Craigmillar, a un hombre que cojeaba, e iba haciendo una cantidad de ademanes absurdos, que más parecían los de un loco que los de una persona cuerda. Después de contemplar esta conducta aparentemente absurda, empezó a pensar que podría tratarse de un desafortunado maníático y, brincando la barda, se fue directamente hacia él; cuando se acercó lo suficiente, se dio cuenta de que el hombre había sido atacado y se estaba defendiendo de los ataques de una cantidad de animales pequeños, que primero confundió con ratas, pero que a vista más cercana resultaron ser una colonia de 15 a 20 comadrejas, que el desafortunado hombre estaba arrancando de su cuerpo y tratando de alejar de su garganta. Se unió al combate, y con un palo, logró pegarles a varias de ellas, dejándolas sin vida. Al ver esto, los animales se intimidaron y huyeron de prisa hacia una roca hasta desaparecer entre sus fisuras. El gentil hombre estaba exhausto después de haber librado esta

lucha con las comadrejas durante lo que a él le habían parecido más de 20 minutos; y de no ser por la afortunada y oportuna ayuda que había recibido, dijo que inevitablemente habría sido víctima de la furia de los animales, ya que sucumbían sus fuerzas dada la violencia de su esfuerzo. Enfocó su atención principalmente en evitar que llegaran a su garganta, lugar al que parecían dirigirse de manera instintiva. Se trataba de un hombre poderoso, de otra manera habría sucumbido a su ferocidad. Había estrujado a dos de ellas hasta matarlas mientras se las arrancaba del cuerpo. Sus manos estaban muy mordidas, y la sangre salía a chorros de sus heridas.

Su recuento de cómo inició la disputa fue que iba caminando lentamente por el parque cuando vio a una comadreja; corrió hacia ella e hizo varios intentos infructuosos de pegarle con una pequeña palma que tenía en la mano; al acercarse a la roca antes mencionada se puso entre ésta y el animal, cerrándole así la escapatoria; la comadreja dio un fuerte chillido y de pronto la colonia entera salió y el ataque comenzó.

¿Dónde empezar a separar los granos de la verdad de la paja? En su afán de contar una historia cautivadora, el escritor convenientemente ignora el hecho de que las comadrejas adultas no se organizan en colonias, sino que son animales primordialmente solitarios a menos que se estén apareando o criando a sus cachorros. Es verdad que cuando se sienten amenazadas, las comadrejas pueden defenderse ferozmente. Un amigo, cuya canoa una vez se acercó mucho a la playa de un lago en Minnesota donde una

comadreja hembra y sus tres cachorros estaban cazando, recuerda cómo la hembra adulto nadó desde la orilla del lago para darle a la canoa un golpe sólido de advertencia antes de intentar morder el casco con los dientes. Independientemente, aun en el poco probable caso de que el hombre de la calle Dalkeith hubiera sufrido una emboscada por parte de un grupo guerrillero de comadrejas vengativas, éste podría haber fácilmente evitado sus sangrientos veinte minutos de roce con la muerte con el simple hecho de irse del lugar. ¿Pero a quién le interesa leer acerca de una decisión tomada con sentido común? En su recuento de cuestionable historia natural, el narrador utiliza a la naturaleza como utilería en el escenario y a las comadrejas como extras anónimos en su heroico drama de fantasía. Para mí que pudo haber sido un exmilitar británico, retirado desde hacía un buen tiempo de las guerras coloniales, y aburrido por su vida campirana. En ausencia de un enemigo verdadero, hasta una comadreja puede representar un peligro al acecho dentro de un montón de piedras de campo y convertir en héroe a un excursionista ocasional.

Sin embargo, el escritor logró su objetivo de manera brillante, a pesar de la “metida de pata” biológica y el drama esponjado artificialmente. Dos décadas después, Jean, ahora de más de ochenta años, y yo podemos recordar vivamente lo cautivados que estábamos por esta historia, de tal forma que la leímos de principio a fin sin parar y reímos hasta las lágrimas. Me fascinó tanto que incluso yo mismo empecé a colecciónar libros antiguos de historia natural, de autores como Jean-Henri Fabre y Neltje Blanchan, por no mencionar, por supuesto, mi propia copia de la Historia Natural Popular de Cassell.



Pipa india

Foto: Greying Geezer, 2014 | Flickr cc



→ Muérdago de Júpiter

Foto: chloesview, 2013 | Flickr cc

¿Qué me gusta de estos escritores? Algunos de ellos, como Fabre y Blanchan, son expertos naturalistas con habilidades extraordinarias de observación de campo. A menudo traviesos e ingeniosos, cuentan con el atrevimiento lingüístico de un trapeasta y lo utilizan para tomarse extravagantes libertades de narrativa original. Por ejemplo, la brillante descripción que hace Blanchan de una planta de los bosques del norte conocida como Pipa de indio. Esta flor silvestre está clasificada como un epiparásito; es decir, la Pipa de indio aprovecha la red de intercambio de nutrientes de otro “parásito”, los hongos micorrízicos, que colonizan las raíces de otras plantas y sobreviven gracias a sus reservas de productos fotosintéticos como los carbohidratos. Al obtener sus nutrientes a través de esta red subterránea, la Pipa de indio ha prescindido de la necesidad de la clorofila que es esencial para llevar a cabo la fotosíntesis, y por eso tiene una especie de transparencia blanca cerosa.

Y sin embargo Blanchan deja claro que no cree en los “castos encantos blancos” de la Pipa de indio. En realidad es, según sus propias palabras, una “pecadora reconocida”.

Sin duda sus antepasados eran criaturas trabajadoras y honestas, que buscaban su alimento en la tierra, y lo digerían con la ayuda de hojas repletas de buena materia verde (clorofila) de la cual depende toda vida vegetal virtuosa; pero algún truhán ancestral eligió vivir de la piratería, saqueando la comida ya digerida de sus vecinos; de tal manera que la Pipa de indio fue perdiendo gradualmente el uso de partes que ya no utilizaba, hasta que

hoy la encontramos sin color y con hojas que han degenerado hasta convertirse en meras brácteas escamosas... Entre las plantas como entre las almas, existen varios niveles de reincidentes. Las plantas dedaleras, culpables solamente de cometer insignificantes latrocínios, no portan el equivalente de un uniforme a rayas y la cabeza rapada; así como tampoco lo hace el muérdago, que roba comida cruda de los árboles, y se digiere a sí misma, por lo que es apenas una deslucida planta verde amarillenta. Tales plantas, no obstante, como el orobánque, el espárrago borde, la Pipa de indio y las barbas de camarón-- que marca la etapa más baja de degradación de todos --aparecen entre los suyos con la marca del crimen, como seguramente aparecía Caín.

Con razón esta degenerada cuelga la cabeza; con razón se pone negra de vergüenza cuando se le corta, ¡como si su maldad acabara justo de ser descubierta!

En su condena de la planta malhechora, la Pipa de indio, Blanchan sólo le concede un pequeño punto de redención. Con la punta encorvada recién emergida, la planta se endereza cuando madura. “Cuando las diminutas e innumerables semillas empiezan a formarse”, relata, “erige orgullosamente su cabeza, como si fuera consciente de haber desempeñado el único acto honesto de su vida.”

La narrativa es tan buena -- y está tan equivocada, una disonancia cognitiva que no le resulta particularmente chocante al astrofísico y escritor de ciencia popular Chet Raymo quien, al igual que yo, es un fanático devoto de los escritos de naturaleza de este periodo. En su ensayo



Pipa india | Foto: crimfants, 2009 | Flickr cc



de 1994 "Drunk on Honey: Seeing Ourselves in Nature" (Ebrio con miel: viéndonos a nosotros mismos en la naturaleza), Raymo cita a la poeta Muriel Rukeyser: "El universo está hecho de historias, no de átomos." Raymo afirma que "contar historias es el trabajo de los escritores" y que los escritores de ciencias contemporáneas tienen mucho que aprender de esos antiguos escritores de naturaleza, especialmente sobre las libertades que se toman de antropomorfizar el mundo a su alrededor. "Los escritores de naturaleza hoy día son frugales en alegorías", insiste. "Nos resistimos a sacar lecciones de moralidad de la flora y de la fauna. Dudamos en desviarnos mucho de la prosa estéril e impersonal de las ciencias, temerosos de malgastar nuestra credibilidad, con miedo a no ser tomados en serio. ¿Pero por qué? Los escritores de naturaleza no son científicos. Somos escritores. Los científicos conocen mediante la disección; su método es reduccionista, analítico, con una sola visión. Los escritores conocen tejiendo tal red de similitudes que el mundo se ve completo otra vez. Los escritores de naturaleza no deben sentirse obligados hacia la ciencia; nuestra meta es estética, moral, sintética. La prosa antropomórfica puede servir para nuestro propósito".

Ahora bien, Raymo es uno de mis escritores de naturaleza favoritos, y seguiría a su prosa hasta los confines de la Tierra pero la premisa de este ensayo nos lleva hacia terrenos peligrosos, lo cual me provoca gran incomodidad. Observar al mundo no humano y verlo lleno de pecadores y santos, vírgenes y putas, trabajadores honestos y embusteros que abusan de la beneficencia, Gandalfs y Dart Vaders, es negar la soberanía de

otros seres. Como mi amigo, el ecólogo de plantas de Minnesota, Chel Anderson, lo dijo sin rodeos, "Las plantas no son nosotros."

Más aún, ver a otros seres como extensiones de nosotros mismos, en algunos casos ha generado consecuencias ecológicas desastrosas. El ejemplo más indignante puede ser la persecución de los lobos, que duró varios siglos, y la cual los cuentos de los hermanos Grimm y otros han ayudado a legitimar. Podemos agradecer a la ciencia dura --y no a más cuentos-- por revelarnos una narrativa mucho más profunda y verdadera. Para muestra, las investigaciones recientes del Parque Nacional Yellowstone. La restauración de los lobos en el parque en 1995 ha reintroducido lo que el botanista de la Universidad Estatal de Oregon William Ripple llama una "ecología del miedo", particularmente para animales como el alce. Recelosos del nuevo depredador del vecindario, los alces ahora se redistribuyen a sí mismos más ampliamente, permitiendo que la vegetación como el sauce y el álamo se regeneren de las presiones del sobrepastoreo. Esto, a su vez, ha dado a un conjunto de animales que dependen de ésta mayores oportunidades de alimentarse y reproducirse, hacer nidos y descansar. El resurgimiento ecológico ha sorprendido a los científicos.

Hay muchos otros ejemplos que no gozan del mismo perfil alto de rehabilitación en la prensa popular. Por ejemplo el muérdago. Durante años en mi excursión habitual en el desierto de Sonora, he pasado frente a un Palo fierro que albergaba a una densa maraña de muérdago en sus ramas. Un día de este verano pasado noté que un "buen samaritano", en lo que me pareció fue un ataque de justificada indignación, había arrancado cada tallo del muérdago y lo había dejado

en un montón a los pies del árbol. Cuando no se utiliza como un atractivo romántico durante las festividades, el muérdago, como la Pipa de indio, tiene la imagen de ser un gorrón que se aprovecha del trabajo honesto de otros. La planta ciertamente es un parásito en el sentido de que deriva nutrientes y agua de su planta anfitriona. La creencia popular, no obstante, es que no se puede confiar en que el muérdago coma con modales sino que se convierte en un ambicioso vampiro que termina por matar a su anfitrión.



Los resultados de investigaciones publicados en 2012, sin embargo, muestran que esta narrativa puede ser mucho más complicada de lo que se creía. De hecho, el muérdago en los bosques de Australia puede ser vital para la salud del bosque, según el ecólogo David Watson y Matthew Herring de la Universidad Charles Strut en Albury, Nueva Gales del Sur. Los científicos quitaron el muérdago de 17 lotes de estudio. Los sondeos tomados tres años después mostraron disminuciones en especies de reptiles y algunos mamíferos. Más importante aún fue la pérdida de especies de aves, que decayeron en un tercio. Ésta es una señal de alarma crítica pues la diversidad de aves se utiliza para estimar la diversidad ecológica general. Los animales que más sufrieron fueron los que escarbaban el suelo del bosque en busca de insectos. Watson y Herring observaron con detalle las dinámicas del suelo del bosque e hicieron algunos descubrimientos sorprendentes. Encontraron que las plantas que hospedan a los muérdagos, como los árboles deciduos en todo el mundo, vacían los nutrientes de sus ho-

jas antes de perderlas. Pero las plantas de muérdago no son tan frugales. Debido a que la vida es sencilla para los muérdagos, la muerte también lo es. Estas plantas no solamente sueltan hojas ricas en nutrientes, sino que además las dejan caer todo el año, proporcionando un banquete fiable para todo tipo de animales que viven en el suelo forestal.

Los científicos de Arizona Ron J. van Ommeren y Thomas G. Whitham han descubierto que los muérdagos en los enebros del norte de Arizona ofrecen beneficios igual de importantes. Los enebros, por ejemplo, producen bayas en ciclos irregulares. Las plantas de muérdago que colonizan a estos árboles, por otra parte, producen cosechas mucho más consistentes. Estudios realizados muestran que en zonas donde hay muérdago germinan hasta tres veces más vástagos de enebro que en zonas donde no hay muérdago. La razón, dicen los científicos, es que la producción constante de semillas de muérdago sigue atrayendo aves a los enebros en años austeros, un beneficio importante para los árboles ya que procesar las semillas en el tracto digestivo de las aves incrementa la probabilidad, en un factor de diez, de que el enebro germine.

