

zq⁰⁴

INVIERNO 2014







Acerca de Zygote Quarterly

Editores

Marjan Eggermont

Norbert Hoeller

Tom McKeag

ZQ en español | Editores

Raúl de Villafranca

Carolyn Aguilar

Azucena Garza

Traducción

Aprendiendo del maestro transmutador de forma: Las tecnologías de los cefalópodos, Entrevista con Philip Beesley; Ana Gabriela Robles. Buscando inteligencia dentro del enjambre, Entrevista con Jay Harman, Entrevista con Ashok K. Goel, El

diseño en la naturaleza; Lidice Murguía Robles. No hay extraños en el mundo; Alejandro Zepeda. Editorial, En este número, Infografía; Azucena Garza.

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

Arte de la Cubierta

Hylozoic Series: Sibyl | 18th Sydney Biennale, Sydney, Australia, 2012 ©PBAI [also pp. 2-3, 100-102]

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

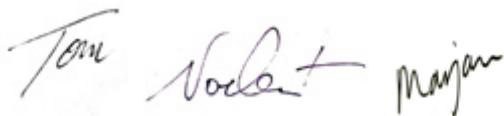
Publicado por primera vez en Inglés en 2012



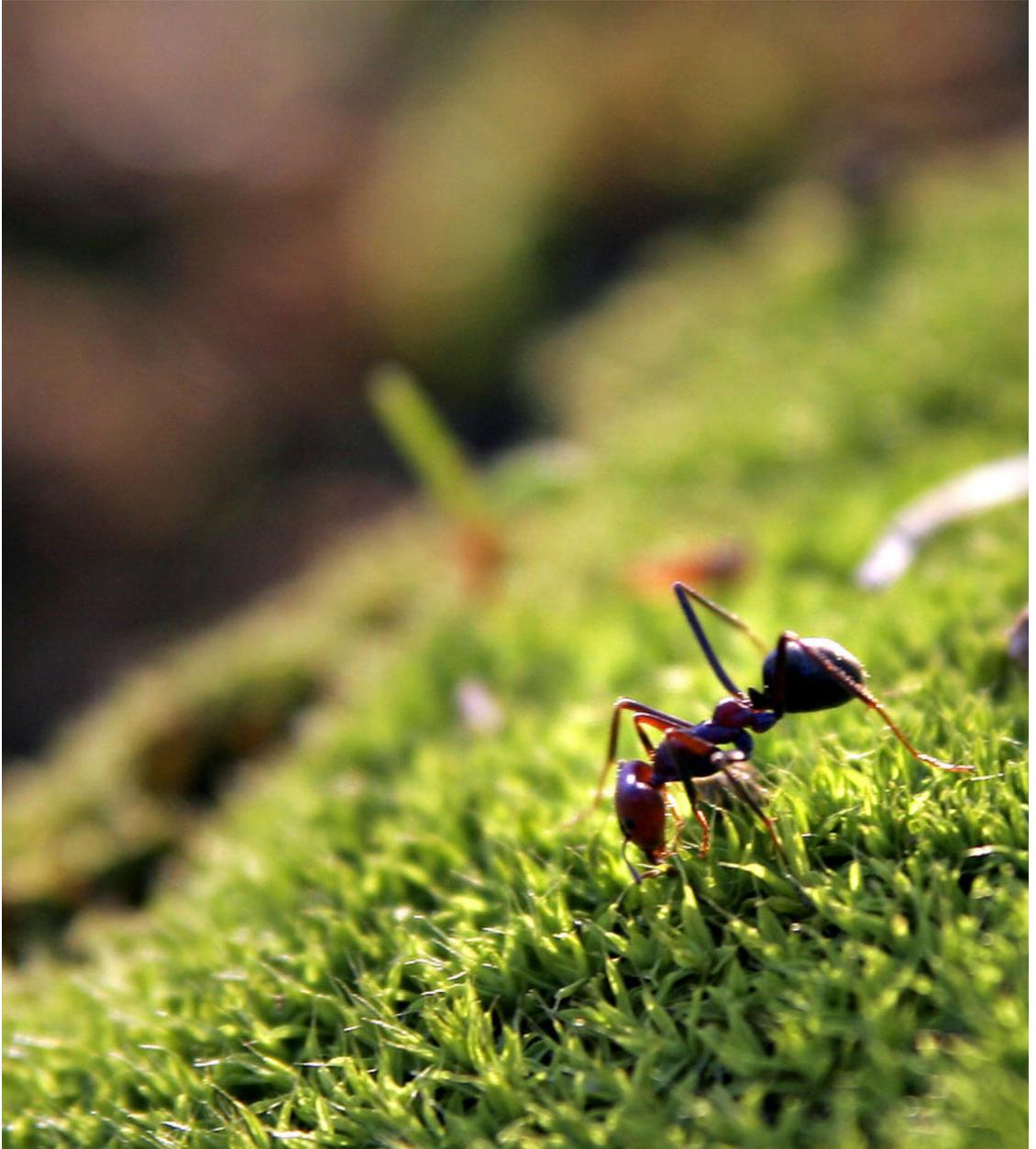
Cerramos nuestro primer año en el ámbito de la publicación digital satisfechos y agradecidos. Estamos muy contentos de haber sido nominados en dos categorías (Ciencia y Naturaleza, y El Lanzamiento del Año) para los Premios Revista Digital (Digital Magazine Awards), y Marjan viajó a Londres para asistir a la ceremonia de premiación el 6 de diciembre. Nos enfrentamos a una fuerte competencia con otras revistas como *BBC Focus*, *Scientific American* e *Inquire*. Aunque no ganamos ningún premio, fue un honor haber sido reconocidos. Nuestro trabajo es por amor al arte y hubiera sido imposible sin tu apoyo. Gracias a todos nuestros colaboradores, admiradores y seguidores.

Nuestra misión ha sido resaltar el lugar donde la ciencia y el diseño confluyen en la esfera del diseño bioinspirado. En este número nos deleitamos presentando algunas de las instalaciones del arquitecto/artista Philip Beesley, investigaciones en la mecánica del comportamiento de los enjambres y el intrigante mundo de los cefalópodos, la familia de animales que incluye al calamar, pulpo y jibia. Podrás hacer tus propias conexiones entre estos temas que en apariencia no tienen relación entre sí. Nuestro trabajo es simplemente presentar una parte de la mezcla del maravilloso mundo de la naturaleza y la gente que lo estudia.

Las conexiones son a menudo lo más importante en los fenómenos naturales, particularmente a escala de sistemas. Esperamos que disfrutes y alimentes todas tus conexiones personales durante esta época de festividades y que veas sus frutos en un luminoso año nuevo. ×

Handwritten signatures of Tom, Norbert, and Marjan in black ink.

Tom McKeag, Norbert Hoeller, y Marjan Eggermont



Hormiga en una colina de musgo

Photo: Axel Rouvin, 2006 | Flickr cc

¡Gracias por echarle un vistazo a nuestro número final del 2014! Dentro vas a encontrar las deleitantes y provocadoras construcciones del arquitecto Philip Beesley, una visión detallada de los cefalópodos por Tamsin Woolley-Barker, y entrevistas con el inventor en serie (y ahora autor) Jay Harman y el científico cognitivo Ashok Goel.

Clint Penick nos ofrece una mirada cercana a la robótica de enjambres y Tim McGee reseña un libro reciente sobre la teoría de cómo la termodinámica moldea al mundo biológico.

En nuestro artículo de opinión, Heidi Fischer nos recuerda acerca de la importancia de tener una visión personal más amplia, y presentamos una nueva sección regular, la infografía. Raúl de Villafranca nos ofrece un resumen gráfico de las innovaciones del tren bala Shinkansen 500 que presentamos en el número 2.

¡Disfruten su lectura! ×



Aprendiendo del maestro transmutador de forma

Tamsin Woolley-Barker 10



Opinión: No hay extraños en el mundo

Adelheid Fischer 30



Artículo: Buscando inteligencia dentro del enjambre

Clint Penick 40



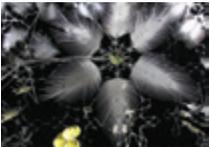
Entrevista con

Jay Harman 52



Entrevista con

Ashok K. Goel 60



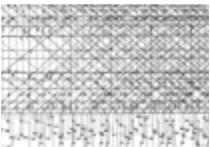
Portafolio:

Philip Beesley 68



Reseña literaria: El diseño en la naturaleza de Adrian Bejan y J. Peder Zane

Tim McGee 92



Infografía: Auspicious Forms

Raul de Villafranca y Colin McDonald 100



Sepia encapuchada

Photo: prilfish, 2008 | Flickr cc



*Aprendiendo
del maestro
transmutador
de forma:*

*Las tecnologías de
los cefalópodos*

Tamsin Woolley-Barker

Aprendiendo del maestro transmutor de forma: Las tecnologías de los cefalópodos

El pulpo mímico de Indonesia es un experto transmutor de la forma, que despliega un elenco de atrevidos, vistosos y aterradoros animales para su audiencia de posibles depredadores. Incluso peces mucho más grandes huyen ante la presencia de una convincente y mortal serpiente de mar, un amenazante pez león con sus venenosas espinas listas para el ataque, una mantarraya que ronda desafiante, un lenguado venenoso o las veloces quijadas del camarón mantis. Mientras tanto, una encantadora pero mortal 'hembra de cangrejo' atrae fatalmente a un vigoroso cangrejo para almorzárselo. Al final del día, el pequeño pulpo macho repite el engaño con su propia especie, cuando, disfrazado de hembra, se escabulle para aparearse bajo las narices de un macho mucho más grande.

El Mimico es quizás el ejemplo más extremo de la crisis de los cefalópodos: el arte de esconderse a plena luz, integrándose de manera impecable a las rocas y algas marinas, mientras caza una apetitosa cena. La jibia, el pulpo y el calamar son los irrefutables campeones del camuflaje, y han ejercido exitosamente su astuto y sagaz oficio durante los últimos 500 millones de años. Mientras que sus parientes las almejas se quedaron descerebradas, seguras y casi totalmente inmóviles, los nautiloides y amonitas acorazados comenzaron una osada aventura hacia el peligroso mundo de la cacería en movimiento, culminando en los vulnerables pero astutos

cazadores de cuerpo suave que hoy vemos. Los cefalópodos son los moluscos más inteligentes, grandes y móviles, y presentan unas poderosas y singulares adaptaciones, como sus tentáculos con ventosas que les sirven para explorar, ojos que funcionan como una cámara fotográfica, piel que cambia de forma, capacidad de formar nubes de tinta negra para escapar, feroces y picudas mandíbulas, un complejo comportamiento aprendido, y hasta relaciones simbióticas con bacterias bioluminiscentes y neurotóxicas.

Así como las arañas han hecho un arte de la innovación y tecnología en telarañas y redes, los cefalópodos han llevado el arte del camuflaje a un nivel inalcanzable por cualquier otro organismo. De manera instantánea, estos animales pueden modular el color, sombras, irregularidades, manchas y puntos de su piel, su transparencia, calor y hasta la bioluminiscencia, polaridad lumínica o iridiscencia. Tienen un control completo e instantáneo sobre la textura de su piel, postura, y locomoción. No sólo igualan el fondo en el que descansan, sino que también dependen de un potente sistema visual y una inteligencia endemoniadamente flexible para escanear una escena y convertirse en un elemento individual dentro de ella: una roca o una rama de coral. Esa roca puede igualar la velocidad y las características lumínicas de una corriente marina, avanzando sigilosamente a través de una llanura de arena, como el Coyote tras el Correcaminos.



Pulpo del día hawaiano, Kona, Hawaii

Photo: Steve D., 2011 | Flickr cc

En ausencia de un entorno significativo al cual integrarse para protegerse, el pulpo mímico usa una estrategia notablemente flexible: imita las adaptaciones exitosas de otras especies. Los seres humanos también han dado con esta técnica: la biomimesis nos permite imitar de manera consciente los poderes especiales de otras especies, aumentando nuestra capacidad de enfrentar situaciones nuevas utilizando estrategias sostenibles perfeccionadas a lo largo de miles de millones de años de investigación y desarrollo.

¿Emulando al maestro?

Roger Hanlon del Marine Biological Laboratory (MBL) en Woods Hole es uno de esos devotos. Se ha pasado las últimas tres décadas explorando el camuflaje del pulpo, tanto arriba como bajo la superficie del océano, con un solo propósito en mente. Ahora, una subvención de 6 millones de dólares de la Oficina de Investigaciones Marinas le permite a él y a otros colegas investigar la fisiología celular de esta asombrosa pieza de ingeniería y, a la postre, quizá emularla.

Hanlon y sus colegas se enfocan en tres preguntas básicas de investigación: ¿cómo perciben los cefalópodos su ambiente externo?, ¿cómo procesan neurológicamente esas percepciones? y ¿cómo controlan su piel fisiológicamente para crear sus exquisitos engaños?

La pregunta de los 6 millones de dólares de Hanlon es si los humanos pueden imitar estos trucos para crear tecnologías inspiradas en el pulpo y metamateriales tipo “piel de calamar” que sean observadores, receptivos y adaptables y que ayuden a mejorar las capacidades humanas en un futuro sostenible.

La tecnología actual del camuflaje

El potencial de las tecnologías de cripsis inspiradas en los cefalópodos es revolucionario y extenso, con una amplia gama de aplicaciones. El ejército de los Estados Unidos, en particular, se ha interesado en los cefalópodos desde hace mucho tiempo. Ya en la Segunda Guerra Mundial, los Estados Unidos usaban sistemas y trucos de camuflaje rudimentarios aprendidos de estos animales. Hoy día, el ejército de los EEUU está buscando intensamente el desarrollo de tecnologías de “camuflaje activo” tipo pulpo, usando cámaras para percibir el ambiente visible mientras controlan paneles y capas o cubiertas para variar la apariencia de los sujetos.

Los diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs, por sus siglas en inglés), por ejemplo, se pueden usar para proyectar imágenes sobre un sujeto en respuesta a información visual proveniente de una cámara. Sin embargo, es muy difícil camuflar efectivamente un objeto en movimiento. La Óptica de Conjunto en Fases (PAO - Phased Array Optics) puede solucionar este problema usando holografías computacionales para proyectar hologramas tridimensionales del paisaje en el sujeto camuflándolo independientemente de la distancia del observador o del ángulo de observación. El camuflaje térmico es otro enfoque potencial. Por ejemplo, una tecnología de la empresa londinense BAE Systems utiliza miles de paneles hexagonales infrarrojos en un tanque, calentándolos o enfriándolos rápidamente como píxeles térmicos para igualar la temperatura del entorno del vehículo.



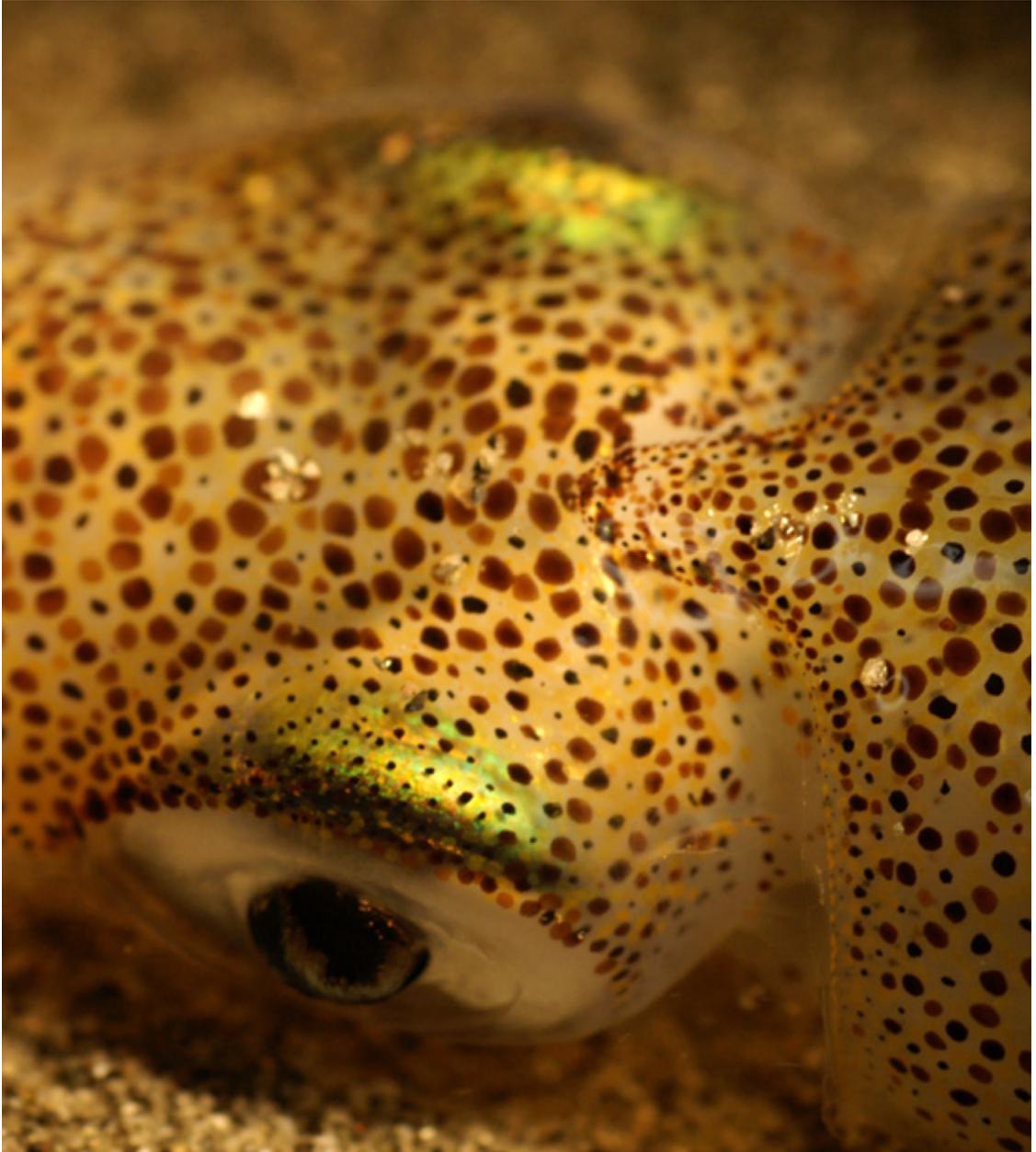
Pulpo abriendo una tapa enroscada de un contenedor

Photo: Matthias Kabel, 2007 | Wikimedia Commons



Sepioteuthis lessoniana (Calamar de arrecife de gran aleta) | Photo: Nick Hobgood, 2006 | Wikimedia Commons





Sin título (cromatóforos)

Photo: Minette Layne, 2007 | Flickr cc

¿Cómo lo HACEN?