¿Qué escritor necesita recurrir a la ficción cuando posee datos tan gloriosos? Como quiera, no pienso deshacerme de mi biblioteca de libros de historia natural antiguos, aunque a menudo éstos perpetúan mentiras transparentes mediante fábulas de encanto irresistible. La pregunta sigue siendo: ¿cómo descubrir nuestras similitudes en el mundo, como Raymo nos pide que hagamos, sin sucumbir a nuestra necesidad de domesticar, nuestras tendencias al miedo, nuestra propensión innata a bipolarizar al mundo en virtudes y vicios? Creo que lo hacemos al com-

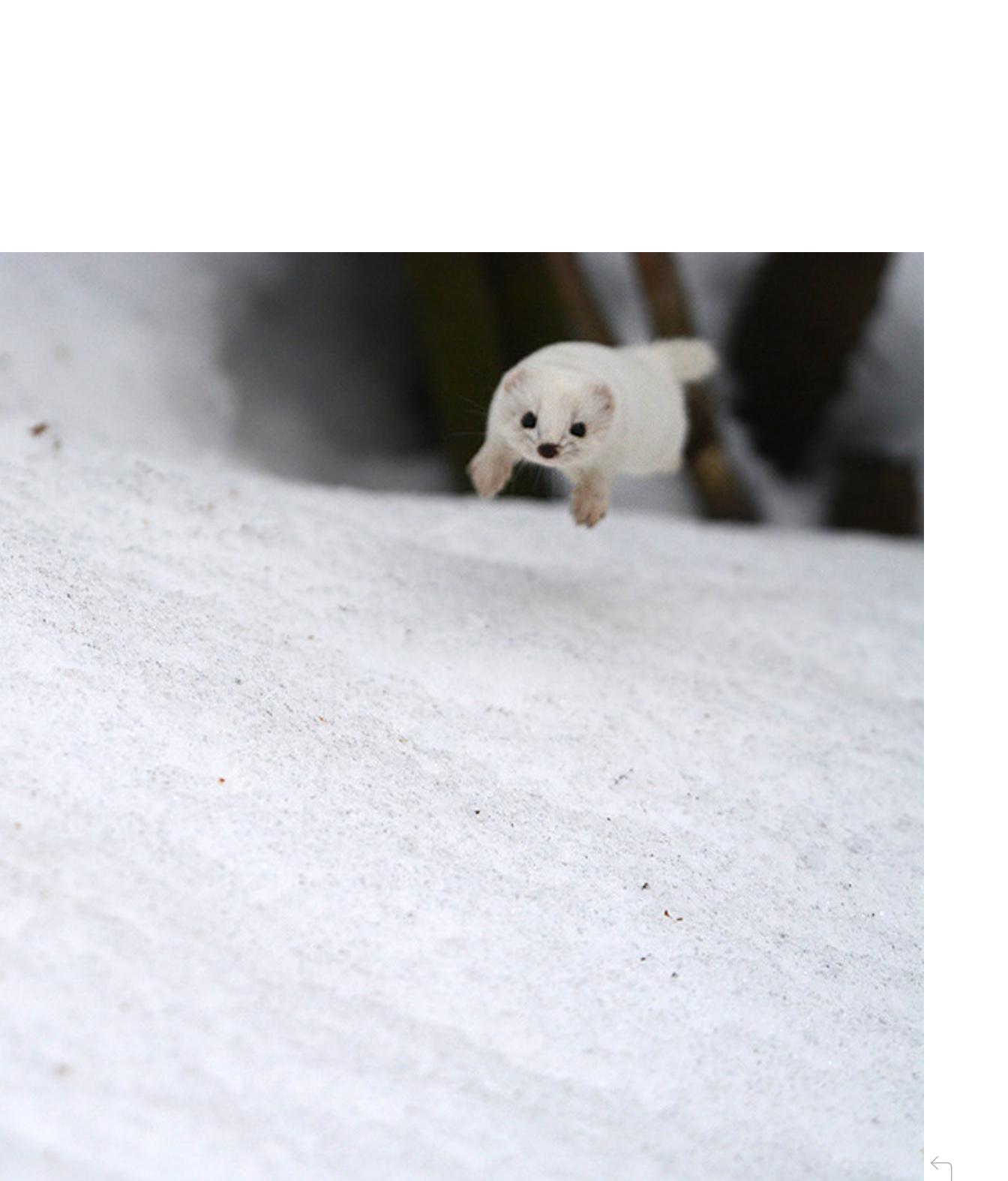
prometernos a ser fieles con la manera en que el mundo funciona realmente, dejando que los átomos cuenten sus propias historias. Sus narrativas son nuestras narrativas: cuentos de ingeniosa complejidad, adaptación implacable y una belleza que puede silenciar incluso nuestro impulso de hablar.

x



Referencias

- Watson, David M. and Matthew Herring. 2012. Mistletoe as a keystone resource: an experimental test. *Proceedings of the Royal Society B* 279: 3853–3860.
- Van Ommeren, Ron J. and Thomas G. Whitham. 2002. Changes in interactions between juniper and mistletoe mediated by shared avian frugivores: parasitism to potential mutualism. *Oecologia* 130:281-288



←

Comadreja

Foto: Sergey Yeliseev, 2015 | Flickr cc



Tábano

Foto: Soluciones macroscópicas, 2010 | Flickr cc



Libro

Ingeniería y Biomimética por *Akhlesh Lachtakín y Raúl J. Martín- Palma (editores)*

Reseña de Michael
S. Ellison

Libro:
Ingeniería y Biomimesis por
Akhlesh Lachtakín y Raúl J.
Martín-Palma (editores)

Reseña:
Michael S. Ellison

Ingeniería y Biomimesis por Akhlesh Lachtakín y Raúl J. Martín-Palma (editores)

El Doctor Michael S. Ellison es profesor emérito del Departamento de Ciencias de Materiales e Ingeniería de Clemson University en Clemson, Carolina del Sur, EEUU, y es autor de uno de los capítulos (“Textiles Biomiméticos”) de este libro.

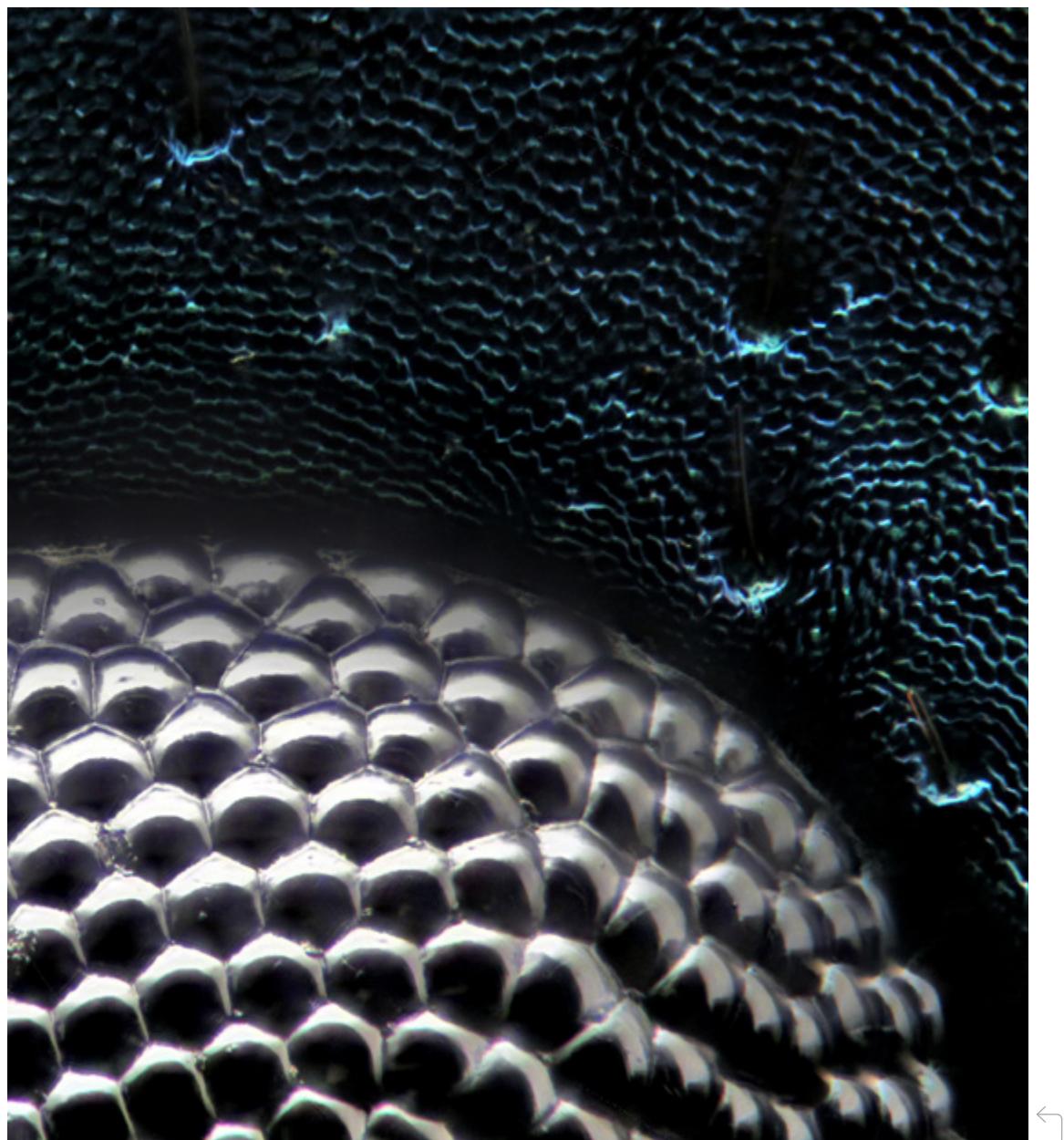
Introducción

Este libro es fundamental, más no exclusivo, para ingenieros que trabajan en el desarrollo de nuevos materiales y en la concepción de novedosos sistemas que ofrezcan soluciones a problemas sociales urgentes (tales como la sostenibilidad). Muchas de las soluciones actuales son problemáticas en sí y por tanto requieren de nuevas perspectivas para el desarrollo de materiales. Los sistemas naturales son inherentemente sostenibles y, como lo revela la contribución de H. Donald Wolpert (“Los Mejores Atletas del Mundo”), a menudo dan como resultado organismos que poseen propiedades excepcionales. Usando las Olimpiadas como metáfora, Wolpert ofrece al lector medidas del funcionamiento animal, muchas de las cuales son sorprendentes. Yo, por ejemplo, ¡no tenía idea de que los vencejos pecho blanco son capaces de volar a 349 km por hora! Hay muchos otros campeones como éste en el artículo, pero dejo en manos del lector que disfrute de estas historias.

Tesis principal del libro

La mayoría de las discusiones acerca de la manera en que la ciencia y la ingeniería difieren y sin embargo se sobreponen se resuelven en algo como lo siguiente. La búsqueda de la ciencia consta de construir un sistema ordenado de conocimiento que se deriva de múltiples observaciones. Estas observaciones se convierten en hipótesis, que luego se prueban y se comunican a otras personas para su verificación. La *ingeniería* es la aplicación de estos principios científicos en formas creativas y frecuentemente transformadoras de construir materiales y sistemas en beneficio de la sociedad.

El objetivo de este libro es apoyar un cambio en el paradigma de la ingeniería, o al menos la expansión de los recursos utilizados en la comunidad ingenieril, para ir de una postura de resolver problemas a través de la aplicación del conocimiento de las ciencias químicas y físicas a solucionar problemas aplicando también la base de conocimiento de las ciencias de la vida. Mientras que el Paradigma de la Ciencia, tal como lo propone Thomas Kuhn en *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (Prensa de la Universidad de Chicago, 1962), puede variar como resultado de una anomalía o crisis, en la visión de los editores de este libro, este cambio en el paradigma ingenieril podría facilitarse abriendo esta caja de



Aceitera o escarabajo ampolla, *Meloe angusticollis*, Coventry, CT

Foto: Soluciones macroscópicas, 2014 | Flickr cc



Aceitera o escarabajo ampolla, *Meloe angusticollis*, Coventry, CT | Foto: Soluciones macroscópicas, 2014 | Flickr cc



Libro:
Ingeniería y Biomimesis por
Akhlesh Lachtakia y Raúl J.
Martín-Palma (editores)

Reseña:
Michael S. Ellison

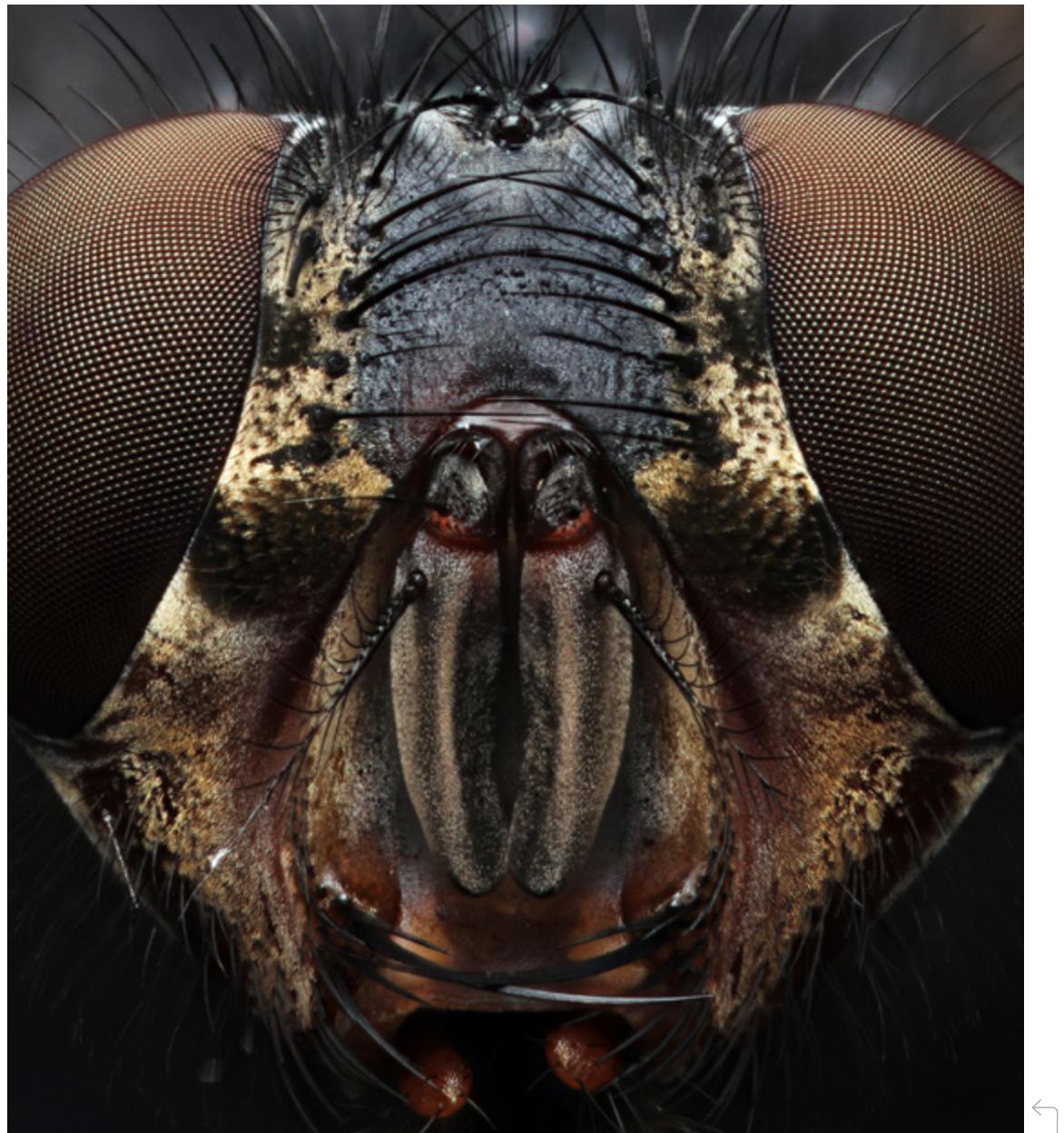
herramientas relativamente nuevas para el uso de los ingenieros. Esta revolución ha sido posible gracias a los avances en todas las ciencias, que ofrecen un entendimiento más detallado de las estructuras y funciones de las entidades biológicas. Estos avances incluyen el escaneo de electrones de alta resolución y bajo daño potencial; topografía de superficies por microscopía de sondas de barrido (SPM); proteómica precisa y de alta resolución; secuenciación precisa de nucleótidos; modelación detallada por computadora; y técnicas de medición en laboratorio con mejor resolución. Existen otros avances, algunos de los cuales se presentan en varios capítulos del libro. Armados con la vasta información acerca de la biología de los organismos, incluyendo tanto la siempre importante taxonomía como los objetivos de las funciones especializadas, estamos preparados para explotar (pretendiendo usar la palabra de manera afirmativa) los materiales y sistemas que se encuentran en el mundo natural.

Contenido y organización

La ingeniería biomimética se define en el prólogo de este libro como algo que tiene 3 elementos no excluyentes: bioinspiración (inspirado por), biomimetismo (imitación de), y bioreplicación (reproducción). En términos generales, este libro está organizado alrededor de estos tres conceptos entrelazados, de tal forma que estos tres elementos no se presentan como secciones con capítulos, sino que los elementos de hecho están entrelazados. Por ejemplo, bioinspiración es el tema general de seis de los capítulos, mientras que ocho de ellos cubren el biomimetismo, pero de dos contribuciones que abordan el tema de

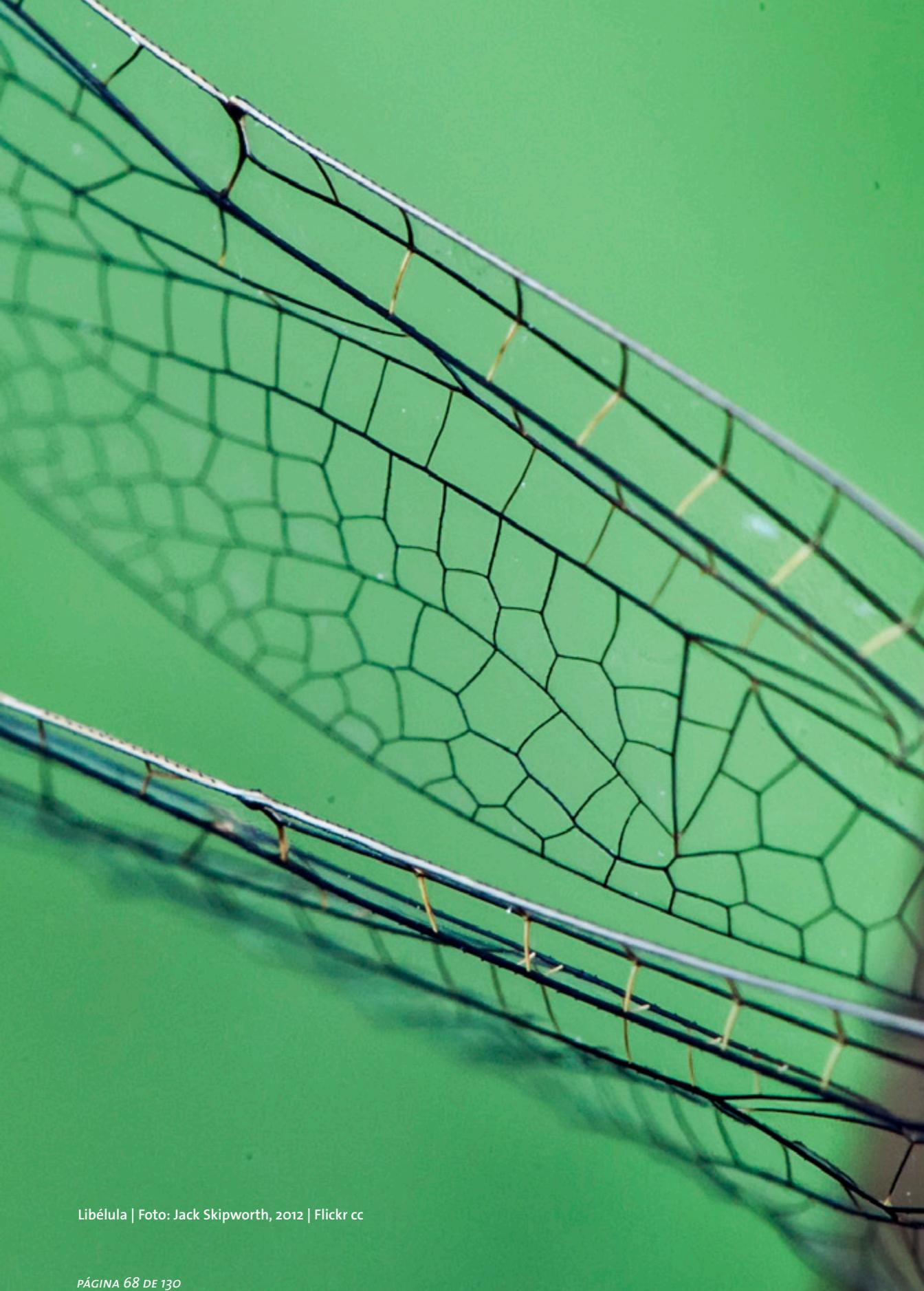
sensores, uno lo hace desde el enfoque de imitar a la naturaleza mientras que el otro es inspirado por la naturaleza. Éstos son los capítulos uno y dos del libro. Este estilo de organización no distrae, sino que por el contrario, mantiene la coherencia del contenido.

Como se mencionó anteriormente, hay dos capítulos acerca de sistemas de sensores que cuentan con análogos en la naturaleza. Uno de ellos, escrito por Cameron Wright y Steven Barrett (Universidad de Wyoming), nos provee una introducción a la óptica relevante para el desarrollo de sensores de visión biomiméticos. Comprendiblemente, le sigue una discusión de la amplia gama de órganos visuales encontrados en los animales, desde los ojos humanos de una sola lente hasta el ojo compuesto de los insectos. Los temas incluyen la detección de movimiento (analizada como modelos de gradiente, por fases y energéticos) y la respuesta a niveles de luz. El libro incluye estudios de caso y presenta el proceso requerido para desarrollar un sensor de visión biomimético. La contribución sobre sensores de Thamira Hindo y Shantanu Chakrabarty (Michigan State University) cubre la detección de los fenómenos físicos de la vibración sonora, flujo de fluidos y campos eléctricos. La Figura 2.1 caracteriza el uso de estos fenómenos por moscas, grillos y peces. Este capítulo aborda el tema con una presentación de la neurobiología del sistema de sensores, completada con figuras e imágenes para ayudar a explicar los conceptos clave, incluyendo la generación y propagación de señales neuronales. Al igual que en el capítulo anterior, estos autores informan sobre casos de estudio y sobre el desarrollo de un sensor para la localización de recursos inspirado en el estudio de los sistemas naturales.



Tábano, Coventry, CT

Foto: Soluciones macroscópicas, 2014 | Flickr cc



Libélula | Foto: Jack Skipworth, 2012 | Flickr cc



Libro:
Ingeniería y Biomimesis por
Akhlesh Lachtakín y Raúl J.
Martín-Palma (editores)

Reseña:
Michael S. Ellison

Los sistemas y materiales de la naturaleza que tienen propiedades mecánicas superiores, incluyendo dureza y resistencia, es el tema del capítulo llamado “Materiales duros biomiméticos”. Aunque la mayoría de los materiales sintéticos sacrifican resistencia para lograr dureza, hay ejemplos en la naturaleza que son opuestos a este modelo. Se analiza en detalle la contribución de la composición y tamaño de los componentes que producen el material duro y resistente de los dientes y del nácar. Estos análisis se utilizan posteriormente en el diseño de algunos métodos para fabricar materiales biomiméticos duros y resistentes.

La robótica inspirada por sistemas naturales es el tema de contribución de Ranjan Vepa (Universidad de Londres). La robótica debe incluir tanto la locomoción como la detección, así que hay un tema en común en las contribuciones sobre sensores que acabamos de discutir, en el capítulo de músculos sintéticos (mencionado a continuación) y en este capítulo sobre robótica. El capítulo sobre robótica presenta la detección y el procesamiento de señales desde la perspectiva de la robótica bioinspirada y de algunos de los requerimientos de ingeniería para diseñar manipuladores que imiten sistemas naturales. Además de los modelos de un antebrazo, se discute también el cambio controlado de forma de un alerón en el contexto de transformación controlada. El capítulo concluye presentando algunas soluciones bioinspiradas para la activación y control de prótesis de extremidades humanas.

El capítulo “Biopolímeros musculares” aborda el tema del uso de biopolímeros como activadores que imitan la función de los músculos. Después de una introducción a la anatomía y fisiología

de los músculos, incluyendo la fuente de energía (ciclo ATP/ADP) de la contracción muscular, encontramos un estudio profundo de varios tipos de músculos sintéticos, comenzando por los polímeros electroactivos (EAP, por sus siglas en inglés). Los fundamentos de la acción tipo muscular en los EAP incluyen la interacción electrotáctica, movilidad iónica, y cambios de potencial químico ocasionados por cambios de pH o reacciones redox. La temperatura se puede usar como iniciador en electretos y en cambios de la fase de cristal líquido, a través del uso del calentamiento resistivo. El capítulo concluye con una discusión sobre posibles métodos para la fabricación de músculos artificiales.

Un capítulo asociado con la bioinspiración y la biomimesis es el de “Microvoladores Bioinspirados y Biomiméticos”. Este capítulo aborda la bioinspiración desde una perspectiva diferente a la de otros en ese grupo. Aquí encontramos varios modelos mecánicos macroscópicos de pequeños objetos voladores. Los mecanismos utilizados para lograr el vuelo de dichos modelos provienen de observaciones de insectos grandes y aves pequeñas. El autor presenta abundantes datos de ingeniería sobre dinámica de vuelo y aerodinámica de diferentes perfiles de alas, y considera alas rotatorias y alas batientes junto con algunas combinaciones. El autor presenta varios modelos de microvoladores basados en esos dos tipos de locomoción en concurrencia con observaciones de los microvoladores naturales.

La bioreplicación se explora en las contribuciones que abordan la química de sol-gel y varias técnicas de deposición. Reconociendo que el lenguaje es primordial para el entendimiento, Adi-

ti Risbud y Michael Bartl (Lawrence Berkley National Laboratory y University of Utah) ofrecen una discusión importante sobre algunos de los términos empleados en la bioreplicación y posteriormente se enfocan en el tema de la química sol-gel para replicar cristales fotónicos, los cuales están presentes en las alas de las mariposas (el libro contiene un capítulo sobre colores estructurales) y en los gorgojos.

En dos capítulos se discute la bioreplicación por deposición de vapor y por deposición de capas atómicas y se consideran sus aplicaciones. Entre otros temas del libro están las discusiones sobre la autoorganización y la ingeniería de tejidos con base en la biomimesis. El último capítulo habla sobre la computación bioinspirada.

Ingeniería y Biomimesis contiene una diversidad de temas críticos para la evolución del paradigma ingenieril. Sus editores han creado un estilo coherente a lo largo del libro que es fácil de leer a pesar de la variedad de autores. Esta coherencia permite al lector establecer conexiones intelectuales aun entre varios capítulos con contenidos diferentes. Cada capítulo individual está referenciado detallada y cuidadosamente, garantizando que el tema en cuestión sea de relevancia general. Este libro es una inversión productiva de tiempo para todo aquel preocupado por resolver problemas con la ayuda de la naturaleza. X

Detalles de la Publicación

Ingeniería y Biomimesis

Akhlesh Lakhtakia y Raúl Jose Martín-Palma (editores)

Elsevier, 2013

<http://www.elsevier.com/books/engineered-biomimicry/lakhtakia/978-0-12-415995-2>

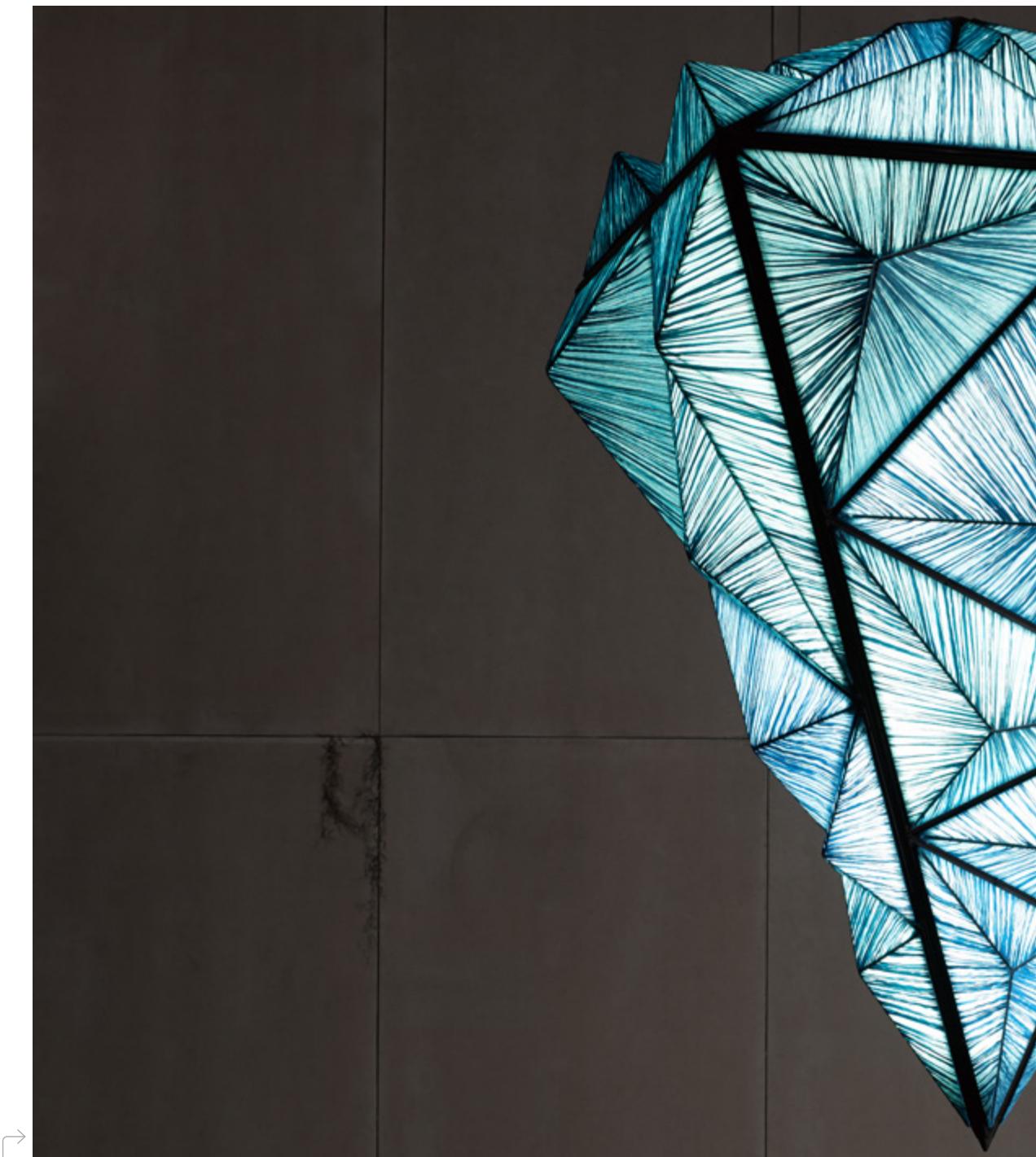
ISBN: 978-0124159952

Publicado en junio de 2013



Mosca de las flores

Foto: Jack Skipworth, 2012 | Flickr cc



→ Dos azules (Two Blues)

Imagen cortesía de Albi Serfaty



Diseño de productos

Aqua Creations

Taller de iluminación y muebles

Albi Serfaty es fotógrafo, diseñador y fundador de Aqua Creations

¿Nos puedes contar acerca de cómo te inspira la naturaleza? ¿Te inspira la forma, los patrones, la función, los procesos o los sistemas de la naturaleza?

Es difícil definir los límites entre lo que es naturaleza y, por tanto, entre lo que es y no es natural: para la mayoría de nosotros la naturaleza es aquello que experimentas cuando sales al campo con tu ropa de explorador, cualquier cosa que no ha sido producida o alterada por el ser humano. De aquí surgen algunas preguntas; por ejemplo ¿son naturales los bosques hechos por el hombre, o más bien sembrados por el hombre? ¿Las plantas que tengo en mi casa forman parte de la naturaleza?

Y mis pensamientos, ¿son “naturales”? Si la naturaleza es algo tan universal, podría yo decir que lo que me interesa es la naturaleza prístina, pura, “limpia” (ejemplo de esto, mis fotografías de nubes tomadas desde un avión). Ésa es la cla-

se de naturaleza inmaculada que hace surgir mis emociones y me incita a tomar esas fotografías. En mis diseños, trato de transferir esas emociones al usuario-espectador, por decirlo de alguna manera, con la esperanza de que la pieza que he creado adquiera vida propia.