Estas tecnologías vanguardistas se encuentran en las etapas de prueba teórica del concepto, más allá de nuestras capacidades actuales. Pero incluso una vez que se logren, estas aplicaciones seguirán siendo considerablemente inferiores a la magia críptica del pulpo. Los pulpos poseen inteligencia, emociones y personalidades individuales. Desarmen Legos, destapan botes, y hasta pueden abrir frascos de medicina con tapas a prueba de niños. Presentan comportamiento lúdico, y al menos un acuario tiene un Manual de Enriquecimiento para Pulpos, en el que se describe cómo mantenerlos entretenidos. En términos de un órgano individual, el cerebro del pulpo es pequeño, no más grande que el de una lagartija. Hay que considerar que sus parientes las almejas carecen totalmente de cerebro. Lo más sobresaliente es que tres quintas partes de las células del cerebro de los pulpos se encuentran en sus brazos, junto con las papilas gustativas y fotorreceptores extraordinariamente parecidos a los que se encuentran en nuestros ojos. Si el número de neuronas es un indicador de inteligencia, el pulpo se ubica junto al gato doméstico. Todo su cuerpo es un cerebro descentralizado con órganos sensoriales incorporados.

Los pulpos no sólo tienen un sistema centralizado de percepción de luz (el ojo extraordinario del cefalópodo) sino que también tienen un sistema descentralizado de sensores de luz distribuidos en toda su piel. El cuerpo entero de un calamar es, de hecho, una serie de cámaras, que perciben la luz de todas direcciones. La combinación de sus potentes ojos y los sensores de luz

distribuidos a lo largo de su cuerpo le permiten al pulpo detectar e igualarse por completo a su entorno.

A pesar de estar tan altamente desarrollados, los ojos de los cefalópodos son daltónicos, y aun así pueden reproducir casi cualquier color del entorno. ¿Cómo lo hacen? Los colegas de Hanlon (incluyendo a Jules Jaffe, ingeniero y oceanógrafo investigador del Instituto de Oceanografía Scripps de la Universidad de California en San Diego; Alison Sweeney, estudiante de postdoctorado que colabora en el laboratorio de un investigador participante de la Universidad de California en Santa Bárbara; y un grupo multidisciplinario y de casi 40 biólogos, físicos, ingenieros, y modeladores moleculares provenientes de diferentes universidades) han creado un ambiente de realidad virtual para el pulpo con la intención de responder a esta pregunta. Utilizan una cámara especial (una omnicam), que graba en seis direcciones, y un holodeck: un tanque para peces con pantallas de plasma y televisores de proyección en cada lado. Se proyectan varias escenas en el tanque, mientras el equipo graba la respuesta del animal. Los cambios de color resultantes ocurren casi tan rápido como una película e incluso se podría ver una en la piel del pulpo si éste pudiera proyectarla. El equipo del Hanlon está aprendiendo que hay mucho más de las jibias y de sus amigos de lo que parece evidente a primera vista.

Píxeles cutáneos

¿Cómo es que estas criaturas logran cambios tan radicales de color, reflectividad, luminosidad y textura? El secreto radica en los organelos de la piel que están llenos de pigmento y refle-

jan la luz: los cromatóforos, los iridóforos (y para el pulpo, las células reflectantes) y los leucóforos. Cada capa de piel tiene una función específica para lograr el encubrimiento.

En la superficie de la piel, los cromatóforos (pequeñas bolsas rellenas de pigmento rojo, amarillo o marrón) absorben la luz de varias longitudes de onda. Una vez que se ha procesado un registro visual, el cefalópodo manda una señal a las fibras nerviosas que están conectadas al músculo. Este músculo se relaja y se contrae para cambiar el tamaño y la forma del cromatóforo. Cada cromatóforo de color está controlado por un nervio diferente, y cuando el músculo adjunto se contrae, aplana y extiende el saco de pigmento hacia afuera, expandiendo el color en la piel. Cuando el músculo se relaja, el cromatóforo se vuelve a cerrar y el color desaparece. En un trozo de piel del tamaño del borrador de un lápiz caben hasta doscientos cromatóforos de éstos, como una reluciente pantalla de pixeles.

La capa más profunda de la piel, compuesta de leucóforos, refleja la luz del ambiente. Estos reflectores de banda ancha le dan a los cefalópodos una “capa base” que les ayuda a igualar su entorno.

Entre los coloridos cromatóforos y los leucóforos dispersores de la luz se encuentra una capa reflectante de piel hecha de iridóforos. Éstos reflejan la luz para crear las coloraciones rosas, amarillas, verdes, azules o plateadas, mientras las células reflectantes (que se encuentran sólo en los pulpos) reflejan el azul o el verde.

Como los pulpos son daltónicos, seguramente usan los cromatóforos para cambiar el brillo o los patrones de su piel, mientras que utilizan la

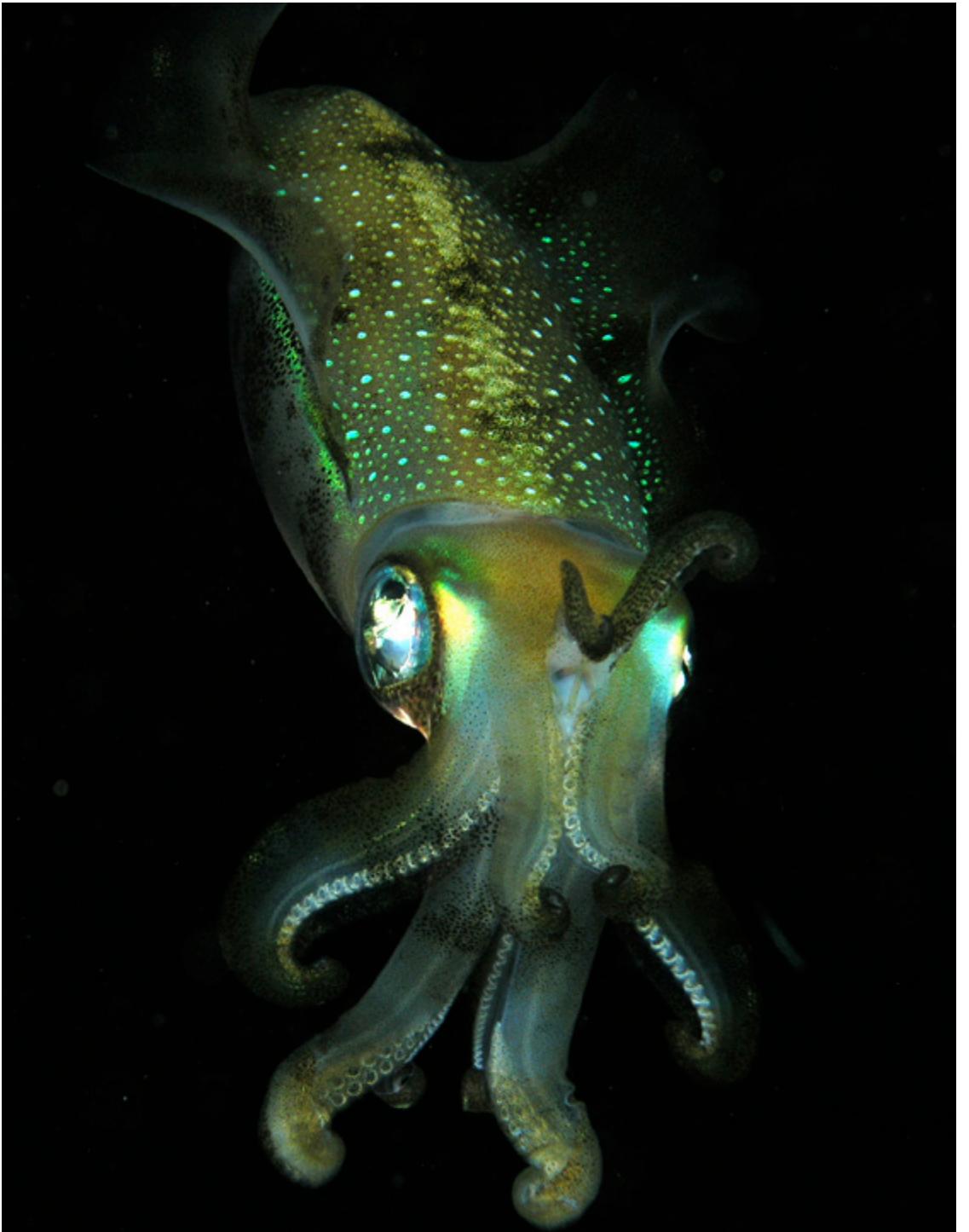
reflexión pasiva de la luz ambiental de los iridóforos y leucóforos para igualar el color del entorno.

Este sistema de “pixeles” de múltiples capas permite a los cefalópodos crear cambios de color instantáneos e increíblemente complejos para la comunicación, apareamiento y camuflaje.

Pero los cefalópodos pueden cambiar mucho más que el color y la uniformidad de su piel. También pueden tener control sobre la transparencia, temperatura, bioluminiscencia, polaridad de la luz e iridiscencia de su piel, así como sobre su textura.

A dos mil metros bajo la superficie del mar, la luz solar se desvanece en un mundo de sombras donde los depredadores con ojos gigantes que miran hacia arriba usan reflectores bioluminiscentes para encontrar a sus presas. Algunos cefalópodos utilizan la rápida respuesta de sus cromatóforos para mantenerse invisibles mientras viajan a través del gradiente de las profundidades. Son transparentes bajo la luz que entra de la superficie, pero una reacción veloz los hace oscuros cuando bajan hacia las profundidades.

Los calamares pelágicos, como el hawaiano rabricorto (*Euprymna scolopes*) también tienen un par de “órganos luminosos” en la cavidad de su manto. Éstos contienen una cámara (un pequeño saco lleno de bacterias simbióticas luminosas) y una lente (un montón de láminas reflejantes que perciben y modifican la luminiscencia). Las bacterias reciben una solución de azúcar y aminoácidos del calamar, y a cambio, iluminan la silueta del calamar cuando es visto por debajo, igualando la cantidad de luz que le llega al calamar desde arriba. Los calamares son capaces de percibir y modular el nivel de luminiscencia para



Calamar komodo (calamar curioso en Indonesia)

Photo: Nick Hobgood, 2007 | Wikimedia Commons

igualar la iluminación requerida por la profundidad y la bioluminiscencia también se puede usar para atraer a sus presas, seducir a sus parejas, confundir a depredadores y comunicarse entre ellos.

Actualmente la Fuerza Aérea de los Estados Unidos coloca luces azules de baja intensidad en los aviones como camuflaje de contra iluminación, haciéndolos invisibles cuando son vistos desde abajo.

En busca de la piel de calamar artificial

El equipo de Hanlon se imagina la aplicación de estos procesos para crear una piel artificial para uso humano. Este metamaterial tendría un sistema de diodos sensibles a la luz integrados, distribuidos masivamente, que percibieran la luz de todas las direcciones, justo como lo hacen los calamares, además de incorporar células dinámicas para crear cambios de color, calor o textura que puedan responder en tiempo real.

Hanlon se imagina un papel tapiz que cubre franjas de tu casa, creando una reconstrucción tridimensional de todo lo que se encuentra en el interior de la habitación para alimentar sistemas de realidad virtual, seguridad y vigilancia. Su visión incluye pantallas flexibles y económicas para las computadoras, tabletas, lectores electrónicos y teléfonos inteligentes, así como mamparas que detecten y proyecten imágenes de manera simultánea.

Estos sistemas sensores de luz distribuidos podrían permitirnos ver bajo el agua en longitudes de onda visibles, o utilizar longitudes de onda acústicas para aplicaciones de sondeo tipo sonar. Hanlon también se imagina vehículos que

no sólo puedan integrarse de manera visual, térmica o acústica a su entorno, sino que también puedan comprender ese entorno, percibiendo y reaccionando a objetivos cercanos (como peces y otros submarinos).

Existe, por supuesto, un interés considerable en crear piel de calamar artificial. Los expertos en robótica de la Universidad de Harvard, por ejemplo, han desarrollado un robot de cuerpo suave con una red de canales de microfluidos interconectados que corre por debajo de su superficie de silicona. Cuando se les detona, estos canales se llenan con pigmentos que permiten que el robot se integre a su entorno o sobresalga en él. Estas redes sencillas funcionan como “músculos artificiales” que se mueven cuando la electricidad los atraviesa.

Pueden diseñarse para cambiar el color, contraste, patrón, forma, luminiscencia, o temperatura de la superficie del robot de cuerpo suave para camuflarlo o mostrarlo, ya sea en el espectro visible o en el infrarrojo. Las innovaciones derivadas del calamar como ésta abren las puertas a un nuevo mundo de robótica flexible de “aparición dinámica” para usarse en todo tipo de aplicaciones, incluyendo apoyos visuales para cirugías complejas, esfuerzos de búsqueda y rescate o para ubicar fugas químicas, derrames o contaminación.

Las pantallas de papel electrónico y la piel del calamar.

Los cromatóforos de los cefalópodos son muy parecidos a los píxeles de las pantallas de ‘papel electrónico’ como el Kindle. Sin embargo, en vez de usar músculos para controlar los sacos de



Sepia cambiando de color | Nick Hobgood, 2008 | Flickr cc



Octopus marginatus

Photo: Nick Hobgood, 2006 | Wikipedia Commons

color, el papel electrónico tiene cápsulas de pigmento oscuro y claro, cada una con cargas diferentes. Éstas se aglomeran y se ocultan a la vista cuando se les aplica corriente eléctrica. Cuando se detiene la corriente, las moléculas se dispersan y se extienden creando colores visibles sobre la superficie de la pantalla.

Mientras los seres humanos tienden a usar pantallas que usan energía de manera intensiva y activamente producen luz, muchos animales son extremadamente eficientes en usar la luz disponible para producir color de manera pasiva. Los cefalópodos adoptan este principio. Los lectores electrónicos y los pulpos conservan la energía con la misma técnica: producen color manipulando pasivamente la luz ambiental, en vez de producirlo activamente de la manera en que una pantalla brillante de LCD lo haría. La “tinta de cristal fotónica” utilizada en estas pantallas pasivas es similar a la reflectina, una proteína muy poco común que se encuentra en los iridóforos. Este material rígido y transparente refleja la luz de manera estructural (pasivamente), produciendo una coloración brillante. Las películas delgadas hechas de reflectina tienen el más alto índice conocido de refracción que cualquier proteína natural, y cuando se exponen al vapor de agua, de metano o de etanol, estas películas se hinchan y cambian de rojo a azul el color reflejado.

Las propiedades de estas proteínas altamente reflejantes y autoorganizadas pueden ayudarnos a desarrollar recubrimientos hechos de películas finas para materiales para microestructuras, acercando un poco más a los científicos a la creación de un verdadero ‘manto de la invisibilidad’. Cuando se les contiene espacialmente en capas delgadas individuales, estos polímeros

ligeros, “se afinan” y ofrecen la misma funcionalidad óptica que hoy dan los dispositivos pesados, ruidosos, voluminosos y consumidores de energía. Raytheon, la Universidad de California en Santa Bárbara, y los laboratorios de Investigación del Ejército de los Estados Unidos están desarrollando una película delgada sintética que genera cambios morfológicos y en el índice refractivo, simultáneos e inducidos eléctricamente, para incorporarla a los dispositivos ópticos del futuro.

Ropa inteligente

Científicos de la Universidad de Bristol están desarrollando otro material inspirado en la piel de los cefalópodos. Investigadores de esta institución han creado una tecnología que puede dar lugar a telas dinámicas inteligentes. El equipo de Bristol, liderado por Jonathan Rossiter, está usando elastómeros dieléctricos: polímeros elásticos que se expanden al toque de una corriente eléctrica, para imitar los músculos responsables del cambio de color en los calamares. Los científicos aplican corriente eléctrica a los elastómeros, haciendo que se expandan como los sacos de pigmento de los calamares. Cuando la corriente deja de fluir, los elastómeros regresan a su tamaño normal y el color desaparece. Estos cromatóforos artificiales pueden transformarse en una piel flexible y elástica, útil en situaciones en las que las superficies duras no son deseables: por ejemplo, para la confección de ropa inteligente.