¿Quién o qué te inspira creativamente? ¿De qué te “alimentas” más?

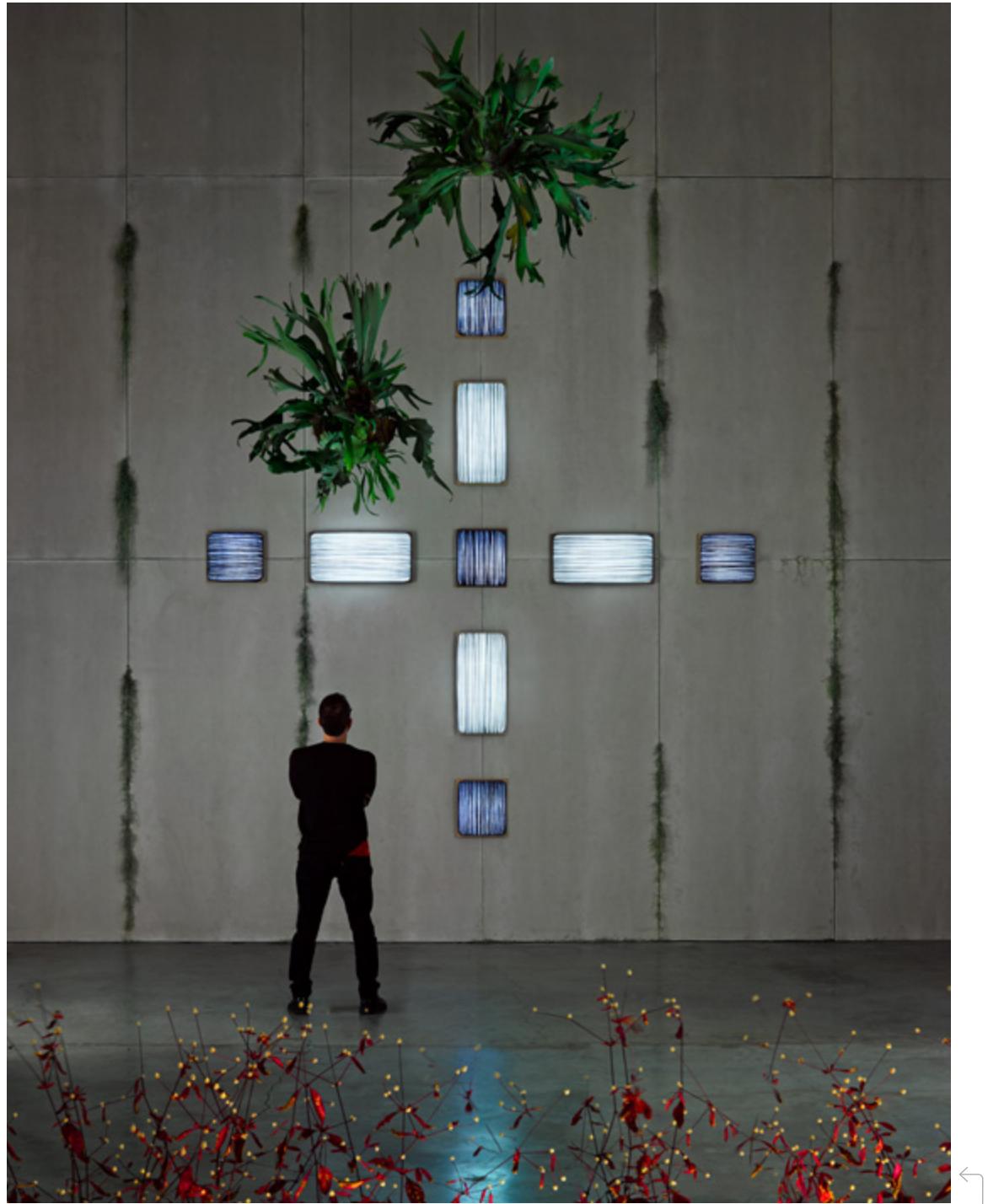
Me atraen las cosas que son bellas casi a la perfección, sin importar si son creadas por el hombre o naturales, sin importar si son abstractas o lo que llamamos reales: nubes, montañas, gente, música, arte, literatura, amor, ideas, pensamientos... Observo y espero hasta que veo algo. Entonces me quedo ahí y trato de memorizar ese momento como la fuente de donde surge mi trabajo. A veces regreso a ese mismo sitio con mi cámara, y a veces dibujo o escribo algo que me recuerde a ese momento. Hay una anécdota sobre Albert Camus que en sus cuarenta regresa a la ciudad querida donde nació después de estar ausente durante veinte años. Quiere saber si puede volver a sentir las mismas emociones a pesar del paso de tantos años, y para su absoluta sorpresa lo logra.

¿En qué estás trabajando en este momento? ¿Algún proyecto interesante que nos quieras compartir?

De momento estoy trabajando en dos proyectos. Uno se llama “Live & Let Dye”: imprimo fotografías mías en seda usando una impresora Epson de formato grande, y luego yo y las personas que trabajan conmigo rompemos la seda en nuestra



Albi Serfaty



Simon Says ↗

Imagen cortesía de Albi Serfaty

manera tradicional de hacerlo y la aplicamos sobre la pantalla de una lámpara. Es un gran gozo para mí porque combina dos de mis pasiones personales en un solo trabajo - la fotografía y el diseño. El segundo proyecto en el que estoy trabajando se llama "Memento Mori". Se trata de una serie de placas hechas de piedra y madera. Uso piedra gris cruda de una cantera al norte de Galilea, propiedad de un amigo mío. Uno de los muchos lados de la piedra se queda crudo mientras que el resto se pule, luego digitalizo el lado crudo de la piedra y genero un archivo en 3D. En la máquina de grabados en madera de Aqua Creations aplicamos la superficie digitalizada en el lado de madera, que se ajusta perfectamente con el lado "negativo" de la piedra. El resultado es una hermosa combinación de piedra cruda y caoba estilizada mecánica y digitalmente. Es imposible crear dos placas que sean iguales, cada una es diferente - así como no hay dos piedras que sean iguales en la naturaleza.

x

¹ Nota del traductor: *Live and Let Dye* es un juego de palabras de la frase "*Live and Let Die*" (vive y deja morir) en la que *Die*, morir, se cambia por *Dye*, que significa teñir o pigmentar.