Una piel así puede potencialmente responder de manera cromática y en textura a estímulos externos como se desea. Imagina un iPad a todo color e hipereficiente que pudiera enrollarse como un periódico, lectores electrónicos para

lenguaje Braille, teclados táctiles para los teléfonos inteligentes y, por supuesto, la industria de la pornografía haría su agosto (¡tradicionalmente a la vanguardia de la tecnología!).

¿La ingeniería de los metamateriales?

Estas tecnologías son ingeniosas, pero no se acercan a la deslumbrante variedad de tecnologías empleadas por el calamar o por el pulpo para desempeñar su repertorio de cambio de forma. ¿Podrán los humanos realmente imitar todas estas adaptaciones, ensambladas y afinadas a lo largo de 500 millones de años de investigación y desarrollo, y usarlas para diseñar una piel de calamar sintética, completa y funcional?. Hanlon y los otros investigadores e ingenieros creen que sí podemos, pero su búsqueda genera más preguntas de las que podemos contestar en este momento. ¿Podríamos reemplazar los sensores de luz en la piel y ojos vivientes con un sistema artificial sensor de luz bien distribuido?. ¿Qué forma tendría este material?. ¿Podemos imitar la poderosa capacidad de reflejar y absorber la luz que tiene el calamar para crear una piel adaptable, sensible y observadora?. ¿Podrían nuestras computadoras igualar la capacidad que tiene el sistema nervioso central del calamar para analizar las texturas y el color del entorno e integrar la información de los sensores de luz distribuidos para procesar la textura del entorno de un objeto?. ¿Podríamos generar señales eléctricas para absorber y reflejar la luz a las frecuencias correctas para hacer que la piel sintética se integre a su entorno?

Los metamateriales del futuro imaginados por Hanlon y sus colegas tendrán muchas ventajas tecnológicas sobre las capacidades humanas ac-





Sepia, Gran barrera de coral, Cairns, Australia
Photo: Leonard Low, 2005 | Wikimedia Commons

tuales, pero también tienen el potencial de ofrecer otros beneficios importantes. Un componente clave de un buen diseño biomimético es que podamos emular los sistemas encontrados en la naturaleza, al igual que sus formas.

En la naturaleza, todos los diseños que vemos hoy han sido sujeto de rigurosas y exhaustivas pruebas. ¿Es eficiente, flexible y sostenible?. ¿Es resiliente al cambio y a los fallos? ¿Puede aprovechar las redes de interconexión con otras formas de vida? Si no es así, aun la idea más ingeniosa será eliminada por selección natural. Ésta es la posición en la que hoy nos encontramos, mientras encaramos el cambio climático y la escasez de recursos. Ésta es la motivación primaria para ver a la naturaleza como un mentor y medida de éxito. Nuestra futura piel de calamar debe estar compuesta de moléculas orgánicas (que produzcan “comida” para otros organismos) y ser eficiente energéticamente, justo como nuestra fuente de inspiración en la naturaleza. Quizá la jibia y sus parientes tengan algunas de las respuestas para el futuro sostenible de la interconectividad humana. Los cefalópodos han afinado exitosamente su tecnología de crípsis durante más de 500 millones de años, y al emular a estos astutos supervivientes en espíritu así como en estructura, quizá seamos capaces de coexistir en esta pequeña Tierra durante los siguientes 500 millones de años. ×

Referencias:

- Hanlon, R.T. & Messenger, J.B. (1996). *Cephalopod Behaviour*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Heikenfeld, J. et al. (September 26, 2012). Biological versus electronic adaptive coloration: how can one inform the other? *J. R. Soc. Interface*.
- Kramer, et al. (2007). The self-organizing properties of squid reflectin protein. *Nature Materials*. vol. 6, no. 7: 533-538.
- Zylinski, S. & Johnsen, S.. (22 November 2011). Mesopelagic Cephalopods Switch between Transparency and Pigmentation to Optimize Camouflage in the Deep. *Current Biology*. 22:1937-1941.
- Stephen A. Morin, et al. (17 August 2012). Camouflage and Display for Soft Machines. *Science*. Vol. 337 no. 6096 pp. 828-832
- Rossiter, J., Yap, B., and Conn, A. (published online 2 May 2012). Biomimetic chromatophores for camouflage and soft active surfaces, *Bioinspiration & Biomimetics*.
- Entrevista con Richard Baraniuk. (Feb 20, 2012). Biomimicry: Nature of Innovation, EarthSky series (<http://earthsky.org/featured/biomimicry>)



Cripsis: saltamontes con forma de hojas

Photo: Haniver, 2004 | Wikimedia Commons



Parque South Mountain

Photo: Martin PHX, 2011 | Flickr cc



Opinión

*No hay extraños
en el mundo*

Adelheid Fischer

No hay extraños en el mundo

Pongo mi silla junto a la pequeña barda que separa mi propiedad de South Mountain, una reserva desértica de casi 6.900 hectáreas ubicada cerca del extremo sur de la ciudad de Phoenix. Veo un pájaro marrón salir velozmente de la espesura, un párido desértico (*Auriparus flaviceps*). Aunque he visto a cientos de estos habitantes del desierto, que son tan comunes en la ciudad como en las zonas más agrestes del Desierto de Sonora, siempre consiguen el uso de mis binoculares. De lejos, los verdines parecen simplemente otro pájaro marrón común. Pero una inspección más detallada revela el color oro de su cara y cabeza, como el resplandor suave y continuo del desierto después de un atardecer claro. Igualmente extraordinarias, pero más difíciles de detectar, son sus “hombreras” color carmesí. Como estas aves son muy inquietas y nunca se quedan en un lugar por mucho tiempo, tratar de seguirlas con binoculares suele provocarme mareo. Y hoy no es la excepción. El verdín vuela en línea recta hacia las altas ramas de un ocotillo y, sujetándose una con cada garra, empieza a aletear hasta que éstas truenan en el viento. Entonces emite su saludo usual, un comando agudo de dos o tres notas que suena como la llamada de un sargento en un campo de entrenamiento budista. “Estate aquí. Estate aquí. ¡AHORA!”



¿Dónde es “aquí”? ¿Dónde es “ahora”? Me he preguntado esto todos los días desde una noche en 2005 cuando mi marido, con quien llevaba casada 25 años, despertó tosiendo incontroladamente, balbuceó algunas palabras sin sentido y murió frente a mis ojos. En menos de un minuto, el hombre que era tan esencial para mí como el aire y el pan, la gravedad y el agua, la luz del sol y el cantar de los pájaros, simplemente se fue. Me convertí en una extraña para el mundo.

Durante casi un año, apenas salí de mi jardín, sólo para comprar comida, ver amigos o ir a caminar por las empinadas veredas de South Mountain rumbo a una cima desde donde pudiera ver decenas de kilómetros a la redonda, una breve tregua de los oscuros y angostos pasillos del dolor. Algunos psicólogos evolutivos proponen que nuestra especie a menudo responde a la pérdida con un conjunto predecible de sentimientos y comportamientos codificados. La tristeza y el letargo que la acompaña, por ejemplo, nos protegen dado que en tiempos prehistóricos nos mantenían cerca de casa, alejados del riesgo del deambular distraído que nos haría presa fácil de leones hambrientos, u hoy día, evitando que nos atropellen por cruzar la calle sin poner atención. Al frenarnos y mantenernos cerca de casa, la tristeza también puede ayudar a la adaptación psicológica, pues al robarnos la energía “nos obliga a la reflexión retirados del ajetreo de la vida,” observa Daniel Goleman, escritor de ciencia conduc-



Verdin

Photo: carla kishinami, 2012 | Flickr cc

tual, “y nos deja en un estado de suspensión para hacer luto por la pérdida, meditar sobre su significado y, finalmente, hacer ajustes psicológicos y nuevos planes que nos permitan continuar con nuestras vidas.”



Para biofílicas como yo, no puede haber nuevos planes, ni nuevos significados, ni nuevas historias de vida donde haya menos seres alados, de cuatro patas o con exoesqueleto de quitina que las personas. Como tal, tuve la fortuna de estar viviendo en el Desierto de Sonora, el desierto con mayor biodiversidad de Norteamérica. Casi a diario se me presentaron guías con sus propias historias fantásticas de vida y de viajes transformadores. Parecía como si las plantas y animales de mi jardín estuviesen dejando un camino de migajas para que yo pudiera cruzar el abismo y reconectarme con la vida. Barbara Kingsolver, también biofílica, describe este proceso en la conclusión de su ensayo “High Tide in Tucson” (*Marea alta en Tucson*). Escribe, “en mis peores temporadas, he regresado del mundo incoloro de la desesperación al forzarme a mí misma a mirar cuidadosamente por largo rato a sólo un objeto glorioso: el brote de un geranio rojo fuera de mi habitación. Y luego a otro: mi hija en un vestido amarillo. Y otro: el perímetro perfecto de la esfera oscura tras la luna en cuarto creciente. Hasta que aprendí a enamorarme de mi vida nuevamente. Como la víctima de un infarto cerebral reaprendiendo habilidades con nuevas partes del cerebro, me he enseñado a mí misma a ser feliz, una y otra vez.”

Entre las primeras en entrar en mi cuarentena de luto con ofrendas de felicidad fueron las abejas que gustaban de las dulces flores de la malva de India (*Abutilon palmeri*) que crece junto a la ventana de mi cocina. Stephen Buchmann, entomólogo de Tucson, dijo que mis visitantes eran sin duda miembros del género *Diadasia*, abejas solitarias nativas de Desierto Sonorense que construyen su panal en el suelo. En las tardes cálidas se zambullían durante horas sin descanso en el corazón de las flores, amasando todo el polen que cupiera en sus cavidades. Pero en cuanto bajaba el sol y la temperatura, cesaban repentinamente y se dejaban caer dentro de sus suaves camas de pétalos y estambres, como un panadero agotado al final de la jornada, que se queda dormido encima de su masa. Los pétalos entonces se cerraban alrededor de las abejas saciadas, creando un refugio donde podían dormir seguras y sin frío. En noches tormentosas, a veces salía a ver que estuviesen bien, sonriendo al ver las flores cerradas meciéndose suavemente con la brisa. Al día siguiente, mucho después de que los pétalos se abrieran con el sol, veía que muchas de las abejas seguían durmiendo, como adolescentes enredados en las sábanas a mediodía. Viéndolas con una lupa, sus cuerpos como cepillos escarchados de polen, acariciaba sus espaldas con mi dedo para sacarlas de su estupor: “Dormilonas”, les susurraba. “Venga, que se pasa el tiempo. A trabajar”

Y luego tuvimos esos dos años raros, cuando las lluvias tardías de verano provocaron una irrupción de larvas de polillas esfinge rayada (*Hyles lineata*). Decenas de miles de orugas con rayas amarillas y negras bajaron desde lo alto de las montañas. Como hordas de saqueadores



Gusano

Photo: Adelheid Fischer, 2012



Florescencia del Saguaro

Photo: lars hammar, 2009 | Flickr cc



de la Edad Media (poco me faltaba para escuchar el sonido de lanzas y armaduras), que en tropeles treparon por la barda de mi jardín, cayendo con un sonoro ¡plop! encima de la masa de parientes que se retorcían de este lado del seto. Se esparcieron por las vecindades con una especie de determinación ciega, con sus brújulas internas guiándolas fielmente hacia el sur. La invasión duró varios días y terminó tan repentinamente como empezó. Como evidencia de su gran y misterioso paso, sólo quedaron las manchas grasosas en las calles y banquetas donde estas regordetas orugas se encontraron con llantas de coches y suelas de zapatos.

Y luego también llegaron las mágicas uniones de primavera, cuando los racimos de capullos rojos de los ocotillos se abrían en una explosión de flores. Los orioles aparecían repentinamente, como si un conjuro los desviara de su larga migración al norte para tomarse todo el néctar de las flores. O la primera mañana calurosa al final de la primavera, cuando el aumento de pocos grados del termómetro parecía hacer que las palomas de alas blancas cayeran del cielo. “Cucú-cucú” decían, sin denotar cansancio alguno después de haber recorrido la cordillera de la Sierra Madre de México para disfrutar las flores y frutos de los saguaros aquí, en su lugar de reproducción en el Desierto Sonorense.



Sin embargo, no fue sino hasta que empecé a estudiar biomimesis cuando aprendí sobre una especie de marco genealógico que me permite

entender, no sólo amar, este parentesco con la vida. En 2007 viajé al Front Range de las Montañas Rocallosas para un taller de una semana ofrecido por el Biomimicry Guild. Estábamos estudiando una lista de lo que los biólogos del *Guild* llaman Principios de la Vida (reglas generales que rigen la operación de la naturaleza y con las que los diseñadores pueden evaluar la viabilidad y robustez de sus soluciones) cuando llegamos a un punto que ahora ya me resulta familiar: “La naturaleza utiliza bloques de construcción sencillos y comunes.” El ADN es un ejemplo. Siendo la única en el grupo que no era bióloga, me esforzaba por recordar lo que aprendí en preparatoria en mis clases de biología. Me acordé de que el ADN, la guía de comandos fundamental de la vida, se compone de tan sólo cuatro nucleótidos: guanina, adenina, timina y citosina. Cuatro, de pronto me di cuenta: ¡sólo cuatro! Fue como si en ese momento empezara a fluir la sangre por las venas del conocimiento que yo había memorizado en preparatoria, y entonces empecé a comprender: ¡todos los seres vivos están hechos con la misma tela química! Las similitudes no dejaban de sorprenderme: compartimos el 96% de nuestros genes con los chimpancés; 97.5% con los ratones; casi el 60% con las moscas de la fruta; y 26% con las levaduras. Fue mi primera revelación. La segunda llegó cuando me di cuenta de que las adaptaciones de los animales y de las plantas, soluciones funcionales para los retos de la vida, no son fijas ni inmutables en el tiempo y espacio. La fuerza incansable y creativa de la vida nos dibuja, borra y redibuja a todos. Estamos en un constante estado de conversión; juntos.



Jonathan Weiner escribió en *El pico del pinzón*, su libro que ganó el Premio Pulitzer, sobre este estado continuo de realineación, sobre la propensión de la vida a hacer correcciones sobre la marcha, como es evidente en los pinzones de las Islas Galápagos. “El significado original de la palabra evolución, el desenrollar un pergamino, sugiere una metamorfosis, como las de las polillas, escarabajos o mariposas,” escribe Weiner. “Pero la metamorfosis de los insectos tiene un fin, lograr una forma adulta de la especie. La perspectiva darwiniana de la evolución nos muestra que siempre se está escribiendo sobre este pergamino, conforme se va desenrollando. Las letras las escribe la mano del momento, las circunstancias de ese día. No estamos completos como estamos; ésta no es nuestra etapa final. No puede haber una forma terminada de nosotros ni de ningún otro ser vivo...” Para mí, eso fue la lección más sorprendente e impercedera de la biomimesis: somos parientes de los demás seres vivos, a un nivel molecular muy profundo. Nunca estamos solos, nunca somos extraños en el mundo.



Si los científicos algún día se dan el tiempo de secuenciar el genoma de las abejas *Diadasia*, tal vez entonces tendré pruebas fehacientes de lo que ya sé: que las abejas solitarias y las escritoras solitarias que las adoran, despiertan a

trabajar fraternalmente bajo la misma generadora luz de creación. Como dice el poema “*Wild Geese*” (Gansos salvajes) de Mary Oliver:

*“Seas quien seas,
no importa cuán solitario,
el mundo se ofrece a tu imaginación,
te llama como los gansos salvajes, severa y apasionante—
una y otra vez anunciando tu lugar
en la familia de las cosas.”* ×



Polilla esfinge rayiblanca

Photo: Lorika13, 2007 | Flickr cc



Hormiga

Photo: Jeff Kubina, 2007 | Flickr cc



Artículo
Buscando
inteligencia dentro
del enjambre
Clint Penick

Buscando inteligencia dentro del enjambre

A principios del año 2012, un video de nanorobots voladores se volvió viral en You Tube. El video empieza lentamente: un robot en la pantalla se sostiene en el aire frente de una sábana blanca. Luego aparecen otros robots. Empiezan una serie de maniobras complejas: cerniendo en formación, volando en forma de ochos, esquivando colectivamente obstáculos puestos en su trayecto. Mientras más y más robots se suman, el sonido de sus rotores se eleva hasta convertirse en un zumbido agudo. Este zumbido, un poco inquietante, se parece al sonido que hace un enjambre de abejas.

“Yo, en lo personal, le doy la bienvenida a nuestros jefes supremos, los robots,” dice Stephen Pratt, uno de los colaboradores en el proyecto que produjo el video. “Pero el tema es,” dice Pratt, “que los robots en el video están volando en un cuarto con sensores infrarrojos. Tienen un sistema centralizado para localizarse unos a otros y acceso a una visión global.” El Dr. Pratt es Profesor Asistente en el grupo Organismal, Integrative and Systems Biology (Biología de organismos, integradora y de sistemas) en la School of Life Sciences de la Universidad del Estado de Arizona (ASU), donde estudia principalmente el comportamiento colectivo de las hormigas. A diferencia de los robots, las hormigas realizan tareas complejas sin tener acceso a un panorama global de su entorno, y tienen que enfrentarse a condiciones climáticas fluctuantes y a un terreno siempre cambiante. Por esta razón, Pratt ha estado trabajando en el proyecto HUNT *Heterogeneous Unmanned Networked Teams* (Redes de

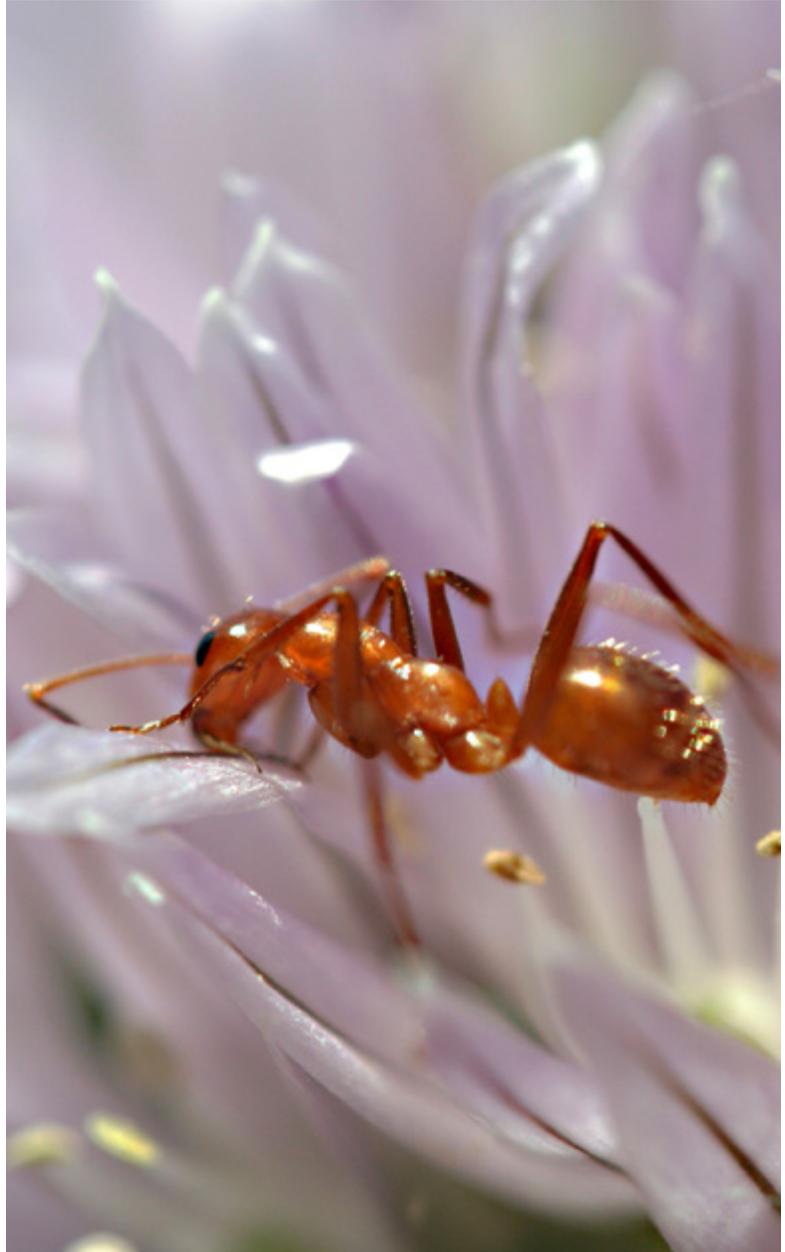
equipos heterogéneos no tripulados), financiado por la Oficina de Investigación Naval, para inspirarse en los insectos sociales con el objetivo de programar enjambres de robots.

“Imagina un sistema donde tienes un millón de insectos que son ciegos y conocen muy poco acerca de lo que están haciendo,” comenta Pratt, “pero realizan trabajos de manera coordinada. Esencialmente, obtienes inteligencia colectiva a partir de la estupidez individual.” El concepto de inteligencia de enjambre, o la idea de que pueden surgir patrones complejos a partir de interacciones limitadas entre individuos simples, fue acuñado originalmente por ingenieros antes de que los biólogos adoptaran el término. Utilizando este paradigma, los científicos de la computación han podido desarrollar nuevos métodos para direccionar el tráfico de Internet, los ingenieros han optimizado las redes eléctricas, y los robóticos han construido sistemas como los nanorobots que pueden imitar el comportamiento del vuelo de los insectos.

“Si bien la imagen de individuos estúpidos que actúan en grandes números resultó ser una heurística útil,” dice Pratt, “al final los ingenieros se dieron cuenta de algo que muchos biólogos ya sabían, que estos insectos individuales en realidad no son estúpidos.” Cuando los ingenieros del equipo HUNT se reunieron con Pratt, decidieron que necesitaban entender a las hormigas en un nivel más sofisticado para desarrollar mejores sistemas robóticos. La tarea en la que se concentraron fue el transporte cooperativo.

Las termitas, abejas, hormigas y avispas pertenecen al grupo de los llamados insectos eusociales (“verdaderamente sociales”). Desde el punto de vista de los biólogos, una sociedad verdaderamente social posee tres características básicas: Los adultos se dividen en los que se reproducen y los que no se reproducen; estos adultos deben coexistir a lo largo de dos o más generaciones en el mismo nido; y los que no se reproducen (o los que se reproducen menos) deben cuidar de los pequeños. Todos estos atributos han sobrevivido al juego de números de la selección natural debido a lo bien que mantienen el acervo genético.

Estas comunidades son **superorganismos**, una palabra acuñada por William Morton Wheeler en los años 20, y discutida por los eminentes biólogos E.O. Wilson y Vert Holldobler, profesor de Ciencias de Vida en ASU, en el libro que publicaron juntos, “El superorganismo. Belleza y elegancia de las asombrosas sociedades de insectos”. Se trata de una apta descripción de estas colonias de creaturas, ya que dominan nuestro mundo terrestre, con más de 1,000 billones de individuos. De hecho, Wilson y Holldobler estiman que su peso global es casi igual al del Hombre. Su nombre también indica una



Hormiga 2

Photo: Bulldog Pottery, 2009 | Flickr cc

Imagina un enjambre de robots desechables baratos que pudieran enviarse a una zona después de un desastre natural. Quizás ha ocurrido una fuga química o un riesgo físico que haría la labor muy peligrosa para los humanos. Primero, el robot tendría que identificar un objeto que necesitara ser movido y decidir si puede mover el objeto por sí solo. Si no puede, el robot tendría que reclutar a un equipo. Dependiendo de la forma o tamaño del objeto, el equipo de robots tendría que decidir cómo distribuirse alrededor del objeto y de dónde agarrarse. Cuando ya todos hayan sujetado el objeto, los robots tendrían que moverse en un esfuerzo concertado sobre el terreno tridimensional mientras que esquivan obstáculos como árboles caídos o construcciones colapsadas. Finalmente, los robots tendrían que tomar este mismo conjunto de decisiones una y otra vez, pues cada caso es una situación única, hasta terminar el trabajo.

Las hormigas hacen más o menos lo mismo cientos de veces al día con mínimos errores. En lugar de lidiar con los escombros de un desastre, las hormigas deben buscar comida. Los estudios de Pratt en ASU se enfocan en el transporte cooperativo de la hormiga *Aphaenogaster cockerelli*, una especie que vive en el desierto de Sonora. Mientras que algunas hormigas defienden un pedazo grande de alimento que han descubierto hasta que tengan tiempo de cortarlo en pedazos y llevarlo a su nido, las *Aphaenogaster* toman la pieza completa de comida y corren de regreso a su nido lo más rápido que pueden. Si la pieza es demasiado grande para que la cargue una sola hormiga, ésta emite un chillido agudo utilizando su abdomen y despidе una feromona de reclutamiento para atraer a otras hormigas que se encuentren cerca. Una vez que se ha formado

un equipo, cada hormiga sujeta el pedazo de comida y se orienta hacia el nido, utilizando pistas del panorama distante para navegar.

Spring Berman, Profesora Asistente del Departamento de Ingeniería Mecánica y Espacial en ASU, ha visto suficientes videos de las *Aphaenogaster* como para sentir envidia de lo sencilla que hacen que se vea esta tarea. “No todas las hormigas son buenas en este comportamiento de transporte,” dice Berman, “pero las *Aphaenogaster* son muy buenas. Les puedes dar cargas de diferentes formas y tamaños, y forzarlas a caminar sobre grietas y alrededor de plantas, y aun así logran llevar las piezas a su nido. Desde la perspectiva de la robótica, esto es verdaderamente impresionante.” Berman ha trabajado con sistemas de robots bioinspirados desde que estudiaba su carrera en Princeton, donde trabajó con planeadores submarinos que fueron diseñados utilizando los principios de los peces en cardumen. Cuando era estudiante de postgrado, Berman conoció a Pratt a través de su asesor, Vijay Kumar, el investigador líder detrás de los nanobots voladores. Berman se integró a la facultad de ASU en junio de 2012, y ahora puede trabajar más de cerca con Pratt y sus hormigas.

Con el objetivo de estudiar cómo se comportan las hormigas de manera individual durante el transporte cooperativo, Berman y otros ingenieros del equipo HUNT han diseñado sensores de fuerza que las hormigas pueden cargar. Los sensores de fuerza miden los esfuerzos de cada hormiga. Los diseños originales, sin embargo, eran muy rígidos. “La primera vez que salí al campo fue muy emocionante porque pude ver cómo se llevaban a cabo los experimentos,” dice Berman. “No sabía que tenías que usar un higo completo como carnada para atraer a las hormigas, y des-

característica más sistémica. La colonia, más que el individuo, es lo que funciona como una unidad, se adapta al cambio y se mantiene y perpetúa. Como tal, dice Wilson, estas sociedades son la ventana perfecta a la “emergencia de un nivel de organización biológica en otro”.

La emergencia es un rasgo clave de la organización biológica. Las propiedades emergentes se encuentran por todas partes en la naturaleza y se pueden ver tanto en el ADN como en los ecosistemas. No se pueden explicar sistemas completos mediante la examinación de sus partes individuales ya que más que la suma, los sistemas son el producto de sus partes. La fórmula final y el producto, por ende, incluyen las complejidades de la diversidad, relaciones e interacciones de esas partes.

En el mundo de la tecnología uno puede ver el comportamiento de sistemas que se asemeja al de los insectos eusociales. Conocido frecuentemente como sistemas de agentes múltiples o MAS, este comportamiento se presenta en las fluctuaciones del mercado de valores o en la formación de embotellamientos de tráfico. Hemos hecho uso de estos principios en



Hormiga en una colina de musgo

Photo: Axel Rouvin, 2006 | Flickr cc

pués de que empiezan el reclutamiento reemplazan el higo con el sensor falso recubierto en jugo de higo. Es como darles gato por liebre.” Durante sus observaciones, Berman vio que el sensor arrastraba por el suelo y se dio cuenta que tenían que cambiar el diseño. También pudo observar a las hormigas de lado y se dio cuenta que estaban levantando la carga. A partir de estas observaciones surgió otro diseño de sensor. “Realmente tienes que verlas en acción para saber qué es lo que tienes que hacer a continuación,” dice Berman.

Mientras que la bioinspiración se enfoca en tomar ideas de la biología y las aplica a la ingeniería, los participantes del proyecto HUNT se han dado cuenta de que el conocimiento fluye en ambas direcciones. Durante una reunión reciente, Pratt mostró un robot diseñado por sus colaboradores del proyecto HUNT ante una sala llena de biólogos. Lo describió como una “hormiga robot.” Era del tamaño de un roedor grande y tenía dos llantas bajo una masa de circuitos expuestos. Claramente no parecía una hormiga y la presentación de Pratt fue recibida con miradas desconcertadas de los biólogos en la audiencia. Pero cuando mostró un video del robot en acción, su función quedó clara. El robot se movía debajo de una bandeja donde había hormigas, y conforme se movía emergía un pequeño imán en la superficie de la misma. El imán estaba cubierto con feromonas de hormigas, y el equipo de Pratt utilizó al robot, como un Flautista de Hamelin, para hacer que las hormigas salieran de su nido y se desplazaran a través de la bandeja.

“Todavía nos falta mucho por hacer,” dice Pratt. “Pero ahora queremos darle la vuelta y ver si hay interés en financiar el proyecto desde el lado de la biología.” Los ingenieros del equipo HUNT

han ayudado a diseñar sensores de fuerza, programas de rastreo automático, y herramientas robóticas para ayudar al equipo de Pratt a enfrentar a las hormigas a cuestiones específicas. Actualmente, los estudiantes en el laboratorio de Pratt están utilizando el “robot hormiga” para abordar preguntas sobre la toma colectiva de decisiones que no hubiera sido posible abordar antes. “Ahora nuestro mayor problema,” dice Pratt, “es que el robot hormiga trabaja demasiado bien. Creo que estamos usando demasiada feromona de hormiga.” x

Clint Penick tiene un doctorado en biología y se especializa en investigación de insectos sociales. Ha impartido cursos sobre biomimesis para la Escuela de Diseño de la Universidad del Estado de Arizona (ASU), y en 2013 Penick ingresará a la Universidad Estatal de Carolina del Norte para empezar un estudio colaborativo sobre las hormigas de la ciudad de Nueva York, entre otros proyectos.

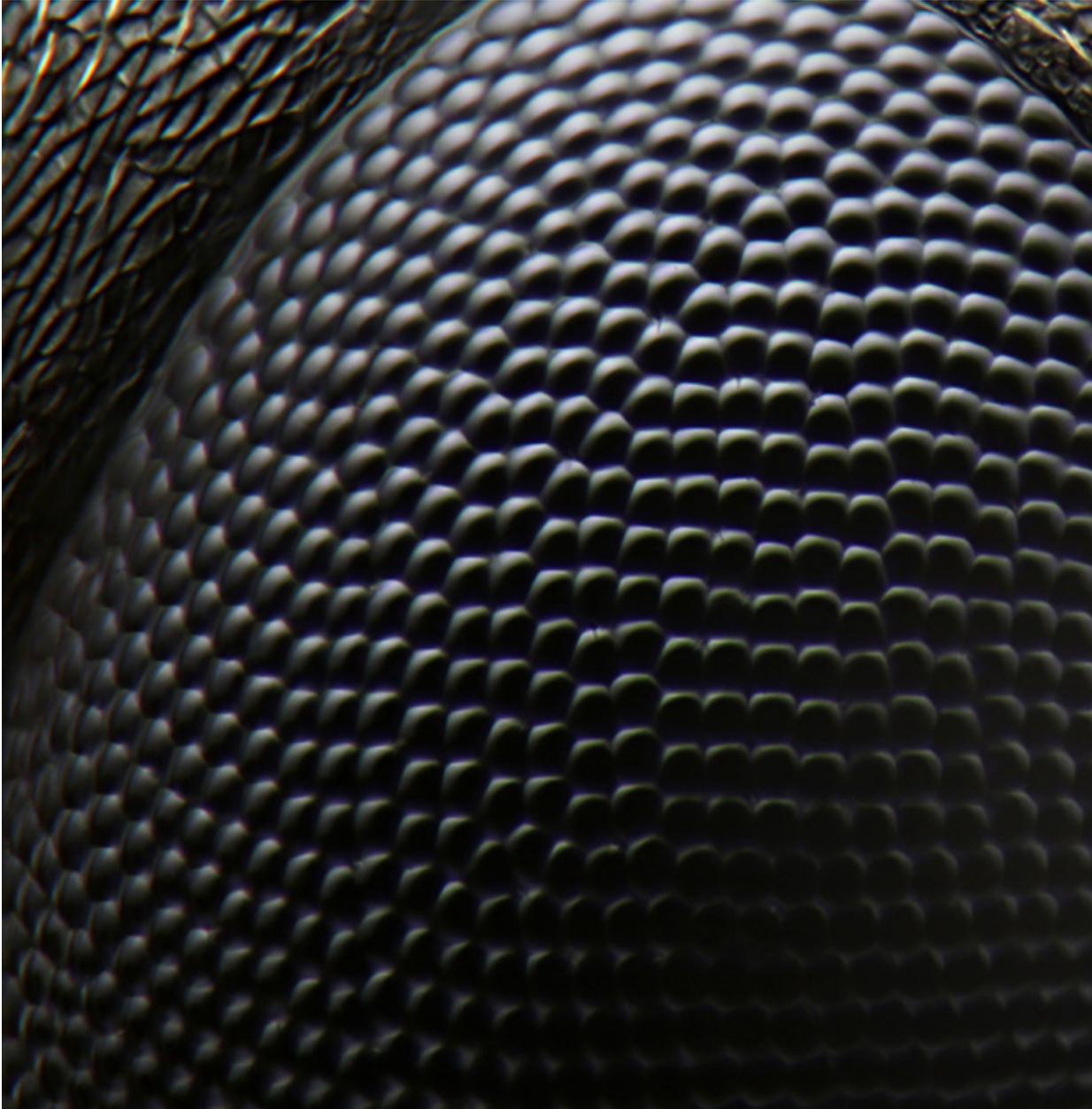
una amplia variedad de aplicaciones para mover información, para crear diseños arquitectónicos y de ingeniería, para enrutar paquetes de datos en las telecomunicaciones, para mover materiales en las rutas de entrega o reparaciones, y para mover energía en redes de energía optimizadas. Se han mejorado las búsquedas por internet, las preferencias de los clientes y las predicciones del mercado gracias al uso de estos modelos de simulación “de abajo hacia arriba”.