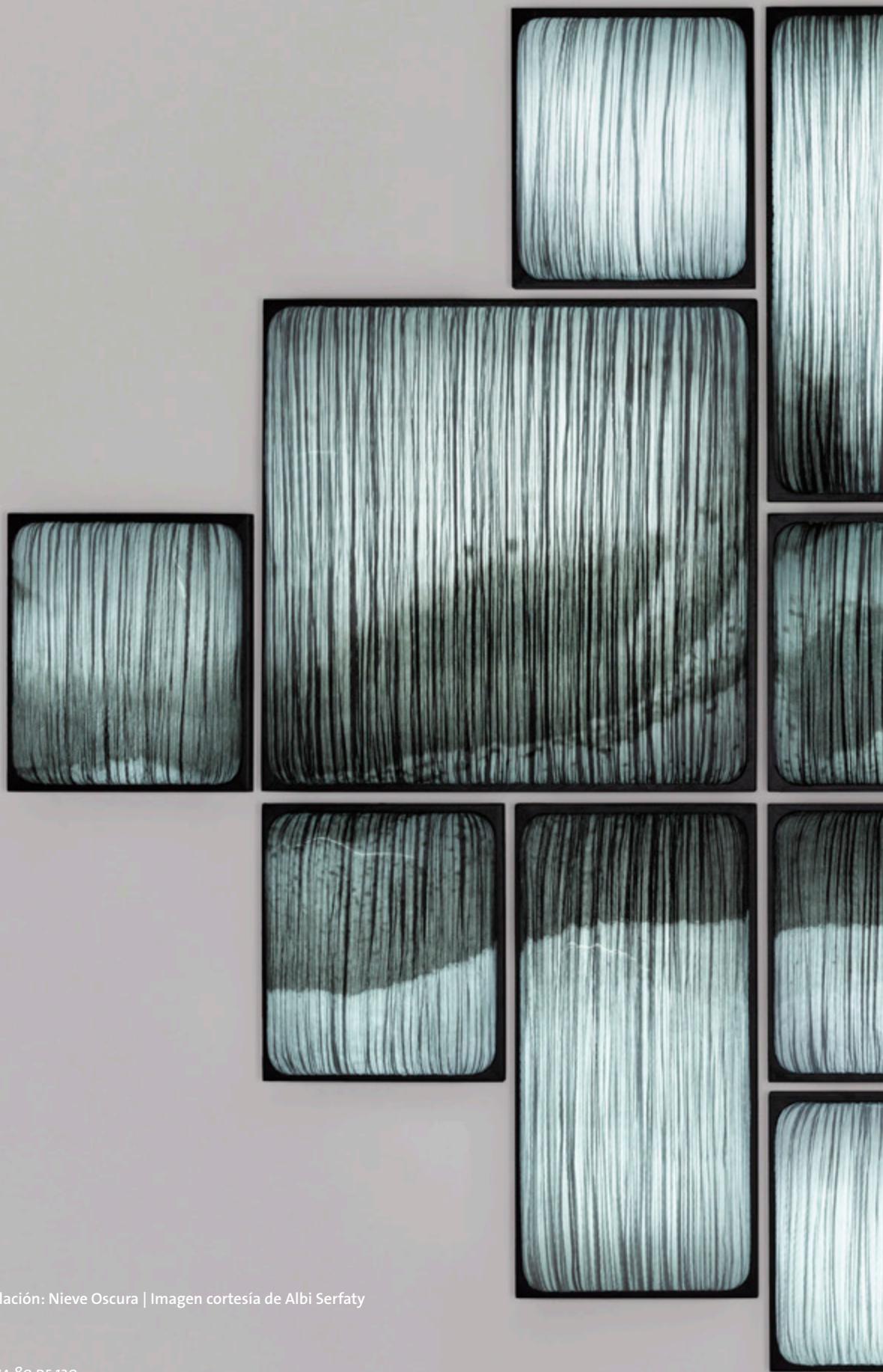


Simon Says ↗

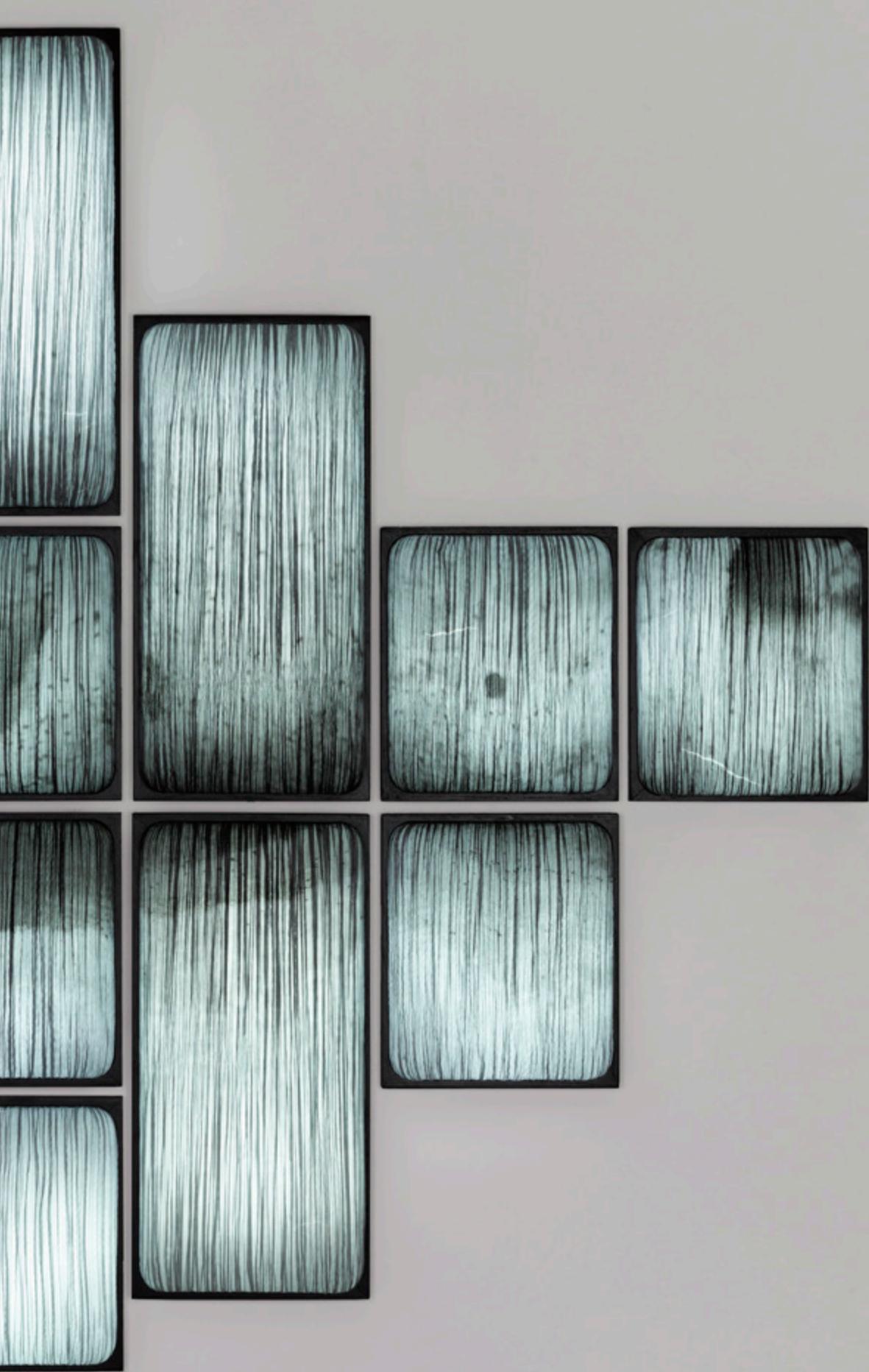
Imagen cortesía de Albi Serfaty



Nieve Oscura | Imagen cortesía de Albi Serfaty



Instalación: Nieve Oscura | Imagen cortesía de Albi Serfaty





Dos azules (Two Blues) |Imagen cortesía de Albi Serfaty





Pared zoológica | Imagen cortesía de Albi Serfaty





tlvlondonedinburg | Imagen cortesía de Albi Serfaty



Pared zoológica | Imagen cortesía de Albi Serfaty





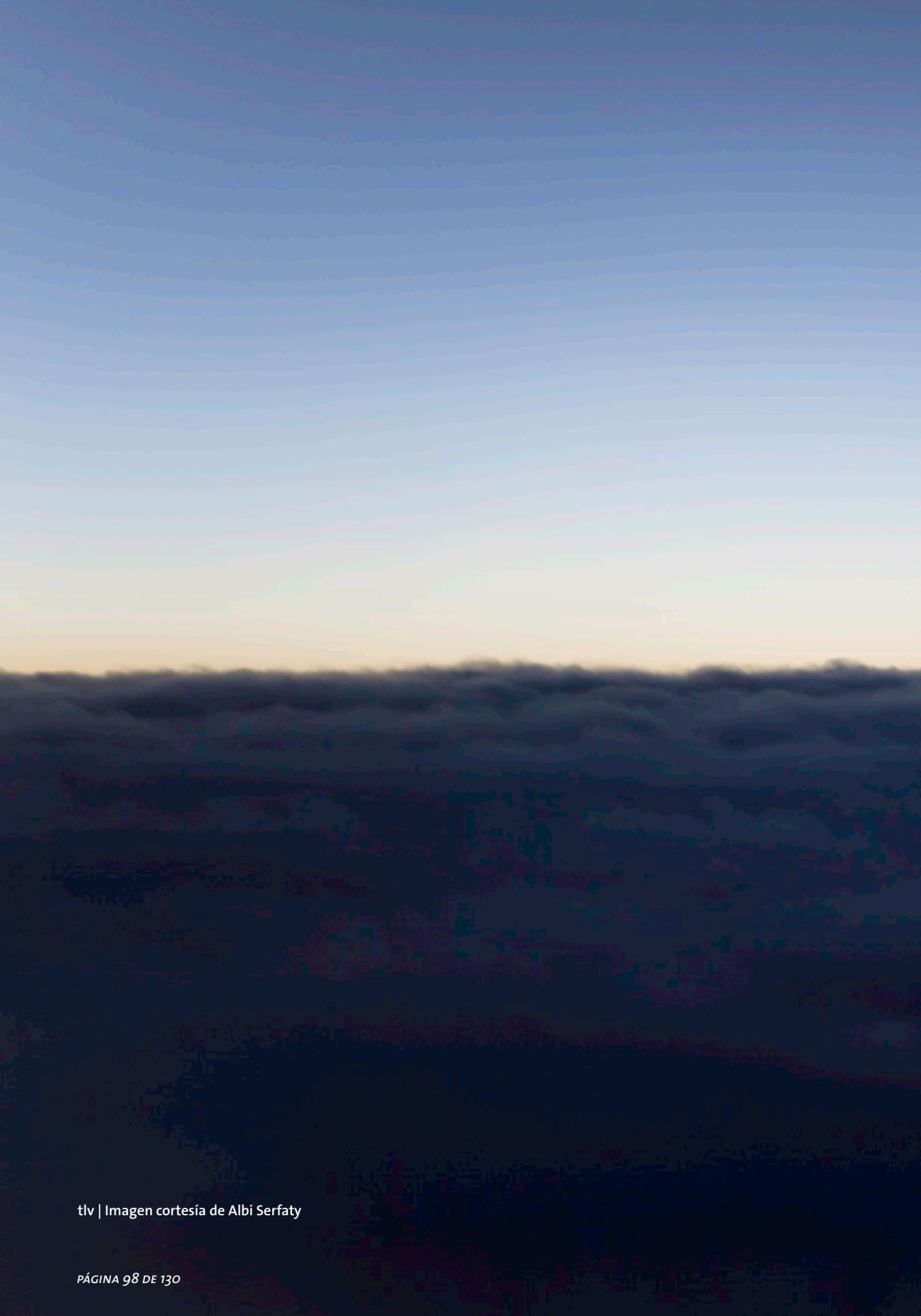
A-50 | Imagen cortesía de Albi Serfaty



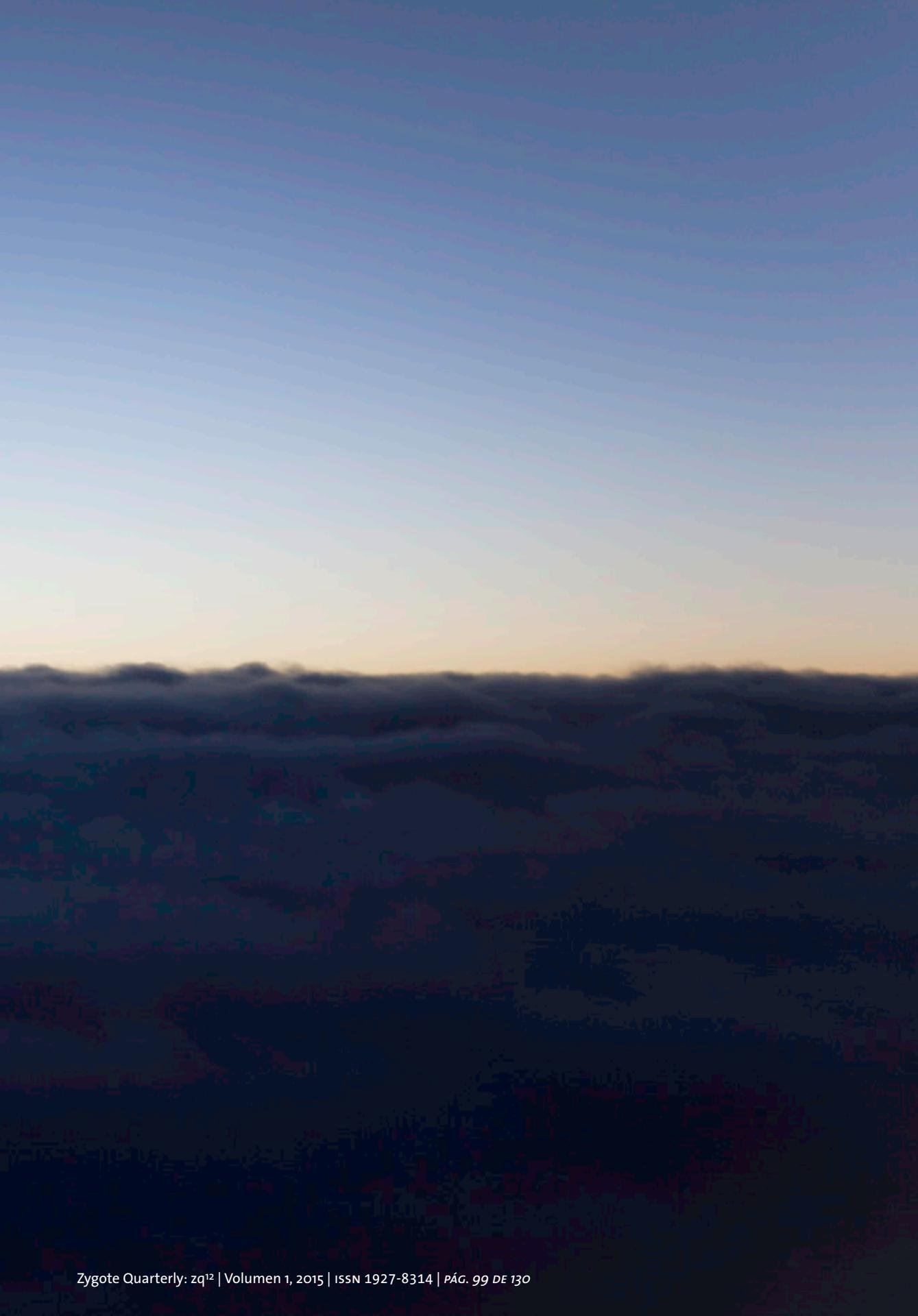


Amarillo | Imagen cortesía de Albi Serfaty





tlv | Imagen cortesía de Albi Serfaty





Colmenilla

Foto: ressaure, 2011 | Flickr cc



Personas

Entrevista con

Blaine Brownell, Marc Swackhamer, y Michael Ellison



VarVac Wall 2 (Pared 2)

Foto cortesía de Marc Swackhamer



Personas

Entrevista con

Blaine Brownell y Marc Swackhamer

Blaine Brownell es un arquitecto, e investigador Fulbright, enfocado en materiales y aplicaciones emergentes. Es director de la oficina de investigación y diseño Transstudio, además de ser profesor adjunto y director del programa de posgrado de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Minnesota. Brownell es autor de la serie *Transmaterial*, así como de los libros *Matter in the Floating World* (Materia en un mundo flotante) y *Material Strategies* (Estrategias materiales), publicados por Princeton Architectural Press. Además, escribe la columna *Mind & Matter* (Mente y materia) para la revista *Architect*. Ha publicado en más de 40 revistas de diseño, negocios y ciencia; y ha impartido conferencias en América, Europa y Asia. El nuevo libro de Blaine, que escribió junto con Marc Swackhamer, se llama *Hypernatural: Architecture's New Relationship with Nature* (Hipernatural, la nueva relación de la arquitectura con la naturaleza) y se publicó en marzo de 2015.

Marc Swackhamer obtuvo su licenciatura en Arquitectura en la Universidad de Cincinnati en 1995 y su Master en Arquitectura de Rice University en 1997. Su investigación explora la relación entre la función y el ornamento, en desarrollos específicos mediante producción digital y técnicas de fabricación. Tiene una sociedad, llamada HouMinn Practice, con el Professor Blair Satterfield, de British Columbia University. El trabajo reciente de HouMinn reconsidera a las herramientas de fabricación en sí para desafiar las técnicas actuales de construcción y de producción de materiales. Por este trabajo, en 2014 HouMinn ganó un premio de Investigación y Desarrollo de la revista *Architect* y el premio al diseño Core77. Además de dar clases prácticas y teóricas de diseño, el profesor Swackhamer da cátedra sobre diseño "hipernatural". Como resultado de este esfuerzo, el trabajo de sus estudiantes ha sido reconocido con el premio nacional de educación AIA COTE 2007 (Comité de Medio Am-

biente, por sus siglas en inglés), y en 2013 un equipo de estudiantes de posgrado resultó finalista en el "Desafío Estudiantil de Diseño Biomimético" (Biomimicry Student Design Challenge), patrocinado por el Biomimicry 3.8 Institute. Actualmente está escribiendo un libro junto con el profesor Blaine Brownell. El Profesor Swackhamer es profesor adjunto y Director de la Escuela de Arquitectura.

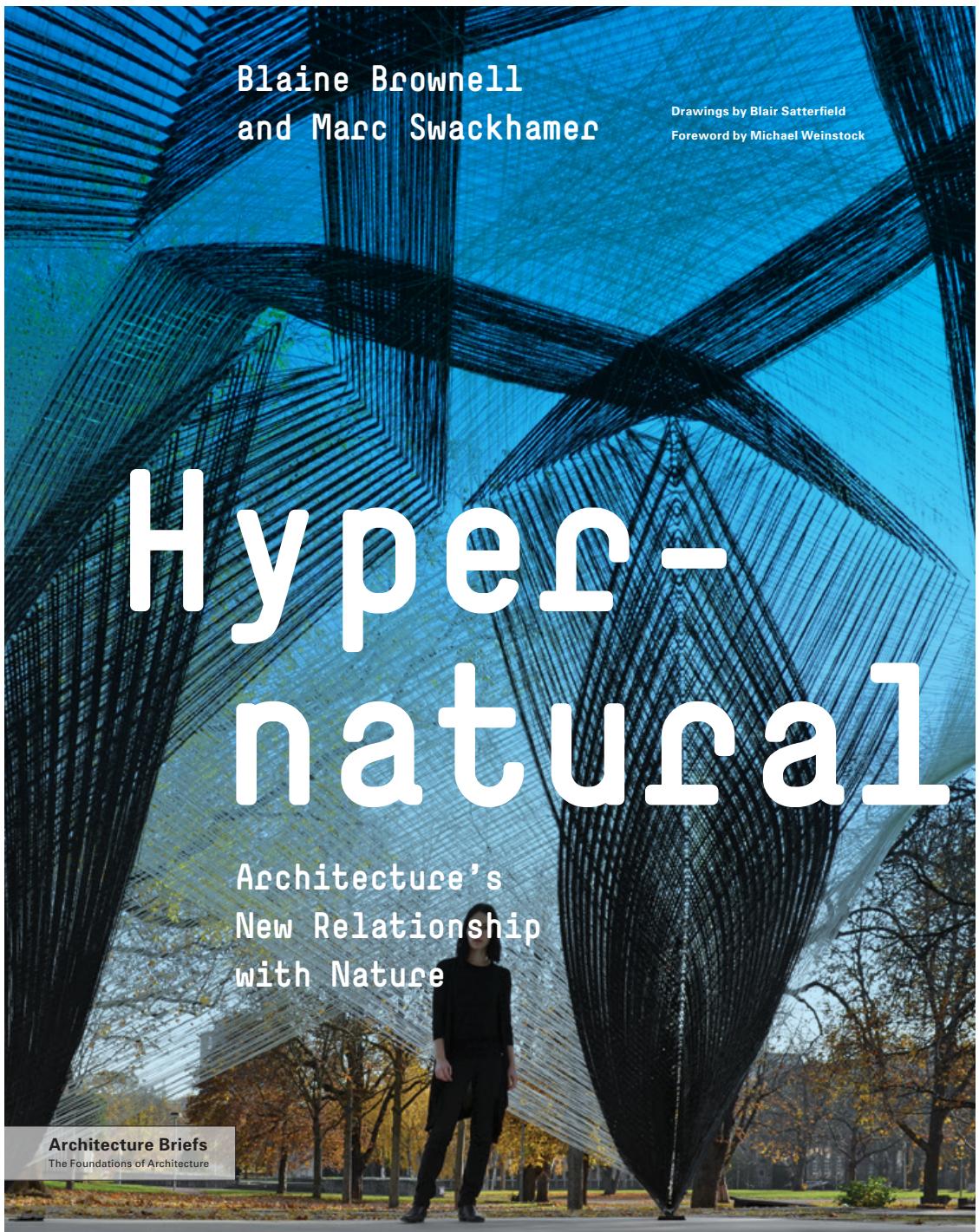
¿Cuáles son sus impresiones acerca del estado actual del diseño inspirado en la biomimesis o bioinspirado?

Blaine: En los últimos diez años, el movimiento de biomimesis/biodiseño ha recibido un impulso tremendo. Se están desarrollando muchos avances muy importantes en un amplio espectro de las artes y de las ciencias, basados directamente en el funcionamiento de organismos, procesos y fenómenos naturales. Los productos de este movimiento podrían ser verdaderamente revolucionarios.

Marc: A pesar del potencial, en mi opinión, la profesión actual de diseño biomimético o bio-inspirado se encuentra en un estado de incertidumbre. Creo que no ha agarrado la fuerza que podría, sino que se ha mantenido en la periferia de la mayoría de las disciplinas de diseño. Se necesita un nuevo lenguaje que abarque una gama más amplia de formas de trabajar sintéticamente con los sistemas naturales.

¿Cuáles consideran que son los retos más grandes?

Blaine: La naturaleza es, obviamente, profundamente compleja y parte de lo divertido de



Blaine Brownell
and Marc Swackhamer

Drawings by Blair Satterfield
Foreword by Michael Weinstock

Hyper-natural

Architecture's
New Relationship
with Nature

Architecture Briefs
The Foundations of Architecture



VarVac Wall 1 (Pared 1) | Foto cortesía de Marc Swackhamer



la biomimesis tiene que ver con buscar la comprensión. Se han estudiado y emulado funciones naturales específicas como la autolimpieza o la adhesión repositionable; sin embargo, entender cómo trabajan los sistemas e interdependencias más grandes es un reto mucho mayor.

Marc: El mayor reto, desde mi perspectiva, es empujar el campo más allá de su fase experimental. Para que las lecciones que hemos obtenido de los sistemas naturales tengan un impacto más profundo en algunos de los retos que nuestro planeta enfrenta, necesitamos que haya progreso en la práctica comercial y no solamente en la academia o en los laboratorios de investigación.

¿En qué áreas nos deberíamos de estar enfocando para avanzar en este campo?

Marc: Pensamiento sistémico, de gran escala. Un sinfín de dispositivos, tecnologías, materiales y avances químicos han surgido del proceso del diseño bioinspirado. Sin embargo, yo pienso que donde la naturaleza tiene el mayor potencial de influir nuestro entorno construido es en el área del paisajismo y diseño de ciudades. Si podemos empezar a pensar en nuestras ciudades como ecosistemas vivientes, con sus propios metabolismos, en los que cada componente es dependiente y está conectado con otro, tendríamos mayores posibilidades de producir ciudades que sean adaptables y resilientes.