Los sistemas de robótica de enjambres a menudo son capaces de solucionar tareas altamente complejas porque poseen las cualidades del paralelismo, robustez, flexibilidad, escalabilidad y bajo costo. Un enjambre de robots puede desempeñar una tarea dada más rápido que un solo robot al dividir la tarea en subtareas y ejecutarlas de manera simultánea. En un enjambre bien diseñado, no existe un solo punto de falla para el sistema. Esto es importante ya que muchos retos potenciales, por ejemplo la reparación de un pozo petrolero dañado, dependen de un avance continuo aunque algunos componentes del sistema fallen. Tal como sucede en la naturaleza, los sistemas artificiales de enjambre parten de unos cuantos componentes y van generando cada



Hormiga

Photo: Bulldog Pottery, 2009 | Flickr cc



40x ojo de hormiga formica

Photo: Macroscopic Solutions, 2014 | Flickr cc



vez mayor complejidad en sus despliegues. Conforme el enjambre de robots aumenta de tamaño, su desempeño relativo mejora en comparación con el de un sistema centralizado. Debido a que las unidades individuales se pueden reprogramar y reconfigurar para adaptarse a condiciones cambiantes, los sistemas de enjambre por lo general son muy flexibles. Las unidades heterogéneas pueden ser especializadas y estas unidades especializadas se pueden coordinar para desempeñar una combinación prácticamente ilimitada de tareas complejas.

Tom McKeag





Cactus de Arizona con hormiga

Photo: steve luscher, 2010 | Flickr cc



Personas

Entrevista con

Jay Harman &
Ashok K. Goel



Vórtice

Photo: ahisgett, 2007 | Flickr cc



Entrevista con
Jay Harman

Entrevista con Jay Harman

Emprendedor en serie e inventor, Jay Harman ha adoptado un enfoque práctico de la fascinación que toda su vida ha sentido por los sistemas naturales de fluidos. En el proceso, ha hecho crecer empresas exitosas que diseñan productos innovadores, que van desde embarcaciones galardonadas, pasando por tecnología no invasiva para medir la glucosa en la sangre, hasta sus más recientes empresas, PAX Scientific (<http://paxscientific.com/>) y sus subsidiarias.

El trabajo de Jay sobre flujos naturales ha culminado en el desarrollo del Principio de Racionalización (<http://paxscientific.com/tech.html>), una guía para traducir las extraordinarias eficiencias de la naturaleza en aplicaciones industriales. PAX diseña equipo industrial más eficiente, incluyendo ventiladores, mezcladores, bombas, equipos de refrigeración y sistemas de destilación, basados en los conceptos revolucionarios de Jay. La meta de Jay es mostrarle a las industrias manufactureras que utilizar equipos más eficientes es rentable tanto para los accionistas como para el medio ambiente.

Jay trabaja como CEO de PAX Scientific, Inc. y PAX Pure, Inc., además de formar parte de las juntas de consejo de PAX Water Technologies, Inc. y PAX Mixer, Inc. Jay también está desarrollando una nueva organización sin ánimo de lucro, Nature of Hope, cuya misión se enfoca en la educación sobre biomimesis.

¿Cuál es tu impresión sobre el estado actual de la biomimesis/diseño bioinspirado?

Creo que nuestra profesión está en una fase post embrionaria, pues en realidad empezó a ser una profesión reconocida hace muy poco tiempo. Muchos de nosotros en realidad no vimos mucha aceptación sino hasta hace algunos años. Creo que ahora estamos en la cresta de la ola.

¿Cuáles consideras que son los mayores desafíos?

En mi experiencia, los tres principales retos que he encontrado se pueden resumir así:

- cruzar la frontera – o problemas de traducción entre científicos y empresarios
- girar el curso de la nave de la industria, que lleva mucha más inercia de la que podemos imaginar
- la necesidad de Planear para la Paciencia, porque los hombres y las mujeres que yo he estudiado y de los que he aprendido en el área de la bioinspiración reconocen que estamos plantando bosques, y no cultivando tomates.

Llegar al mercado con productos viables es un proceso largo y lento, pero vale la pena el esfuerzo y cada año se facilita más el camino. Las empresas y gobiernos finalmente están empezando a reconocer los enormes beneficios que ofrece el aprender de la naturaleza, y los profesionales dedicados que durante años han estado trabajando diligentemente tras bambalinas están



Rotor de PAX

Photo: ©Pax Scientific, all rights reserved

empezando a atraer más atención. En general, sin embargo, todavía se necesita que haya más ejemplos de personas y empresas que se beneficien de la aplicación del diseño bioinspirado para realmente poner en plena marcha a la biomimesis, y eso normalmente significa dinero. En el mundo del poder y la política, las ganancias dicen más que mil palabras.

¿En qué áreas deberíamos estarnos enfocando para avanzar en el campo de la biomimesis?

Educación, educación, educación. Mi conclusión después de años de estar en el campo es que se trata de un tema generacional, que debe ser apoyado en las escuelas a todos los niveles para poder florecer plenamente en los próximos años.

¿Cómo has desarrollado tu interés en la biomimesis/diseño bioinspirado?

Crecí en la naturaleza – nací y mi cría cerca del mar en Australia, trabajé para el gobierno en la protección de pesquerías y fauna antes de empezar una serie de empresas que buscaban aplicar el Principio de Racionalización de la naturaleza para mejorar el desempeño y la sostenibilidad de los equipos industriales.

¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?

Aprendemos de la sabiduría de los genios de la naturaleza sobre la solución de problemas.

¿Con qué criterio debemos juzgar las obras?

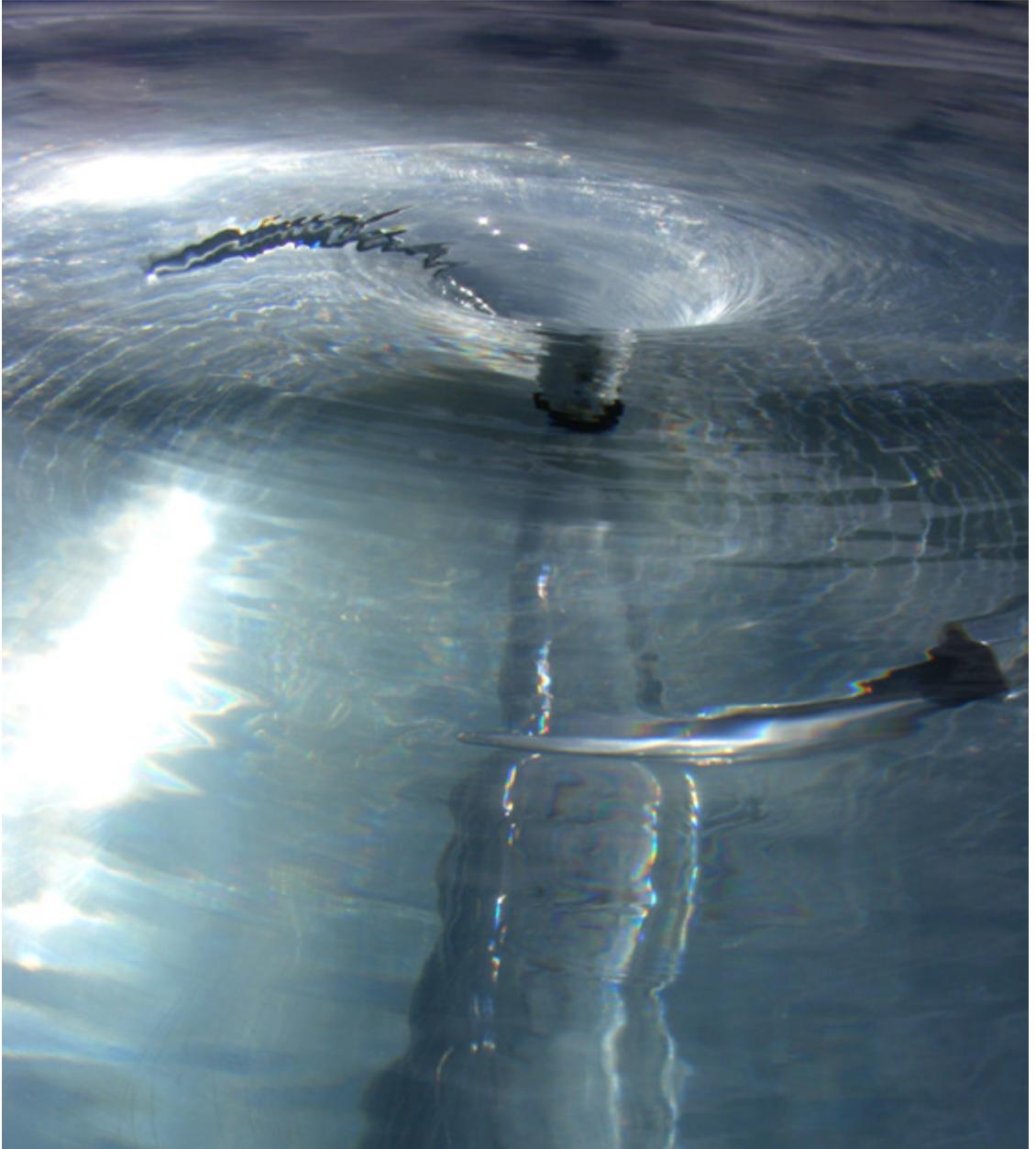
Si por criterio nos referimos a éxito y aplicación del diseño genial de la naturaleza, sería a través de la aceptación por parte de la industria y de la regulación gubernamental, que están motivadas principalmente por valores monetarios.

¿En qué estás trabajando en este momento?

PAX tiene varias subsidiarias que aplican el principio de racionalización de la naturaleza (del mínimo esfuerzo para el mayor impacto en el flujo de fluido) en una variedad de industrias. Hemos diseñado ventiladores, mezcladores, sistemas de aire acondicionado, barcos, e incluso una tecnología atmosférica que puede penetrar capas de smog para disiparlas en megaciudades como Beijing. Nuestra última subsidiaria es PAX Pure, que está desarrollando una tecnología innovadora bioinspirada para la purificación y desalinización del agua.

¿Qué trabajo/imagen has visto recientemente que realmente te haya emocionado?

Hay tantas investigaciones nuevas en proceso que es imposible enumerarlas todas. El trabajo de John Warner sobre química verde es particularmente interesante, y no está solo – hay una corriente de iniciativas que crece veloz en las ciencias de los materiales y la química. Ciertamente ha llamado la atención de China, en donde hay más de una docena de institutos dedicados sólo a la química verde. Puede llegar a ser el país con la más rápida aceptación, no sólo en los dominios relacionados con la química, sino en todos los campos.



Vórtice

Photo: Jo Jakeman, 2008 | Flickr cc

¿Cuál es tu obra biomimética favorita?

Para ser honesto, tendría que admitir que mi propia investigación sobre flujo de fluidos naturales, y las formas infinitas en la que se expresa en todas las formas desde tornados hasta erosión, conchas marinas, plantas y el cuerpo humano, siguen siendo para mí una gran fuente de fascinación.

¿Cuál es el último libro que has leído?

Creo que *Reinventing Fire* (reinventando el fuego), de Amory Lovins, es un libro importante – un “básico” para biomiméticos y también para líderes políticos.

¿A quién admiras? Por qué...

A cualquiera con el valor y convicción de querer hacer un cambio en nuestro problemático mundo.

¿Cuál es tu lema o cita favorita?

Hay una cita que con frecuencia se le atribuye a Goethe, pero que en realidad es de William Hutchinson Murray, de 1951, la cual lo dice todo:

“Hasta que uno se compromete, hay indecisión, la oportunidad de retroceder. Con respecto a todos los actos de iniciativa (y creación), existe una verdad elemental cuya ignorancia mata innumerables ideas y planes espléndidos: que en el momento en el que uno se compromete definitivamente, la Providencia se mueve también. Todo tipo de cosas ocurren para ayudarlo a uno, que de otra forma nunca hubieran sucedido.

Toda una serie de eventos surgen a partir de la decisión, generando en favor de un todo tipo de incidentes imprevistos y reuniones y ayuda material, que ningún hombre pudo haber soñado le sucederían. Lo que sea que puedas hacer, o soñar que puedes hacer, empiézalo. La audacia contiene ingenio, poder, y magia. Comienza ahora.”

¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

Pasar un día en la naturaleza, buceando entre arrecifes de coral.

¿Si no fueras diseñador/educador qué te gustaría haber sido?

Probablemente habría sido agricultor. ×



Spira desenrollándose

Photo: spiderman (Frank), 2009 | Flickr cc



Tigre azul | India

Photo: challiyan, 2007 | Flickr cc

A monarch butterfly is perched on a vibrant pink flower. The background is a clear, bright blue sky. The text 'Entrevista con Ashok K. Goel' is overlaid on a semi-transparent purple band across the middle of the image.

Entrevista con Ashok K. Goel

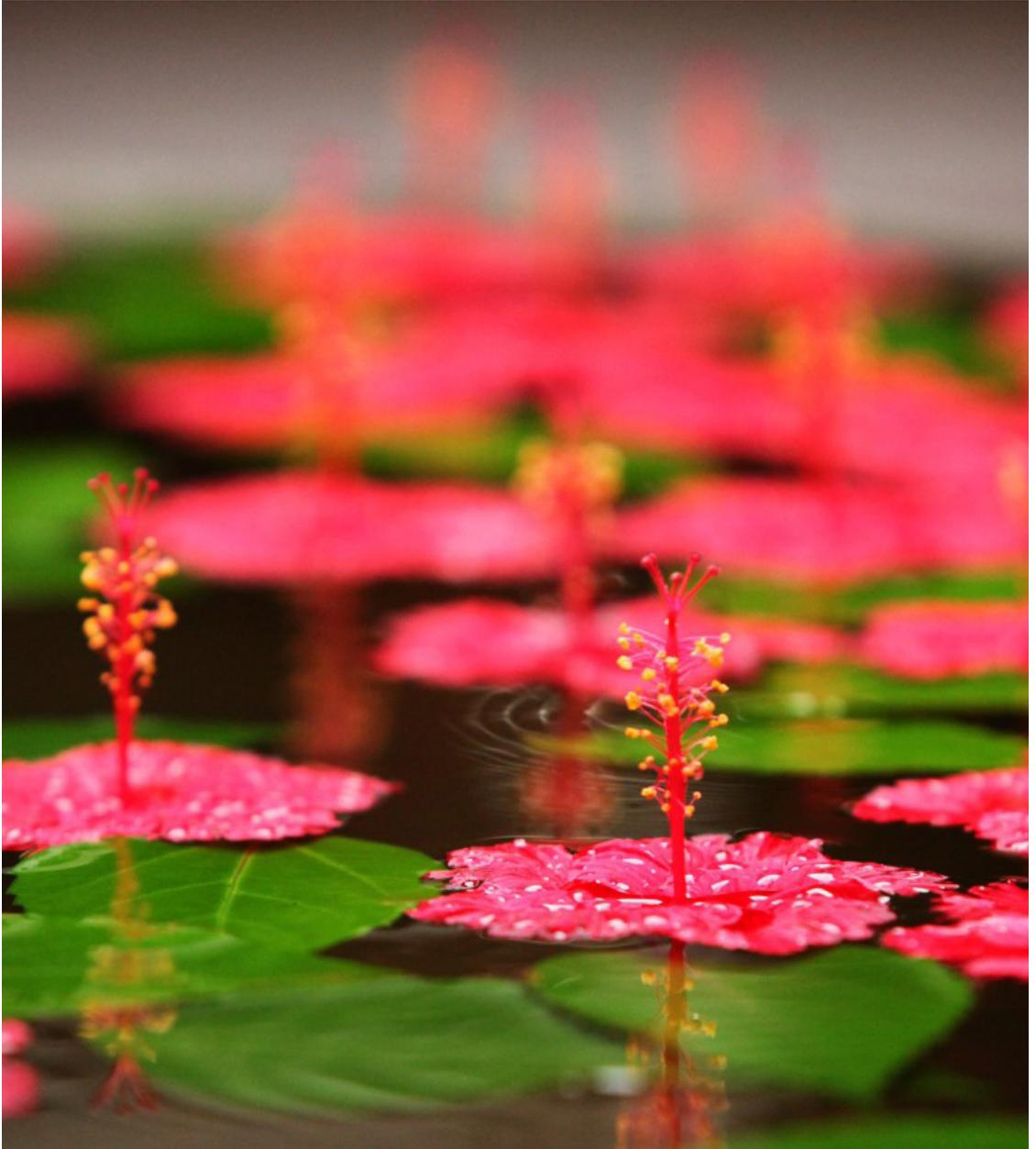
Entrevista con Ashok K. Goel

Ashok K. Goel es profesor de Ciencias Computacionales y Cognitivas (<http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/cogsci/>) en la Escuela de Computación Interactiva en el Georgia Institute of Technology en Atlanta. También es director del Laboratorio de Diseño e Inteligencia de la Escuela (<http://www.dilab.gatech.edu>) y Co-Director del Centro para el Diseño Bioinspirado del Instituto Tecnológico de Georgia. Nacido y criado en India, Ashok emigró a los Estados Unidos para cursar sus estudios de posgrado. Hace investigación sobre inteligencia artificial y ciencia cognitiva, con un enfoque en modelación computacional, diseño, y creatividad. Es editor asociado de *IEEE Intelligent Systems*, *AI for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, y *Advances in Cognitive Systems*; es miembro del consejo editorial de la revista *AI*, *Advanced Engineering Informatics*, y *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. Recientemente copresidió dos talleres sobre: Una agenda de investigación para diseño Bio-inspirado (http://designengineeringlab.org/BID-workshop/NSF_BID_Workshops.html) patrocinados por la US Science Foundation, y actualmente está coeditando un volumen sobre Métodos Computacionales y Herramientas para Diseño Biológicamente Inspirado. Su más reciente conferencia en TED (<http://www.youtube.com/watch?v=wiRDQ4hrgi8>) resume parte de su investigación en diseño biológicamente inspirado.

¿Cuáles son tus impresiones sobre el estado actual del diseño inspirado en la biomimesis o diseño bioinspirado?

El diseño biológicamente inspirado es un movimiento en crecimiento que responde a la necesidad de un diseño y desarrollo sostenibles y recibe su impulso del deseo de contar con creatividad e innovación en el diseño.

Desafortunadamente, aún no entendemos ninguna de estas dos frases rebuscadas: todavía tenemos que construir una metodología basada en principios para la creatividad en el diseño, o diseño biológicamente inspirado, o diseño sostenible. Resulta interesante el hecho de que hemos logrado avances considerables en las ciencias naturales como la biología. Por ello, existe un amplio consenso entre la mayoría de los biólogos sobre muchos principios fundamentales de la biología. Sin embargo, hemos avanzado relativamente poco en lo que Herbert Simon llama la “ciencia de lo artificial,” como diseño, economía, administración, sociología. Mucho del diseño biológicamente inspirado parece estar basado en el azar, y existe un debate importante incluso sobre sus elementos más básicos. Así que quizás la pregunta principal sobre el diseño biológicamente inspirado es cómo transformamos un paradigma prometedor en una disciplina científica.



Flores flotantes | India

Photo: Tom Olliver, 2009 | Flickr cc

¿Cuáles consideras que son los mayores retos?

Creo que tenemos tres grandes retos. Ya he hecho alusión al primero de ellos. Actualmente, no hay muchos estudios de caso exitosos sobre diseño bioinspirado enfocado en una meta e impulsado por la búsqueda de la solución a un problema en el que un diseñador o un equipo de diseñadores empiezan con un problema de diseño y después utilizan uno o más sistemas biológicos como analogías para abordar el problema. Entonces, el primer reto es ¿cómo construimos de manera colectiva una metodología de diseño, así como prácticas, servicios y herramientas de apoyo, para un diseño biológicamente inspirado que se enfoque en una meta y tome su impulso en la solución de problemas?

En segundo lugar, la industria y el comercio en general no están todavía dispuestos a aceptar el diseño biológicamente inspirado. Esto se debe a muchas razones, como inercia cultural, riesgos y costos de un nuevo paradigma de diseño, y escepticismo acerca del diseño biológicamente inspirado. El segundo reto consiste en cómo persuadimos de manera colectiva, a la industria y al comercio, para que ambos adopten el diseño biológicamente inspirado como un proceso fundamental del diseño.

En tercer lugar, partes de los medios de comunicación popular en general, y los medios populares de comunicación de la ciencia en particular, están causando un revuelo innecesario sobre el diseño biológicamente inspirado. Primero esto genera altas expectativas, y luego decepción por las expectativas no cumplidas y, finalmente, escepticismo acerca del diseño biológicamente inspirado. Así que el tercer reto es cómo de manera colectiva seguimos haciendo trabajos

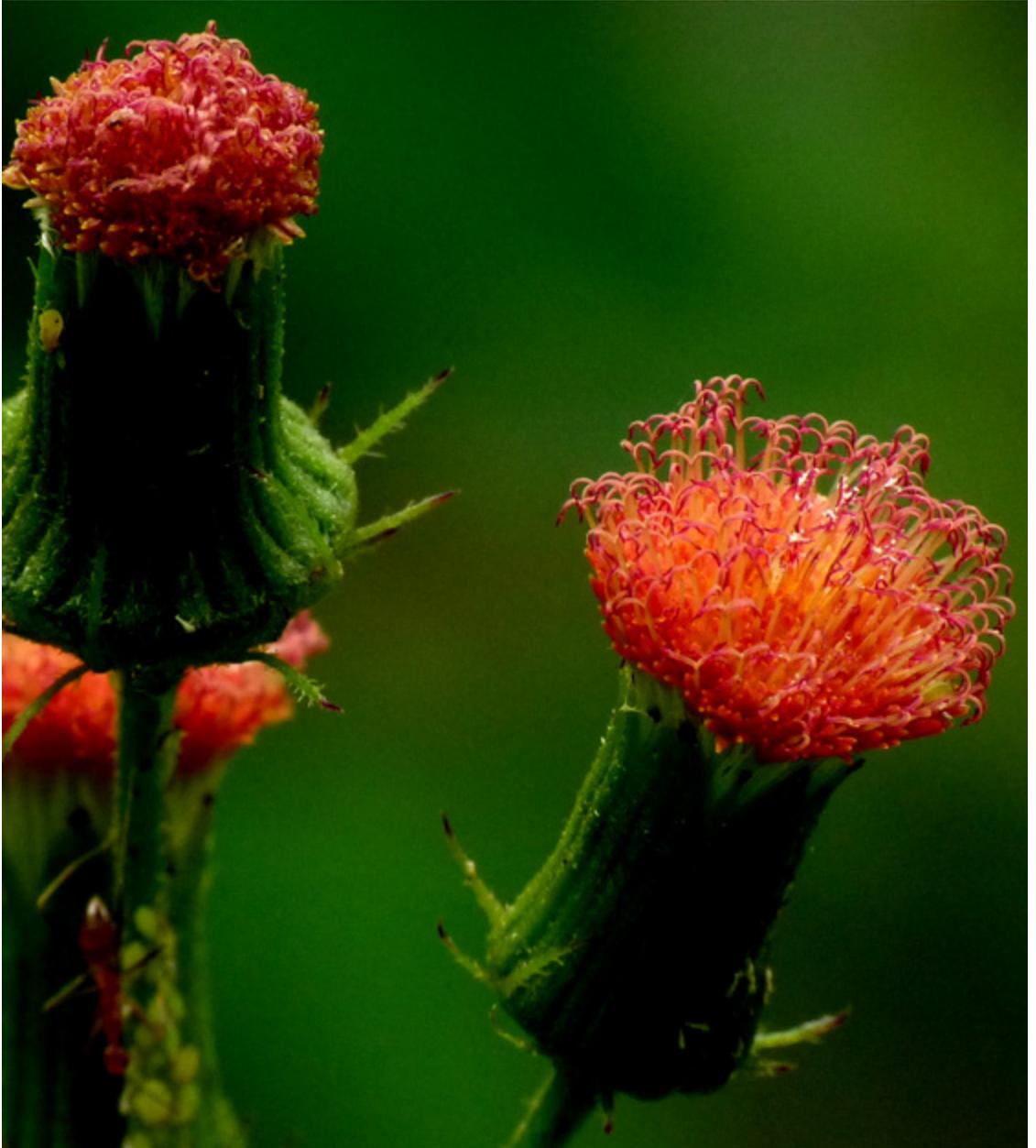
serios de diseño biológicamente inspirado sin distraernos por todo el ruido y los cambios en la moda.

¿Cómo has desarrollado tu interés en la biomimesis o diseño bioinspirado?

He tenido la fortuna de ser parte del Centro para el Diseño Biológicamente Inspirado del Instituto Tecnológico de Georgia (<http://www.cbid.gatech.edu/>). El centro me ha permitido colaborar con colegas de los campos de la biología e ingeniería, así como estudiar sistemáticamente y en la práctica el diseño biológicamente inspirado. También he tenido la oportunidad de organizar, junto con otros colegas, dos talleres patrocinados por la NSF (Fundación Nacional de Ciencias, por sus siglas en inglés) sobre diseño biológicamente inspirado. Estos talleres me han permitido familiarizarme con el trabajo de muchos científicos e instituciones destacadas que se dedican al diseño biológicamente inspirado. Ahora soy parte del Consejo del Biomimicry 3.8 Institute (<http://biomimicry.net/about/biomimicry38/institute/>) y BioInspired! (<http://bioinspired.net.ca/>), una comunidad bioinspirada práctica. Estos consejos me dan una perspectiva más amplia sobre el movimiento de diseño biológicamente inspirado como un todo.

¿En qué estás trabajando en este momento?

Durante los últimos meses, como parte de un proyecto patrocinado por el NSF (Fundación Nacional de Ciencias, por sus siglas en inglés) hemos tratado de entender los problemas a los que se enfrentan los diseñadores profesionales, consultores y administradores, y de relacionar



Cabeza gruesa, semillas de fuego (*Crassocephalum crepidioides*) | India

Photo: kadavoor, 2010 | Flickr cc

nuestra investigación sobre diseño biológicamente inspirado a sus tareas, problemas y necesidades. Hemos entrevistado a más de setenta profesionales del diseño sobre diseño biológicamente inspirado. Mis observaciones sobre el estado actual del diseño biológicamente inspirado y sobre los retos a los que el movimiento se enfrenta están basadas en parte en nuestras conversaciones con estos diseñadores profesionales. Otra lección que he aprendido de este ejercicio es que si bien es muy importante que como “científicos académicos” desarrollemos una metodología basada en principios para el diseño biológicamente inspirado, es útil que algunos de nosotros también actuemos como “intelectuales públicos” que promueven el paradigma. Creo que este es uno de los papeles que desempeña esta revista, *Zygot Quarterly*.

¿Cómo empezaste a trabajar en el diseño inspirado en la biomimesis o diseño bioinspirado?

Empecé a trabajar con el diseño bioinspirado a principios del verano de 2006 por razones profesionales y personales. Profesionalmente, desde mediados de los años ochenta estuve haciendo investigación sobre inteligencia artificial y las teorías de las ciencias cognitivas del diseño y la creatividad, tales como el pensamiento analógico y el pensamiento sistémico. Debido a que el diseño biológicamente inspirado es creativo y conlleva tanto pensamiento analógico como pensamiento sistémico, me ofrece un escenario importante para explorar y aplicar técnicas de inteligencia artificial y de ciencias cognitivas. Desde una perspectiva más personal, me preocupa mucho el tema de sustentabilidad ambiental, pero también me emociona bastante

el potencial que el diseño biológicamente inspirado tiene para ayudar a abordar algunos aspectos del diseño y desarrollo sustentable

Por tanto, trabajar en el diseño biológicamente inspirado me permite imaginar que estoy promoviendo la sostenibilidad.

¿A quién admiras? Por qué...

A Buda y a Gandhi, por las mismas razones: ambos fueron hombres de paz, que renunciaron a sus posesiones mundanas, buscaron el camino hacia la verdad, lucharon por la justicia, y cambiaron el mundo. A veces pienso que el hombre hace Dios a su imagen. Si esto es verdad, entonces un Dios a imagen de Buda y de Gandhi sería un Dios con el que yo podría estar feliz, y en paz.

¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

Soy el más feliz y experimento la mayor paz cuando mis dos hijos y yo estamos juntos. Sin embargo, desde que el mayor de mis hijos se fue a la universidad, esto sucede con poca frecuencia. Pronto el menor de mis hijos también irá a la universidad. Sé que todo esto es natural, una parte normal de la vida, pero sí que extraño estar los tres juntos.

¿Si no fueras científico/diseñador/educador qué te gustaría haber sido?

Tal vez trabajador social o legislador. Siempre he querido contribuir haciendo la diferencia, teniendo impacto. La política pública y el trabajo social a menudo hacen la diferencia en la vida de las personas y tienen un impacto en el

mundo. Por supuesto, también lo hacen muchas otras profesiones como la política y los negocios.

Desafortunadamente, no soy muy bueno ni en la política ni en los negocios. Así que me conformo con la política pública y el trabajo social. ×



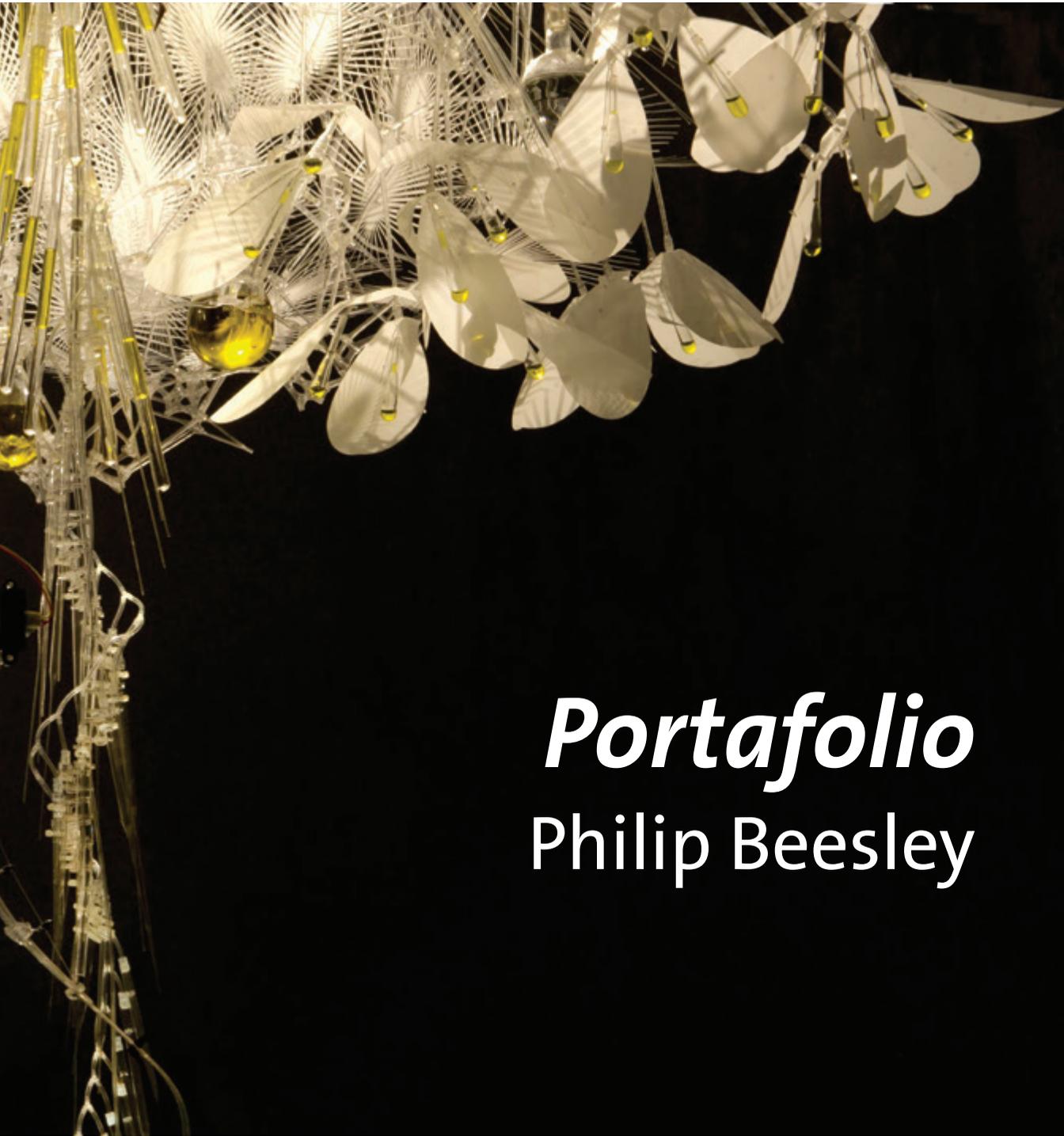
Flor de Loto

Photo: mirod, 2012 | Flickr cc



Series Hylozoico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012

©PBAI



Portafolio Philip Beesley

Philip Beesley es profesor en la Facultad de Arquitectura en la Universidad de Waterloo. Arquitecto y artista de medios digitales, recibió su educación en artes visuales en la Universidad de Queens, en tecnología en el Humber College y en arquitectura en la Universidad de Toronto. En Waterloo trabaja como Director para el Integrated Group for Visualization, Design and Manufacturing y como Director de la editorial Riverside Architectural Press. También tiene el puesto de Examinador en la University College London.

Dedicado a ampliar el papel de las artes integradas dentro de la arquitectura, Beesley ha trabajado las últimas tres décadas en escultura, medios digitales de “siguiente generación” y artes visuales interdisciplinarias. [El se ha enfocado en edificios públicos acompañados de esculturas e instalaciones paisajísticas, así como al diseño de exposiciones y escenarios. Sus proyectos experimentales de los últimos años han trabajado cada vez más con estructuras “textiles” ligeras y sumergibles fabricadas digitalmente, mientras que las generaciones más recientes de su trabajo han presentado sistemas cinéticos interactivos que usan densas formaciones de microprocesadores, sensores y sistemas de activación. Estos ambientes buscan una conciencia emocional distribuida y combinan sistemas casi vivientes y sintéticos.

Entre los principales colaboradores de Beesley están el ingeniero mecánico Rob Gobert y la bióloga sintética Rachel Armstrong. El trabajo de Beesley fue seleccionado para representar a Canadá en la Bienal de Venecia de Arquitectura en 2010, y ha sido reconocido por el Prix de Roma en Arquitectura, VIDA 11.0, FEIDAD, además de recibir dos premios del Gobernador General de Canadá (Governor General’s Awards) y ser finalista de los premios Katerva.