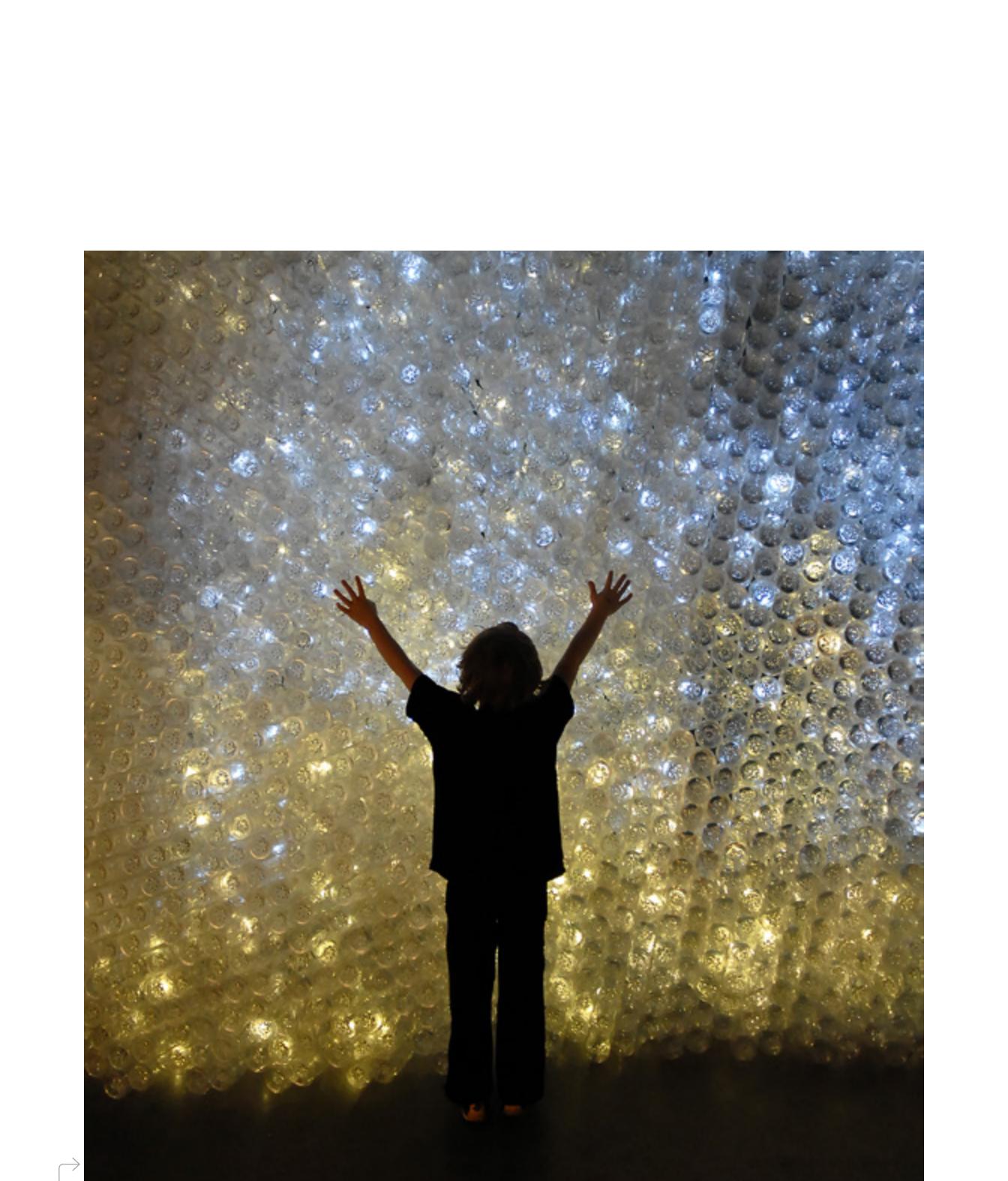
Blaine: Debemos seguir investigando las intersecciones entre la biomimesis y la sostenibilidad. No todos los procesos naturales satisfacen nuestra definición de sostener el entorno construido (e.g., epidemias virales), y no todos los enfoques

de diseño sostenible son compatibles con nuestros sistemas naturales (e.g., aislamiento con base en petróleo). Sin embargo, los métodos que satisfacen ambas definiciones representan algunas de las direcciones más prometedoras para el diseño.

¿Cómo han desarrollado su interés en el diseño biomimético o bioinspirado?

Blaine: Mi interés por el diseño biomimético o bioinspirado, así como por las ciencias naturales en general, surgió a partir de mi asombro por la profunda belleza y misterio del mundo natural. Me di cuenta de que las corrientes más novedosas de desarrollo de materiales que yo estaba investigando se relacionan de manera muy cercana con estos movimientos.

Marc: Hace como ocho años, Janine Benyus dio una conferencia en nuestra institución. A partir de esa conferencia, el director de nuestro Centro de Investigación en Construcción Sostenible, John Carmody, y nuestra Directora de Departamento, Renee Cheng, me invitaron a desarrollar un taller basado en los principios de la biomimesis. Aunque mi perspectiva sobre el tema ha evolucionado con el tiempo, todavía recuerdo con cariño aquel primer taller de diseño de posgrado. Janine y su socia en el Biomimicry Guild, Danya Baumeister, fueron muy gentiles en ayudarme a desarrollar el primer plan de estudios. Desde entonces he impartido la clase, en una u otra versión, unas 6 ó 7 veces. Muchos de los principios establecidos en ese primer curso siguen siendo centrales para la manera en la que abordo la clase hoy día. Estoy eternamente agradecido con



→ Pared PET (polietileno)

Foto cortesía de Blaine Brownell

John, Renee, Janine y Dayna por animarme a que me dedicara a este tema tan increíblemente interesante.

¿Cuál es su mejor definición sobre lo que hacen?

Marc: Investigamos, probamos y diseñamos en la confluencia de los sistemas naturales y la tecnología.

Blaine: Estudiamos el mundo natural con profunda intensidad, humildad, y mente abierta – e intentamos sintetizar nuestros descubrimientos dentro de la práctica creativa.

¿Bajo cuál criterio deberíamos juzgar nuestro trabajo?

Blaine: Deberíamos juzgar el trabajo por qué tan bien adopta los principios naturales, qué tan bien se desempeña y qué tan bien se relaciona holísticamente con ecologías profundas.

Marc: Claridad, belleza, eficiencia, resiliencia, adaptabilidad y economía.

¿En qué están trabajando en este momento?

Marcy Blaine: Actualmente estamos impartiendo un taller de diseño de arquitectura de posgrado para el semestre de primavera 2015, y en el otoño tenemos planes de presentar una exposición en el Museo de Diseño Goldstein de la Universidad de Minnesota, relacionada con la publicación de nuestro libro *Hipernatural*.

¿Qué trabajo/imagen han visto recientemente que realmente les haya emocionado?

Blaine: El pabellón de investigación ICD/ITKE 2013-14¹, cuyo diseño está basado en investigaciones de la estructura interna y desempeño de los caparazones de los escarabajos.

Marc: Sé que el Pabellón de Seda de Neri Oxman ha sido publicado ampliamente y cualquier persona que lea esto lo conoce. Sin embargo, creo que su notoriedad es bien merecida. Ha abierto el discurso bioinspirado en formas nuevas y profundas. Ya no hablamos exclusivamente sobre imitar a la biología. Ahora estamos explorando el asociarnos con los sistemas naturales mismos para el diseño y fabricación de nuestro trabajo. Genera preguntas importantes acerca de la autoría, el control y el papel del diseñador.

¿Cuál es su obra biomimética favorita?

Blaine: BacillaFilla, un área de concreto hecha de microbios vivos (técnicamente, éste es un trabajo de bioutilización, no de biomimesis).

Marc: Mi ejemplo es uno que ha existido desde hace miles de años, pero sigue asombrándome, y acabo de descubrirlo recientemente al escribir *Hipernatural*. Se trata de los puentes peatonales poéticamente elegantes que crecen de las raíces de plantas de hule en India, llamados Puentes Vivientes Meghalaya. Para producir estas asombrosas estructuras, primero se extienden troncos huecos de árboles de nuez de areca o betel sobre los lechos de los ríos a manera de guías. Las raíces delgadas de los árboles de hule se insertan a través de estos armazones y posteriormente se arraigan a los lados opuestos de los espacios sobre los que se extienden. Conforme

¹ Institute for Computational Design - ICD (Instituto para el diseño computacional) / Institute of Building Structures and Structural Design – ITKE (Instituto de estructuras para la construcción y diseño estructural) de la Universidad de Stuttgart

los árboles de hule maduran, sus raíces se hacen más gruesas y se entrelazan para formar celosías robustas. Aunque estos puentes pueden tardar hasta 15 años en formarse, llegan a durar cientos de años y pueden abarcar una extensión de hasta 100 pies.

¿Cuál fue el último libro que disfrutaron?

Marc: He estado leyendo muchas novelas últimamente. Realmente disfruté *El Círculo* de Dave Eggers. Se trata de la inevitable erosión de la privacidad que surge de la continua presión de los medios sociales por lograr la transparencia personal. La tecnología pronosticada por el libro tiene conexiones intrigantes con la biología, especialmente las diferencias que existen entre los ecosistemas mono y policulturales y la teoría de los enjambres.

Blaine: Junya Ishigami, *Another Scale of Architecture* (La otra escala de la arquitectura)

¿A quién admiran? Por qué...

Marc: Admiro a mi coautor de este libro, Blaine Brownell. Es un colaborador incansablemente productivo, con una amplia perspectiva, y me ha animado a que considere el campo de diseño bioinspirado en formas completamente nuevas que además, en mi opinión, ayudan a impulsar el diálogo hacia adelante.

Blaine: Yo definitivamente admiro a Marc también. ¡No puedo imaginarme a un mejor colaborador! También admiro a Blair Satterfield, cuyos diagramas para *Hipernatural* son algunos de los mejores dibujos que he visto en las ciencias y las artes; también a Michael Weinstock, cuyo pro-

fundo prefacio para nuestro libro ejemplifica su intuición y fundamental importancia como investigador y educador en este campo.

¿Cuál es su frase o cita favorita?

Blaine: “La mejor forma de predecir tu futuro es creándolo.” – Abraham Lincoln

Marc: “Experiencia es simplemente el nombre que le damos a nuestros errores.” – Oscar Wilde

¿Cuál es su idea de felicidad perfecta?

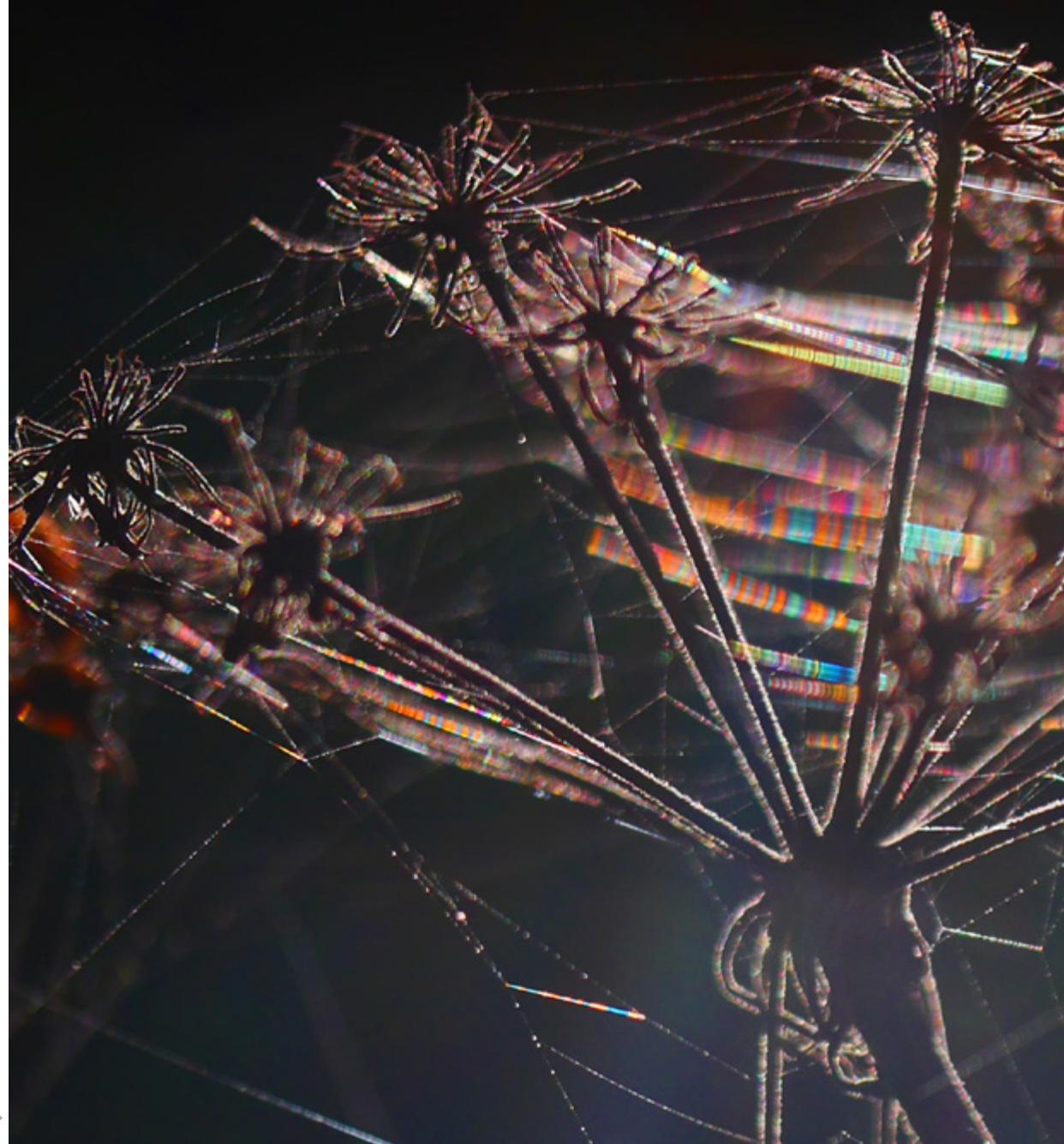
Marc: Arremangarme las mangas y resolver un problema difícil de diseño, trabajando y colaborando con un grupo pequeño, pero diverso, de personas interesantes.

Blaine: Mi idea de la felicidad perfecta es estudiar el mundo viajando con familia y amigos a destinos que estimulan mi pensamiento.

¿Si pudieran escoger otra profesión o rol, quién/que serían?

Blaine: Si no fuera arquitecto/educador, sería un fotógrafo itinerante de arquitectura, paisajes y ciudades.

Marc: Probablemente un artesano, ebanista o productor. Disfruto enormemente trabajar con las manos y siempre busco formas para hacerlo más. Creo que trabajar con las manos ejercita una parte diferente del cerebro que cuando escribimos o hablamos. x



Carrusel

Foto: fOtOmoth, 2014 | Flickr cc



Personas

Entrevista con

Michael Ellison

Michael S. Ellison es profesor emérito del Departamento de Materiales, Ciencias e Ingeniería en Clemson University, en Carolina del Sur, EEUU. Tiene título y posgrado en Física y un doctorado en Física de Fibra de Polímeros (1982) del campus Davis de la Universidad de California (UC). Después de permanecer un tiempo en UC Davis como científico investigador, ingresó como miembro de la facultad de la Clemson University en 1984. Se convirtió en profesor a tiempo completo en 1998 y fue Director Interino de la Escuela entre agosto de 2003 a enero de 2005. Sus investigaciones abarcan las fibras de polímeros naturales y sintéticas, incluyendo la seda de araña como material biológico que sirve de inspiración para el desarrollo de nuevas fibras. Junto con colegas de la Escuela de Arquitectura de Clemson, está desarrollando materiales arquitectónicos únicos. Imparte clases sobre las propiedades físicas de las fibras y sobre la producción de fibras sintéticas mediante extrusión caliente. Cuando no está enseñando, toca música tradicional irlandesa y norteamericana en violín.