El bufete de Beesley, de nombre PBAI y ubicado en Toronto, es un estudio de diseño interdisciplinario

que integra la visualización digital avanzada, diseño industrial, desarrollo de prototipos digitales e ingeniería mecatrónica. Algunas de sus instalaciones recientes incluyen The City Gallery (Wellington, Nueva Zelanda), The Dutch Electronic Art Festival (Rotterdam, Países Bajos), Fundación Telefónica (Madrid, España), the Digital Arts Festival (Taipei, Taiwán) y la Bienal de Sidney en 2012, así como adquisiciones permanentes para The Leonardo (Salt Lake City, EEUU) y la tienda departamental Simons (Edmonton, Canadá).

<https://www.philipbeesleystudioinc.com>

¿Cu es tu impresión del estado actual de la biomesis o diseño bioinspirado?

Tengo que responder a esta pregunta como un arquitecto/artista. Pienso que hay un optimismo extraordinario en la investigación que ha influido en la profesión de manera curiosa e interesante. Ha producido innovación en prototipos de productos para el mercado, y nos ha permitido optimizar el uso de energía y materiales para vivir de manera más sostenible. Parece “natural”, perdonando la frase, aprender de las formas exitosas de la naturaleza. En mi campo del arte y el diseño, aprecio la disponibilidad de herramientas comerciales accesibles. El movimiento de código abierto, por ejemplo, ha ofrecido programas gráficos, como Grasshopper, con los cuales un diseñador puede integrar la exploración de grano fino en sus procesos iterativos de diseño.



Series Hylozóico: Vesica | La Galería de la Ciudad, Wellington, Nueva Zelanda, 2012 | ©PBAI

¿Cuáles consideras que son los mayores desafíos?

Existe una extraña falta de preocupación; con esto quiero decir que no hay el tipo de debate sobre el diseño basado en la naturaleza que hubiéramos podido ver en el pasado.

Siempre existe el peligro de que la biomimesis se asocie, de una manera negativa, con un movimiento político. Esto daría lugar a un análisis no crítico de las obras.

A medida que el uso de herramientas paramétricas se hace más común, aumenta la posibilidad de que se generen diseños sin cuidado que, como el cáncer, crezcan meramente a partir del programa de software en sí.

Habiendo dicho eso, debo decir que disfruto de esta turbulencia.

¿En qué áreas deberíamos estarnos enfocando para avanzar en el campo de la biomimesis?

En general, me gustaría mucho ver alguna reacción acerca de este fenómeno de diseño por parte de los expertos en cultura.

También creo que el concepto de “ambivalencia” puede ser de utilidad. Me vienen dos escenarios a la mente: yuxtaponer la preocupación por la naturaleza con su defensa, y combinar la precisión de la ciencia y de la ingeniería con un poco de ficción desenfundada podría crear ricas posibilidades. El involucramiento expresivo de futuristas con las habilidades técnicas de los diseñadores paramétricos, por ejemplo, podría dar lugar a diseños potencialmente emergentes. Lo peligroso es que, al igual que el sintetizador Moog en el mundo de la música, un paradigma nuevo y

sorprendente podría engendrar una nueva rigidez, un proceso automático que produzca resultados homogéneos por parte de sus seguidores.

La “mortalidad” es un concepto que creo que la biomimesis podría explorar de maneras que empaten un acogimiento de la naturaleza con la idea de hacerle daño. Hay muchas posibilidades de trabajar con esto si se hace con sensibilidad: degradación y agotamiento, por ejemplo, no en el sentido de un extenuante entrenamiento físico, sino más bien relacionado con la idea del cambio de piel y la renovación.

¿Bajo qué criterios podríamos evaluar las obras?

Yo opino que el trabajo debe juzgarse por su dignidad y por la importancia de su impacto, y creo que éstas se pueden cuantificar. El diseño debería adoptar algunas de las prácticas de la ciencia y de la ingeniería.

¿Debería nuestro trabajo mostrar más rigor?

Bueno, ¡rigor es la primera palabra en el rigor mortis! Además de dignidad, el trabajo necesita un componente complementario. A esta profesión le pertenece una respuesta emocional y vigorosa a las posibilidades de un proyecto. El lenguaje de la ética y de la moral debe ser parte del entrenamiento de todos los profesionales de este campo.



Series Hylozoico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012 | ©PBAI

¿En qué estás trabajando ahora?

Estamos diseñando una instalación permanente para la tienda departamental Simons en su nueva ubicación en West Edmonton. Está inspirada en la Aurora Boreal.

¿Cómo te iniciaste en la biomimesis o diseño bioinspirado?

Varias personas influyentes han marcado mi camino hacia este campo:

Un diálogo con Warren Seelig, textil de Filadelfia, que me llevó a Wilhelm Worringer, un filósofo alemán que escribió sobre la abstracción y la empatía. Mi colaboración con Warren me llevó a usar los geotextiles como elementos para mejorar mis obras, delineadores espaciales.

Rachel Armstrong y una conversación en Bartlett fueron importantes. Rachel me presentó su trabajo en investigación sobre protocélulas y su enfoque multidisciplinario, la investigación de sistemas complejos y el uso de algoritmos para reproducirlos. Fue a partir de exponerme a esto que empecé a pensar en la arquitectura como un metabolismo.

Michelle Addington, una ingeniera mecánica que conocí en Roma hace quince años, que también me ha influenciado.

Rupert Soar, de la Universidad de Loughborough, es un ingeniero mecánico y con conocimientos en la fabricación digital y fascinado con los sistemas celulares y los montículos de termitas. Trabajaba con los acrecentamientos oscilantes que se observan en los termiteros y experimentaba con gradientes de energía, humedad y presión para lograr efectos. Esto, pensé yo, podría vincu-

larse a un diseño más amplio, y también aprendí que los insumos pequeños pueden generar grandes impactos como los que se observan en algunas de las hermosas cadenas que él produjo.

¿Qué trabajo o imagen has visto recientemente que te haya emocionado?

Iris van Herpen y su trabajo de los últimos años me han intrigado. Sus vestidos capturan algunas cualidades sobresalientes, una mezcla de lo grotesco terrenal de las grutas y de la naturaleza etérea del humo y de los halos.

¿Bajo qué conceptos biológicos podrías clasificar tu trabajo?

Resiliencia

Metabolismo

Máxima potencia / interacción

Sistemas difusivos

¿Algunas ideas antes de terminar?

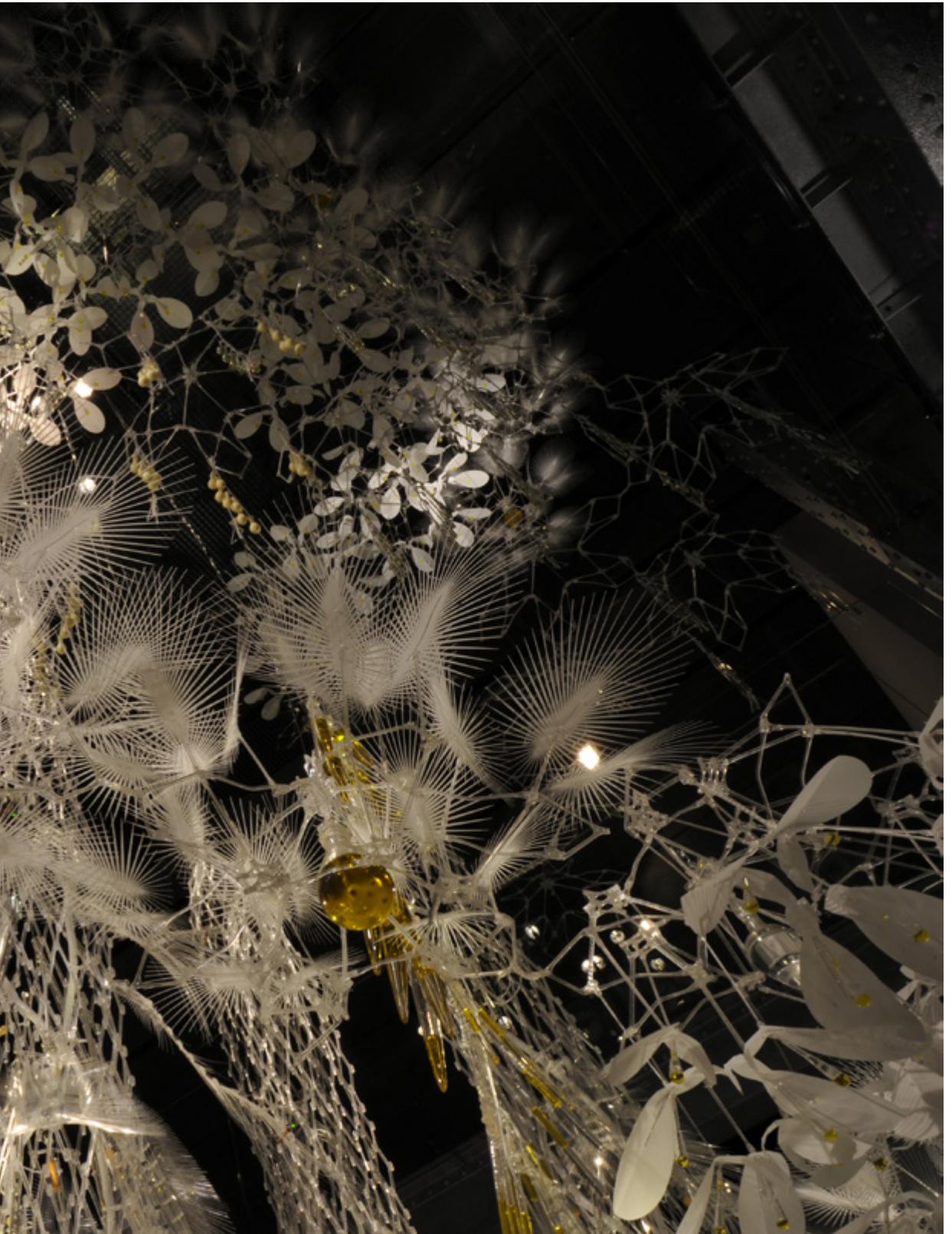
La fragilidad y la vulnerabilidad como virtudes pueden cambiar nuestro lenguaje de diseño. La metáfora que yo usaría es el copo de nieve contra la gota de lluvia. La gota de lluvia es nuestro modelo reduccionista actual, el líquido cae del cielo y forma una esfera perfecta. Por otro lado, el copo de nieve también es un modelo válido de algo que surge a partir de la emisión de energía, tomando una forma hermosa y expansiva. ¿Por qué no tener una oscilación entre los ambos? ×



Series Hylozóico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012 | ©PBAI



Series Hylozónico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012 | ©PBAI





Series Hylozóico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012 | ©PBAI





Series Hylozóico: Espacio | Fundación Telefónica, Madrid, España, 2012 | ©PBAI





Campo protocélula | Festival holandés de Arte electrónico, 2012 | ©PBAI





Campo protocélula | Festival holandés de Arte electrónico, 2012 | ©PBAI





Series Hylozóico | Sybyl, 18ª Bienal de Sydney, Australia, 2012 | ©PBAI





Series Hylozóico | Sybyl, 18ª Bienal de Sydney, Australia, 2012 | ©PBAI





Series Hylozóico | Sybyl, 18ª Bienal de Sydney, Australia, 2012 | ©PBAI





Sin título

Photo: árticotropical, 2009| Flickr cc



Reseña literaria
*El diseño en la
naturaleza*

Tim McGee

El diseño en la naturaleza: Cómo la teoría constructal gobierna la evolución en la Biología, la Física, la Tecnología, y la Organización Social por Adrian Bejan y J. Peder Zane

“La vida es flujo”, es la recapitulación tipo zen que Adrian Bejan y J. Peder Zane proponen como la principal tesis en su libro, *Design in Nature* (El diseño en la naturaleza). En el libro los autores describen “La Ley o Teoría Constructal”, el principal paradigma de organización, propuesto por Bejan para nuestro mundo físico, biológico y social. Cuando escribe sobre el fluir, Bejan no está siendo poético, sino que nos está diciendo, literalmente, que la vida es un sistema fluido, e incluso más profundamente, que la vida no es tan precisa como pudiéramos esperar. La vida en sí es un “giro en la trama de la historia de los flujos de masa y energía que toman forma mediante la teoría constructal.”

El libro explora este mundo aparentemente extraño donde los animales están conformados

para ser “como gotas de lluvia en la cuenca de un río”. Bejan emplea una narrativa informal y personal que explica el mundo y todo lo que hay en él como un complejo de sistemas de flujos que se apegan a la ley constructal. En ocasiones este enfoque interfiere con la comunicación de la idea, pero ofrece una perspectiva personal que se anticipa a los retos para la aceptación de su teoría.

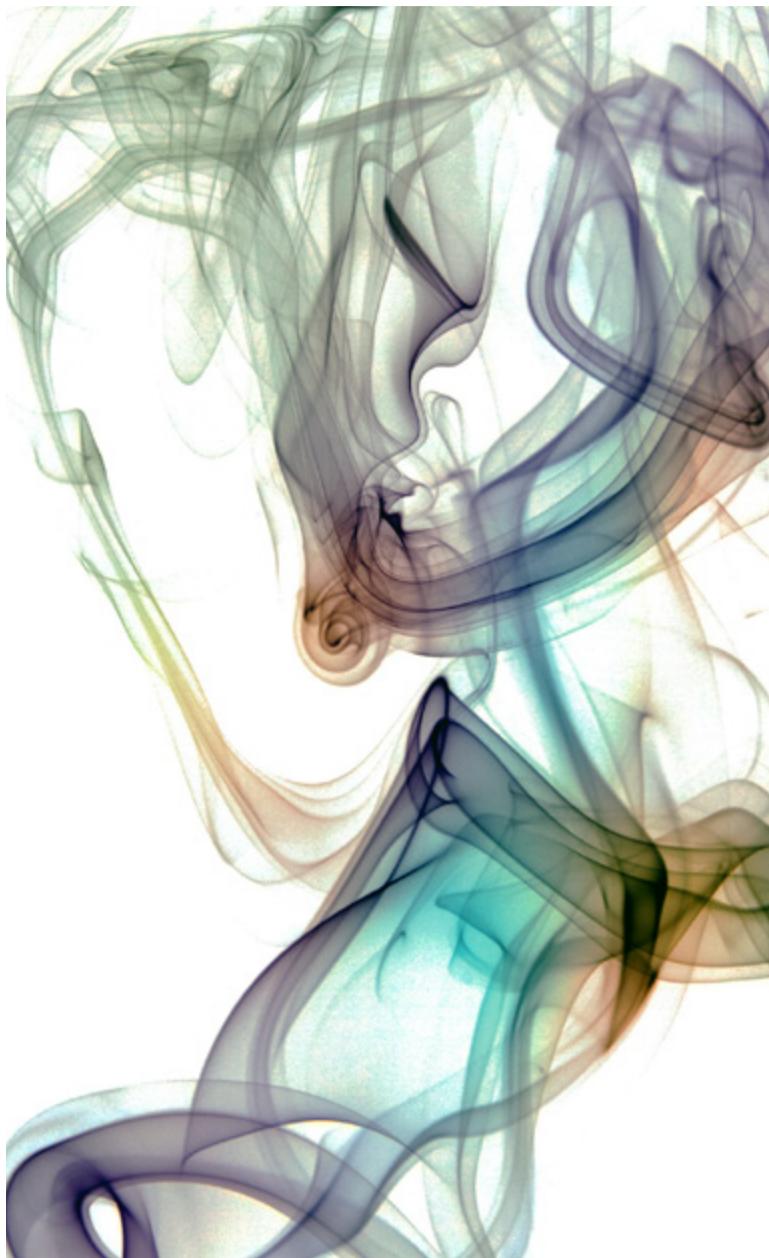
La ley constructal es la idea de que cualquier sistema de flujo va a evolucionar en el tiempo, por lo que el diseño (la forma) del sistema de flujo cambiará para permitir un mejor flujo a través del sistema.

La ley constructal desafía algunos de los supuestos arraigados entre la comunidad científica. Lo más relevante para mí es la exploración de Be-

Lo que el autor propone es una ley universal que gobierna la formación y lo cambiante de las formas macroscópicas, tanto vivientes como no vivientes, de nuestra biosfera. Dicha ley se concibe como un principio básico de la física, del mismo orden de la Segunda Ley de la Termodinámica. Como tal, se afirma que es la responsable de toda la generación de diseños y de la evolución en la naturaleza. En 1996, Bejan la definió así: “Para que un sistema de tamaño finito permanezca en el tiempo (vivir), debe evolucionar de tal forma que otorgue un fácil acceso a las corrientes impuestas que fluyen a través del mismo.”

Leyes de la Termodinámica: La termodinámica es la rama de las ciencias naturales que se ocupan del calor y de la relación de éste con otras formas de energía y trabajo. Define variables macroscópicas (tales como temperatura, energía interna, entropía y presión) que describen las propiedades promedio de los cuerpos materiales y de la radiación, y explica cómo se relacionan y por medio de qué leyes cambian con el tiempo. La termodinámica no describe los componentes microscópicos de la materia, y sus leyes pueden derivar de la mecánica estadística.

La Primera Ley de la Termodinámica establece que la energía se puede ganar o perder mediante



Sin título

Photo: nicholasjon, 2009 | Flickr cc

jan sobre la evolución. De acuerdo a la teoría moderna de la evolución, la evolución no tiene visión a futuro. La evolución no puede “predecir” el futuro. Los biólogos se han enfocado en el mecanismo de la variación y selección, pero Bejan señala que esto es sólo una parte de la historia. Desde un punto de vista constructal del universo, la evolución tiene una dirección, una meta: permitir un mejor flujo a través del sistema. Bejan insiste que esto no es una alegoría, sino el resultado de la termodinámica; todos los sistemas evolucionarán hacia un mejor flujo o dejarán de existir.