El dedo que aparece en esta fotografía pertenece a la Sra. Janci (Ketner) Despain. Fue alumna mía de posgrado cuando apenas había arrancado el programa de investigación sobre seda de araña. Junto con la Dra. Jackie Palmer, Janci tuvo un papel clave en la instalación de la tienda de campaña donde se albergaban las arañas. La araña que aparece en la fotografía es una araña de Seda de oro (*Nephila clavipes*), uno de los especímenes de los cuales hemos obtenido seda. Foto cortesía de Michael Ellison

¿Cuál es tu impresión sobre estado actual del diseño inspirado en la biomimesis o diseño bioinspirado?

Actualmente deambulamos por el paisaje, explorando y emocionándonos con lo que encontramos. Un aspecto importante de este tipo de investigaciones es definir caminos a lo largo de nuestro recorrido y construir puentes hacia las disciplinas de otros transeúntes. Así podemos encontrar nuestro camino de regreso al lugar donde estábamos cuando empezamos la búsqueda; el campo de la biomimesis es tan fascinante que es fácil perder el rumbo. La comunidad de biomimesis ha hecho varios descubrimientos y ha establecido cimientos sólidos sobre los cuales seguir avanzando.

¿Cuáles consideras que son los mayores retos?

El reto que sí podemos vencer es seguir construyendo un lenguaje común entre las ciencias físicas y químicas, y las ciencias biológicas. No sólo en términos del lenguaje, sino también en compartir entre los practicantes la epistemología particular de estas ciencias básicas. En mi experiencia al establecer el grupo de biomimesis en Clemson, algunos de los conceptos más fundamentales de la ciencia de materiales tenían significados diferentes para los biólogos del grupo. Por ejemplo, en la ciencia de materiales "cristalización" significa la conglomeración sistemática de unidades elementales en un punto reticular. Me di cuenta de que para los biólogos este concepto también puede significar la formación de dímeros y trímeros proteicos, un proceso al que yo llamaría polymerización (o la formación de oligómeros).



Araña tejedora de oro

Foto: Clicksy, 2010 | Flickr cc

Por supuesto que el lenguaje utilizado por los biólogos moleculares para describir la genética con frecuencia me resultaba ajeno. Los muchos mundos que confluyen en la biomimética a menudo utilizan la misma jerga para referirse a cosas sutilmente distintas.

¿En qué áreas deberíamos estar nos enfocando para avanzar en el campo de la biomimética?

Están los materiales, por supuesto, que la naturaleza utiliza para mantener la infraestructura del mundo natural. Esta área está repleta de posibilidades, no sólo a nivel molecular y supermolecular, sino a todas las escalas. En septiembre de 2014, el canal de televisión PBS de los Estados Unidos transmitió una excelente presentación de la BBC sobre investigaciones recientes acerca de la relación que existe entre los castores y su extraordinario entendimiento de la hidrología, y el restablecimiento de humedales. El método de producción de estos materiales es tan importante como los materiales en sí. Los métodos son, en el lenguaje actual, sostenibles. Bien nos haría confeccionar nuestra propia versión de “sostenible”, una que funcione para nuestras necesidades.

¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?

Los seres humanos poseen sistemas extremadamente exitosos de reconocimiento de patrones complejos. Lo que hacemos en la biomimética es aplicar esos sistemas de reconocimiento de patrones para evaluar los patrones que se observan en los puntos en común entre nuestras necesidades o deseos y lo

que encontramos en la naturaleza. Por ejemplo, en la formación de fibras a partir del hilado fundido de polímeros que pasan por una fase transitoria de cristal líquido (CL), las condiciones de esa transición son críticas. Hay una fase de transición CL en el conducto de las arañas cuando forman su seda. Entender los comportamientos de la fase CL en ambos sistemas es primordial para mejorar el proceso estándar de formación de fibras y para crear un proceso y producto biomiméticos. De este modo podremos empezar a sintetizar maneras de asimilar lo que hemos aprendido.

¿Bajo qué criterios podríamos evaluar las obras?

Lo primero la simplicidad elegante y la funcionalidad. Luego hacer el mayor bien causando el menor daño posible. Utilizo el término “menor daño” porque la termodinámica nos enseña que todo tiene un coste energético y de entropía. Por tanto, como diseñadores, debemos considerar el impacto que lo que estamos haciendo produce en otros residentes de nuestro planeta.

¿Qué proyectos ejemplifican tu enfoque?

Soy, en esencia, un físico de materiales, así que mi enfoque ha sido estudiar los materiales y sus métodos de producción. El programa que iniciamos en Clemson University se enfocó inicialmente en la biología molecular del hilo rígido de la seda de araña, sus métodos de producción y sus propiedades materiales asociadas. En un inicio seguimos los pasos de muchas otras personas en este campo,



Esperando

Foto: hyper7pro, 2010 | Flickr cc



Araña tejedora de oro | Foto: jack 246, 2012 | Flickr cc



construyendo las secuencias de ácido nucleico conocidas en el material genético que produce la proteína de la seda, produciendo clones en bacterias y colectando y analizando el producto. Varios de nuestros alumnos aprovecharon esta formación para avanzar más en los esfuerzos de producción de seda sintética. En mi laboratorio también estudiábamos la disposición real de los aminoácidos en la superficie de fibras de lana utilizando métodos basados en microscopía de fuerza atómica con punta funcionalizada y superficies activadas de nanopartículas vistas desde un microscopio electrónico de barrido. Hoy por hoy, nos está funcionando utilizar este enfoque para determinar la disposición de aminoácidos en las superficies de la seda de araña. El objetivo final de este trabajo es mejorar nuestro entendimiento de las relaciones que existen entre la secuencia de las proteínas como una medida de la estructura del material y las propiedades resultantes.

¿Cómo te iniciaste en el diseño biomimético o bioinspirado?

Estaba escuchando una conferencia acerca de los temas relacionados con el desarrollo de arterias artificiales y los problemas de rechazo. Pensé que utilizando tecnologías de ADN recombinado para fabricar una fibra con base en la biología de la propia persona se podría evitar que el cuerpo del individuo la rechazara. ¡Qué ingenuo era entonces! Como lo expresó en términos simples mi amigo el biólogo molecular Bert Abbott, “eso sería bastante difícil de lograr”. Así que intentamos algo más sencillo aún: empezamos a observar las sedas de las arañas y sus fundamentos genéticos. Debido a

que mi área de experiencia era (y sigue siendo) la ciencia material de las fibras, me emocionó mucho la posibilidad de estudiar los procesos y materiales de las sedas naturales como fuente de inspiración, para finalmente desarrollar una fibra biomimética.

¿Qué imagen u obra has visto recientemente que te haya emocionado mucho?

Una fue el programa especial de la BBC/PBS sobre los castores que mencioné anteriormente. Podríamos aprender mucho de sus habilidades para la hidrología y entender que lo aparenta ser una plaga no siempre lo es. Disfruté mucho la conferencia magistral sobre la baba de los mixinos (Myxinidae) dictada por Douglas Fudge durante la reunión de la Sociedad de Fibras celebrada en el otoño de 2014 en la Universidad Drexel. Ese es otro material que debemos estudiar.

¿Cuál es tu obra biomimética favorita de todos los tiempos?

No tengo una obra favorita. Siempre me ha encantado el trabajo de Fritz Volrath y el de Randy Lewis, incluyendo el trabajo subsecuente de sus alumnos, y mis conversaciones con Julian Vincent son inevitablemente ricas, gratificantes y entretenidas.

¿Cuál fue el último libro que leíste?

Sigo disfrutando de la traducción al inglés de *The Old Gringo*, de Carlos Fuentes. (Farrar, Straus and Giroux, NY, 1985).



↗ Saco de la Araña tejedora de oro

Foto: Clicksy, 2010 | Flickr cc

¿A quién admirás? Por qué...

A Richard Feynman. Su amplio intelecto y habilidades de comunicación son famosas. J.S. Bach, cuya música presagia mucho de lo que consideramos improvisación moderna en la música. Picasso, cuyo arte nos enseña acerca del espacio y del tiempo.

Si pudieras elegir otra profesión o papel a desempeñar, ¿qué o quién serías?

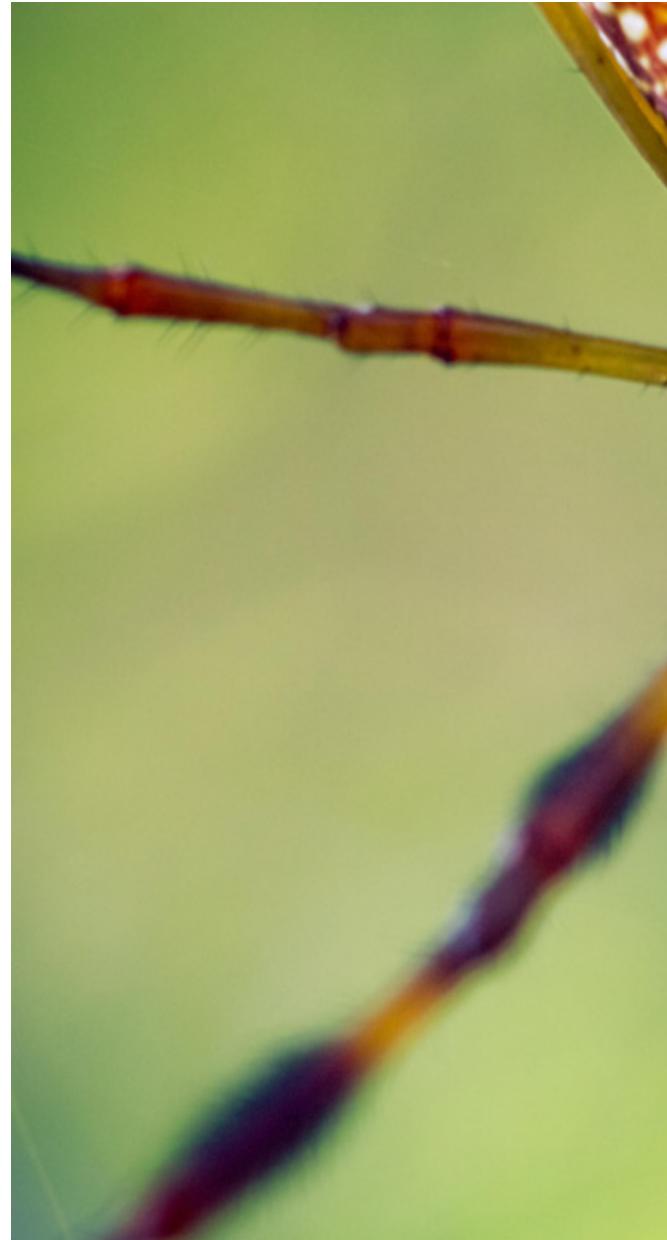
Creo que el camino que elegí, el de un académico, es para el que soy más apto. No escogería otro.

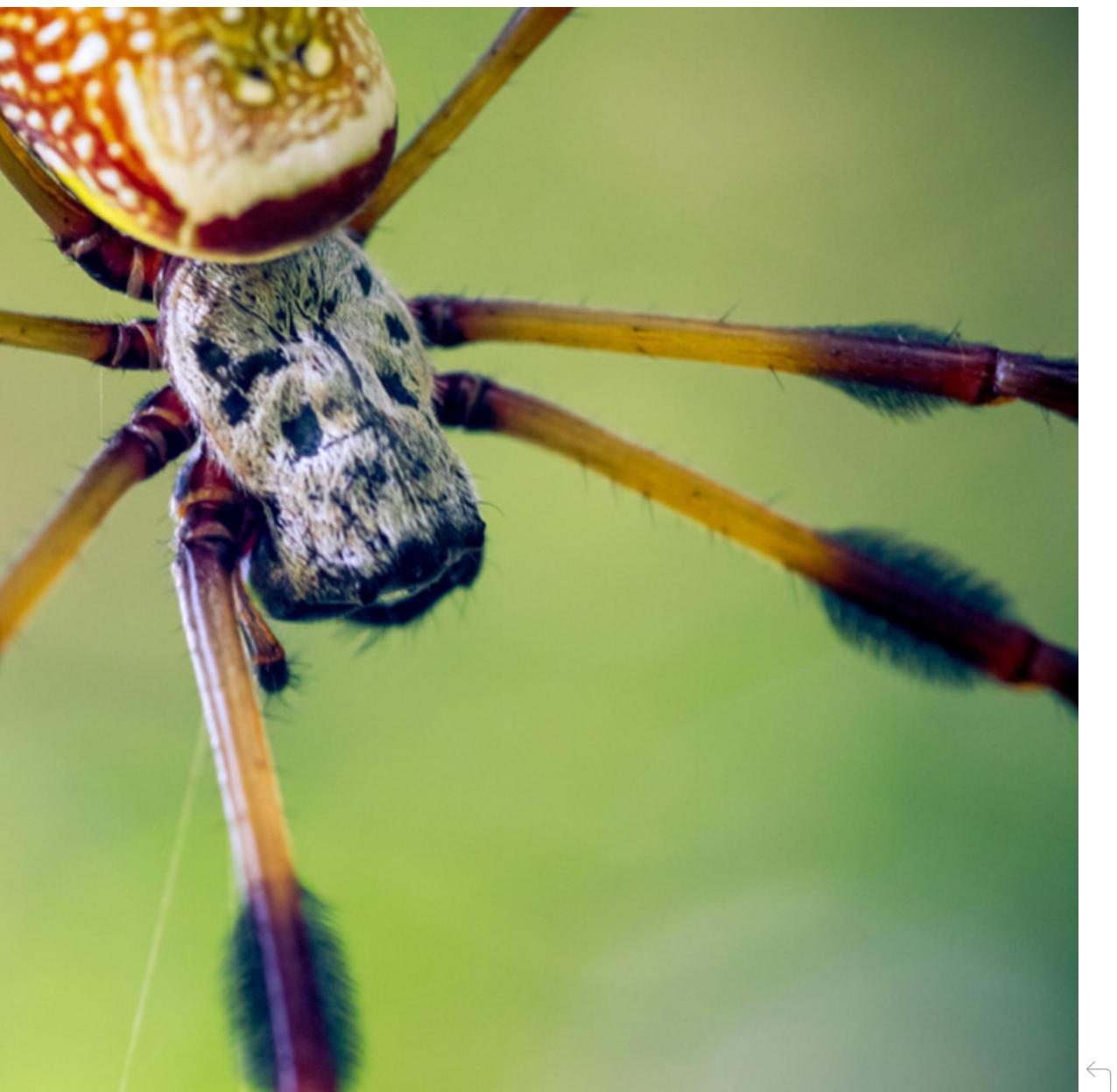
¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

Tener interacciones positivas con mis alumnos, ser creativo en mis investigaciones y luego tocar música con mis amigos es un ejemplo de un día feliz. Pero la felicidad perfecta es una meta elusiva. Pertenecer y contribuir a una comunidad diversa y solidaria es importante: las ecologías diversas son estables y “somos interdependientes”.

Si no fueras científico/diseñador/educador, ¿qué o quién serías?