Bejan nos lanza la pregunta “¿Por qué existen los árboles?” Y ésta tiene una respuesta sencilla una vez que entendemos el flujo del sistema en cuestión. Los árboles existen porque son necesarios: para facilitar el flujo del agua desde el suelo hasta el cielo. De hecho, los árboles siempre se verán como árboles. Si llegáramos a un mundo alienígena que hubiera tenido la misma gravedad, atmósfera y flujos de energía, en ese mundo habrían evolucionado árboles. El lenguaje determinista y la intención es lo que distingue a la teoría constructal. La ley constructal no sólo explica la estructura de los árboles, sino que es una ley que nos permite entender por qué emergen los árboles, y predecir cómo evolucionarán en el futuro.

La organización del libro establece una secuencia interesante de casos de estudio construidos a partir de la idea del impacto universal de la ley constructal. Bejan explica cómo la ley puede predecir la forma de un árbol, así como también la de la raíz, e incluso la estructura del bosque entero. De hecho la ley constructal ha predicho los patrones climáticos globales que han surgido en la Tierra. Desde una perspectiva de biomi-

mesis la escalabilidad universal de la ley ofrece un puente único. Agrega una capa de resultados esperados a lo que antes se podría haber visto como propiedades emergentes generadas al azar, y nos informa sobre cómo nuestras propias intervenciones de diseño pueden permitir un mejor flujo.

Bejan no se conforma con predecir el diseño de los árboles, sino que señala que todos los sistemas de flujo, incluyendo el flujo de la cultura humana y de las ideas, se apegan a la ley constructal. Los biólogos han estado cruzando la línea entre estos campos desde Charles Darwin. Una anécdota famosa relata que a E.O. Wilson lo mojaron con una jarra de agua por sugerir que la evolución puede ayudar a explicar el comportamiento social. La evolución, como teoría para descifrar algunas de las preguntas más difíciles de las humanidades, se ha debatido y expandido como un paradigma en los últimos 150 años. Bejan va un paso más allá, diciéndonos que la evolución no es sólo para los biólogos, sino que también es un resultado esperado desde la perspectiva de la física. “Mientras que Darwin mostró las relaciones entre las criaturas biológicas, la ley constructal conecta todo en el planeta”. Este resultado universal de los sistemas de flujo quiere decir que, cuando se enmarcan como sistemas de flujo, las preguntas que se plantean en el ámbito de las humanidades tomarán nuevas dimensiones y podrán relacionarse con los principios físicos de los flujos.

Lo que con frecuencia resulta un desafío en la lectura de este libro es que se pide al lector que imagine sistemas de flujos y principios de la física.

procesos químicos, pero no se puede ni crear ni destruir. La Segunda Ley dice que la energía se disipa de manera inevitable, es decir que se mueve de estructuras ordenadas hacia la entropía, y que este flujo es irreversible.

La Ley Constructal propuesta por el autor se basa, en gran medida, en la condición física observada de la termodinámica tal como se resume en estas dos leyes. Las “corrientes impuestas” a las que se refiere la Ley Constructal hacen referencia a este flujo de energía, y dan conforman la evolución de la forma física a lo largo del tiempo.

Autoorganización: la autoorganización es un proceso en el que algún resultado o forma de orden global surgen de las interacciones locales entre los componentes de un sistema desordenado en un inicio. Este proceso es espontáneo: no es controlado ni dirigido por ningún agente o subsistema dentro o fuera del sistema; puede, sin embargo, determinarse por medio de leyes o procesos básicos. En este caso, el autor vería el flujo de energía de concentraciones más altas a concentraciones más bajas, por ejemplo, como un motor para la autoorganización continua y para conformar las formas biológicas que están transformándose para dar lugar a este flujo.



Sin título

Photo: Feggy Art | Flickr cc



→ Agua (explorada)

Photo: johanlundahl, 2008 | Flickr cc

Otras referencias sobre termodinámica y evolución biológica:

Haynie, D. (2001). *Biological Thermodynamics*. Cambridge, UK. Cambridge University Press.

Morowitz, H. & Smith, E. (2006). *Energy Flow and the organization of life*. Santa Fe Institute working paper. <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/06-08-029.pdf>

Schneider, E., Sagan, D. (2005). *Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics and Life*. University of Chicago Press.

Schrodinger, Erwin (1944). *What is life?* http://whatislife.stanford.edu/LoCo_files/What-is-Life.pdf

Toussaint, O. & Schneider, E. (1998). The Thermodynamics and Evolution of Complexity in Biological Systems. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 120, 3-9.

Otras reseñas de “Design in Nature” (El diseño en la naturaleza):

<http://www.publishersweekly.com/978-0-385-53461-1>

<http://www.openlettersmonthly.com/book-review-the-design-in-nature/>

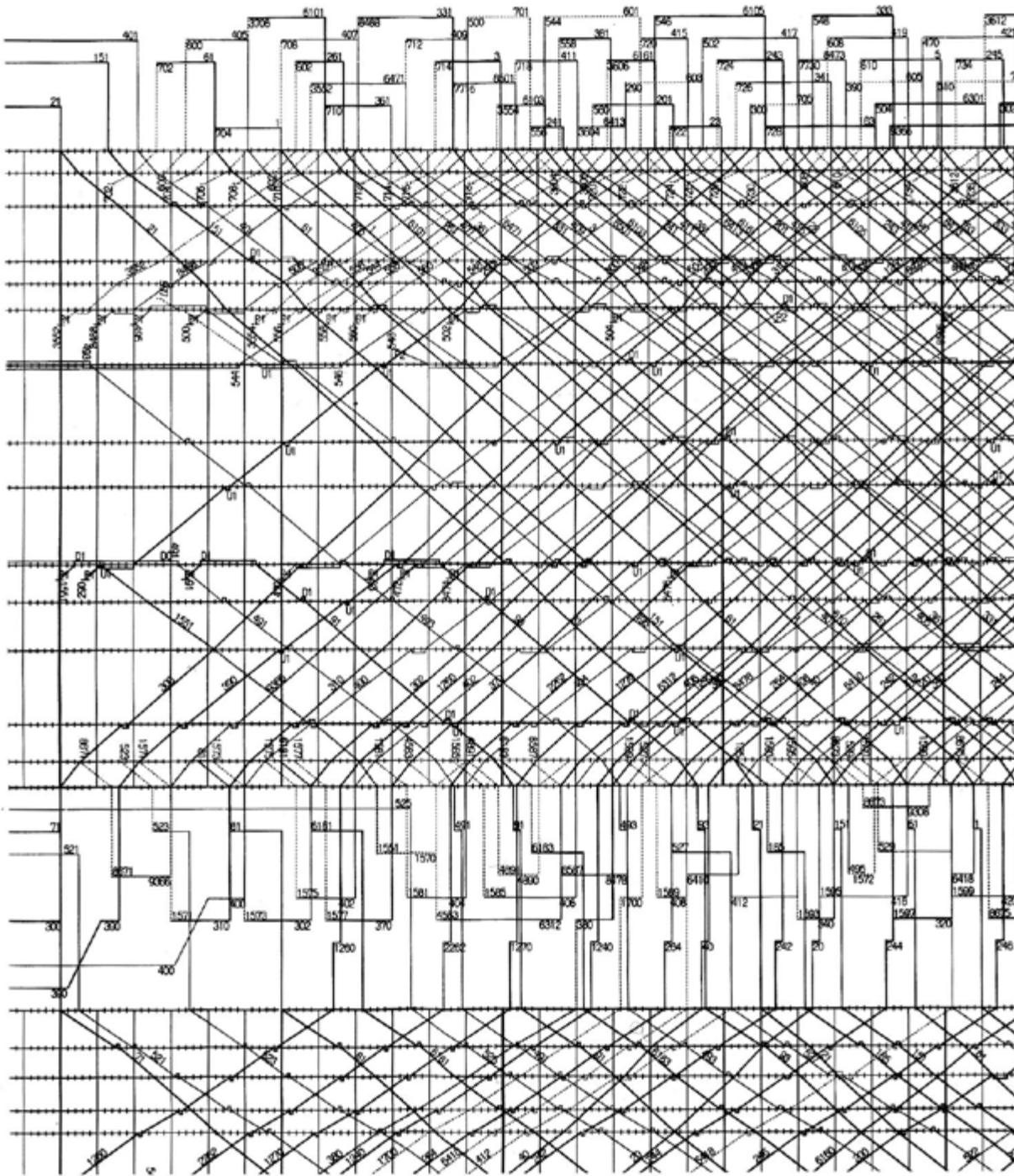
<https://www.kirkusreviews.com/book-reviews/adrian-bejan/design-in-nature/>

De acuerdo al análisis de este lector en particular, algunas visualizaciones y diagramas bien desarrollados harían que el material fuera mucho más accesible para un público más amplio. A veces también pareciera que el autor del libro lucha por desarrollar un nuevo lenguaje convincente para expresar la ley constructal. La ley constructal define explícitamente palabras como vascularización, esbeltez, mejor, complejidad e incluso evolución en formas con las que muchos lectores no están familiarizados.

La ley constructal parece ofrecer un poderoso estuche de herramientas para explorar cualquier sistema, incluida la condición humana. Es un pasaporte para examinar todos los temas desde una perspectiva de sistemas de flujo, elevando (o reduciendo, dependiendo de tu perspectiva) la conversación al campo de la termodinámica y permitiéndonos predecir la forma de las cosas que se avecinan. La ley constructal ofrece una capacidad de predicción a la evolución de los sistemas, y sugiere que si puedes entender qué está fluyendo, puedes predecir cómo evolucionará el sistema a lo largo del tiempo. Inherentemente, esto tiene aplicaciones sobre la manera en que podemos administrar nuestra propia tecnología, cultura, u organizaciones para permitir este resultado determinístico universal, porque como Bejan señala “la evolución del diseño no tiene fin”. ×

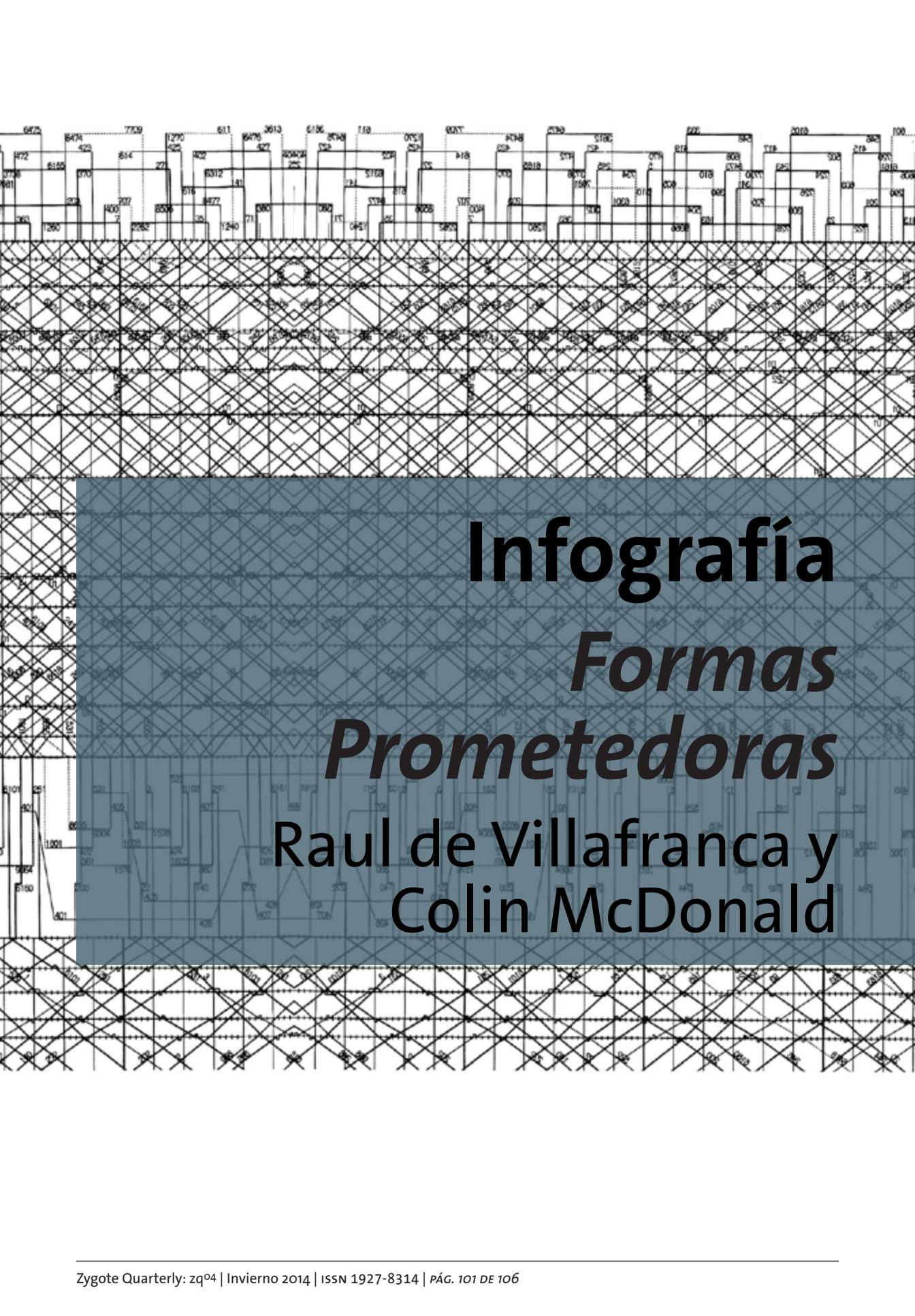
Tim McGee es biólogo y diseñador en la oficina de Boston de la firma internacional de diseño Ideo. Anteriormente trabajó como biólogo y estratega en Biomimicry 3.8, un instituto que combina servicios educativos y de consultoría, del cual recibió una certificación como Profesional en Biomimesis.

Obtuvo su título de maestría en Bioquímica y Biología Molecular en la Universidad de California, campus Santa Bárbara. Tim se dedica a integrar los campos de la biología, diseño, ingeniería y negocios para crear sistemas regenerativos, productos, y servicios que revitalicen nuestra relación con el mundo viviente.



Horarios de Shinkansen

Foto: kerim, 2005 | Flickr cc



Infografía

Formas

Prometedoras

Raul de Villafranca y
Colin McDonald



Mundo natural

Martín pescador (*Alcedo atthis ispida*)

Reino

monera

fungi

protista

plantae

animalia «

Fenómenos naturales

proceso

forma «

sistema

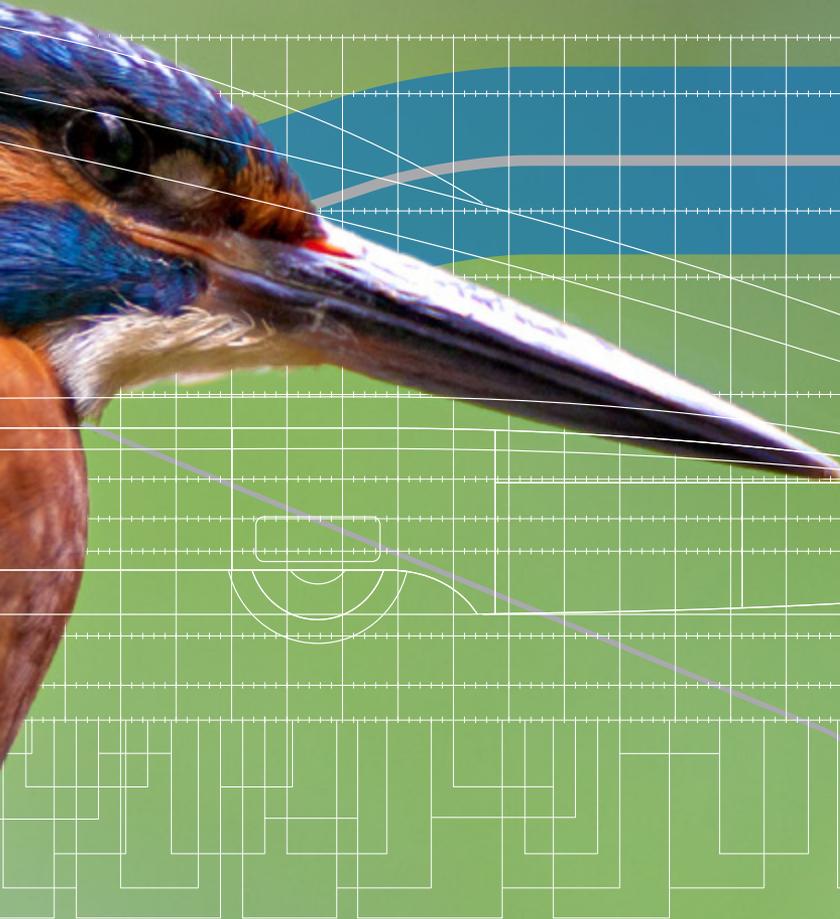
Globulos rojos



Molécula de H2O



Magnitud mundo natural



Parámetros de diseño

estructura «
información
espacio
sustancia
energía
tiempo

Resultados

equidad
salud personal
conservación
riqueza
bienestar de la sociedad «

Mundo diseñado

Shinkansen Sanyo Serie 500

Martín pescador | Photo: daniele paccaloni, 2011 | Flickr cc







ISSN 1927-8314