Violinista a tiempo completo. Ahora que estoy jubilado, estoy trabajando hacia esa meta, a la vez que me desempeño como socio en una granja “natural”, aunque no “orgánica”, que produce carne de res, cerdo y pollo “pastoreados”. ×





Tejedora de seda de oro (*Nephila clavipes*) ↗

Foto: kellyv2012 | Flickr cc



→ *Nepenthes ampullaria* Plantas jarro

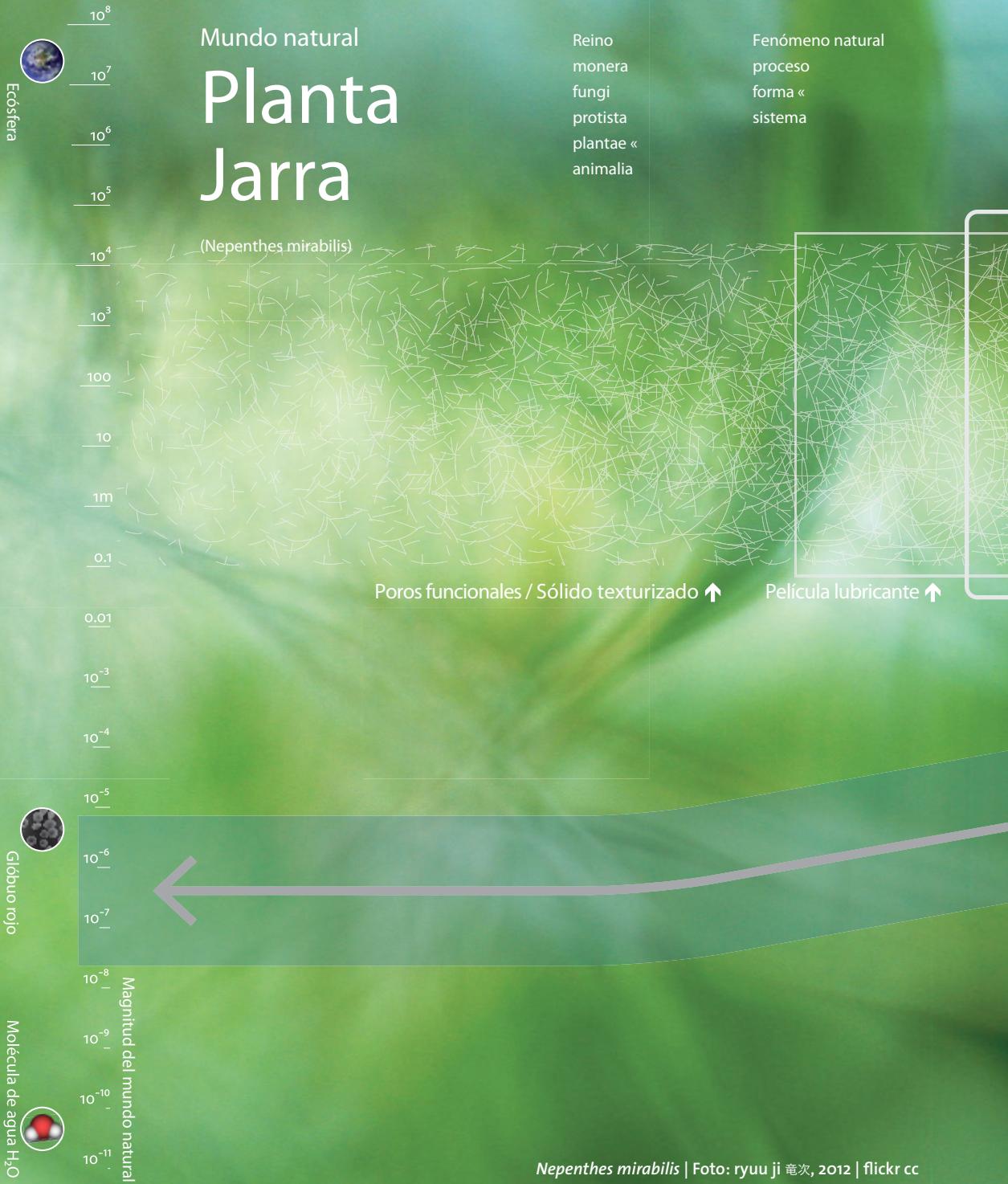
Foto: AnSchieber, 2012 | Flickr cc

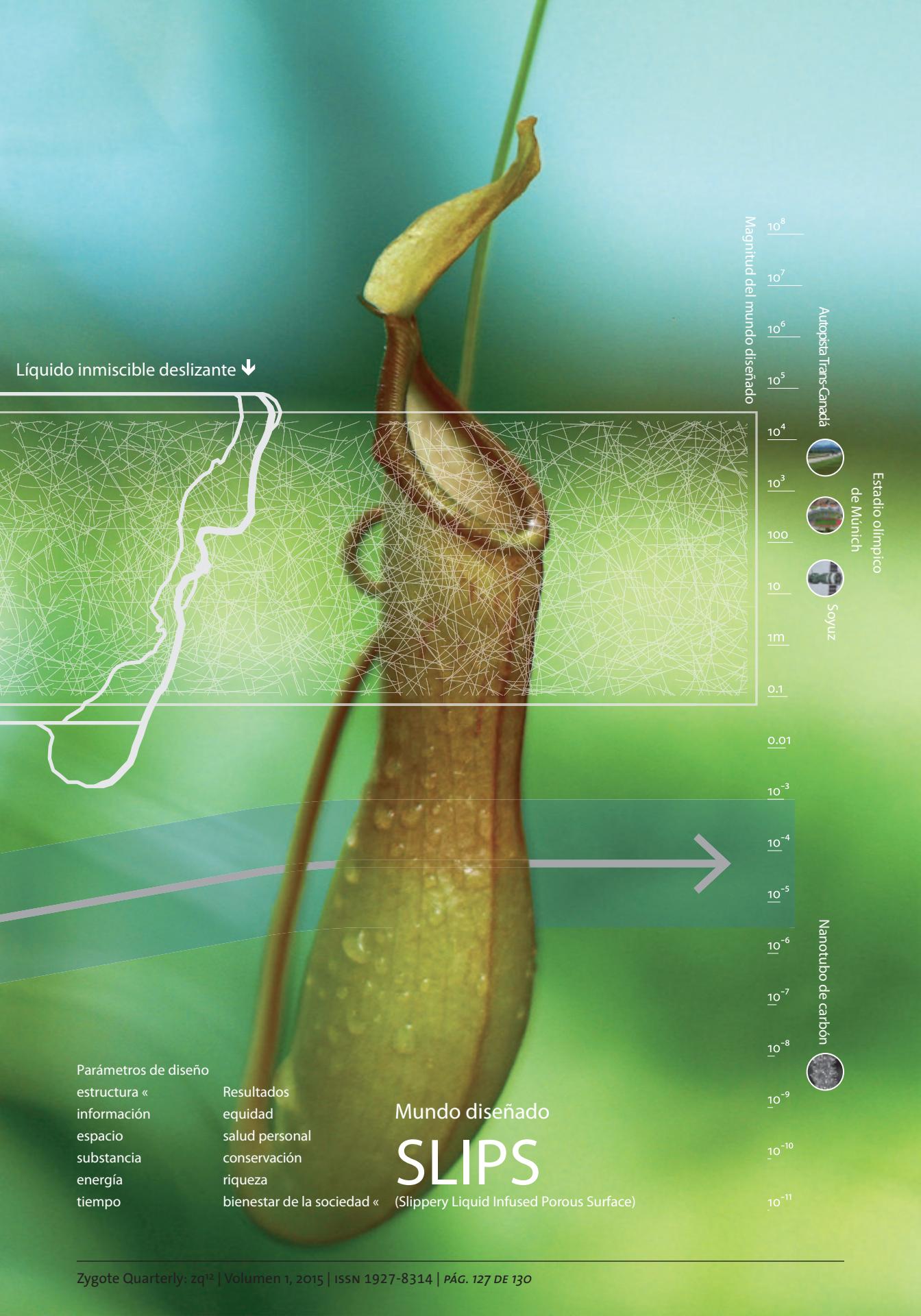


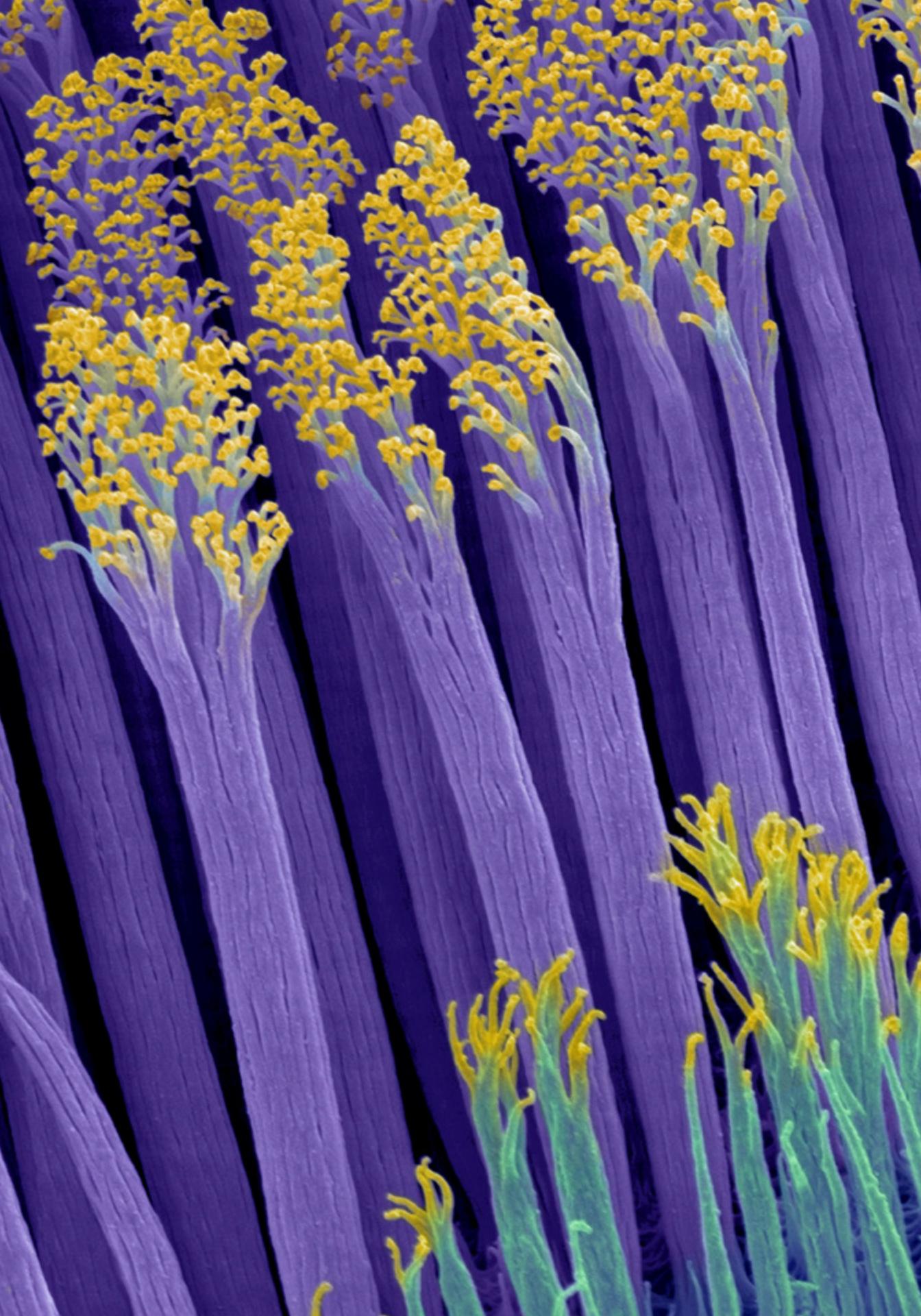
Infografía

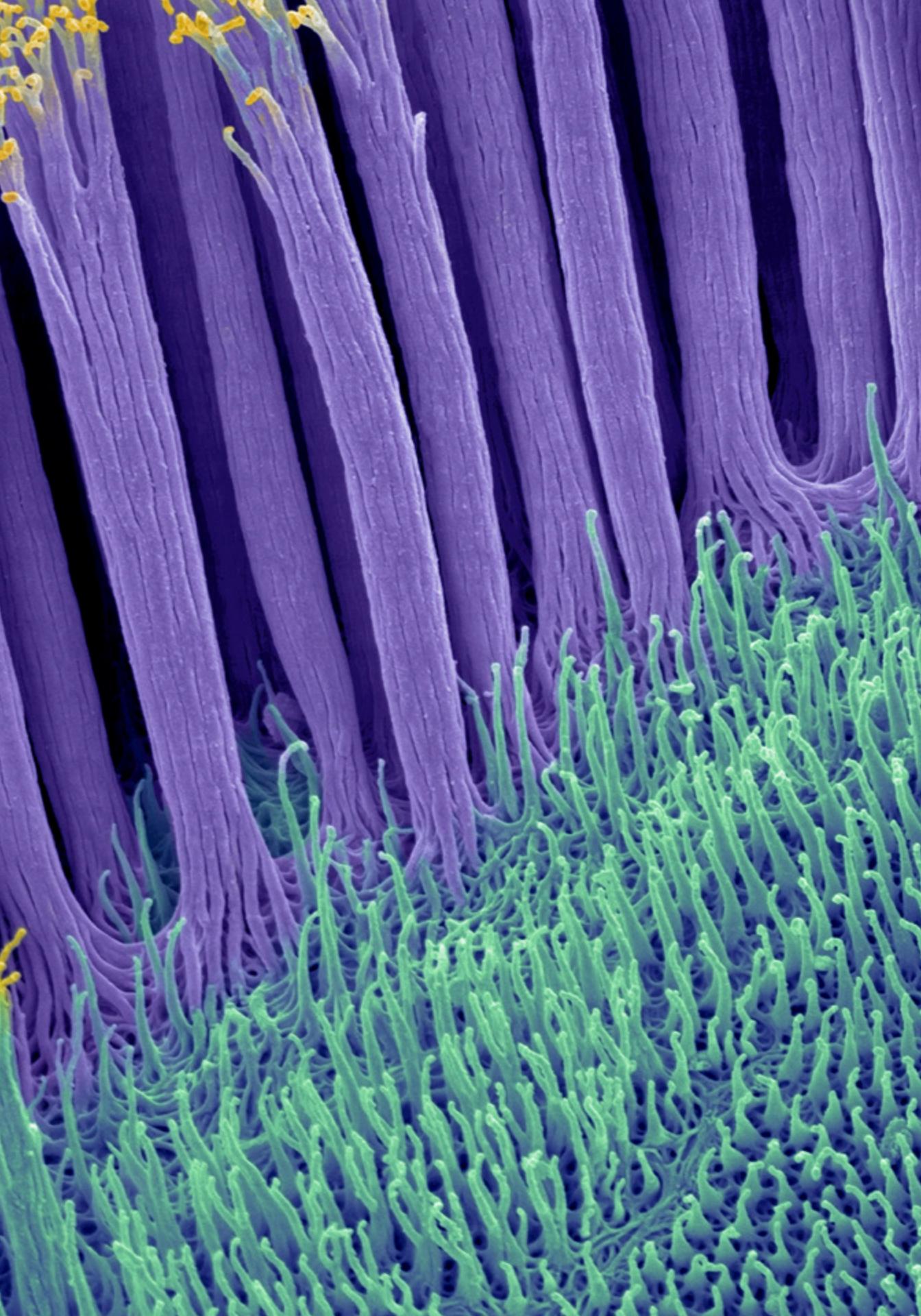
El regreso de la cosa del pantano

Raúl de Villafranca y
Colin McDonald









ISSN 1927-8314

