



zq<sup>01</sup>

PRIMAVERA 2012





# Acerca de Zygote Quarterly

## Editores

---

Marjan Eggermont

Norbert Hoeller

Tom McKeag

## ZQ en español | Editores

---

Raúl de Villafranca

Carolyn Aguilar

Azucena Garza

## Traducción

---

Editorial, En esté número, Contenido; Azucena Garza. Cuando el éxito falla, Entrevista con Jay Baldwin, Entrevista con Maria Mingallon, Diseñado... hasta la médula; Lídice Murguía

Robles. Julian Vincent, Entrevista con Jane Fulton Suri, El Poder de las Abejas y de las Hormigas; Ana Gabriela Robles.

## Colaboradores

---

Sayuri Yamanaka

Manuel Quirós

Delfín Montañana Palacios

## Oficinas

---

Calgary

Ciudad de México

Bangalore

Madrid

Toronto

## Contacto

---

[info@zqjournal.org](mailto:info@zqjournal.org)

## Arte de la Cubierta

---

Foto cortesía de Maria Mingallon

pp. 2-3: Gusano del tomate | Foto: RobMan170,  
2009 | Flickr cc

## Diseño

---

Marjan Eggermont

Colin McDonald

## ISSN

---

1927-8314

## Edición de la versión en Español

---

Zygote Quarterly

Universidad Iberoamericana Ciudad de México,  
Departamento de Arquitectura



Hace 10 años, el Departamento de Arquitectura de la Universidad Iberoamericana inició una seria y profunda acción en torno al tema de la sostenibilidad y el diseño. En 2005 tuvimos el primer contacto con la Biomimesis y con Janine Benyus, y desde entonces hemos evolucionado en la disciplina junto con los más relevantes pensadores ecológicos nacionales e internacionales. La Biomimesis es una de nuestras líneas de pensamiento y metodologías clave para la preparación de docentes y estudiantes.

Hoy iniciamos este emocionante proyecto, sumándonos a Tom, Norbert, y Marjan, para traducir al español la revista ZQ (Zygote Quarterly)\* sobre el diseño bioinspirado. Es un trabajo realizado por nuestros nuevos expertos en la Biomimesis, comprometidos con el bienestar del planeta y la humanidad, y en sintonía con la filosofía de ZQ.

El mundo hispanoparlante comprende casi 500 millones de personas, y más de 400 millones de ellas tienen como lengua nativa el español. ZQ en español no sólo les abre la posibilidad de entender el diseño bioinspirado en su propio idioma, sino que también representa la vía para una polinización ecocultural global; una segunda oportunidad ecológica como la que se presentó hace 3,600 millones de años con las cyanobacterias cuyas conexiones transformaron al planeta en la maravilla que hoy es.

ZQ en español es una publicación digital abierta al público, con una riqueza artística, científica y académica de excelencia, incluyente y diversa, que honra y celebra la sabiduría del mundo natural del que somos parte. ZQ busca la inspiración profunda para que nuestras mentes y corazones creativos resurjan ante las maravillas de la vida y así nos reconectemos al aliento del planeta.



Raúl de Villafranca y Carolyn Aguilar

\*zygote = cigoto “célula resultante de la fusión y la segmentación reproductiva sexual de los organismos vivos”



Gusano del tomate

Foto: RobMan170, 2009 | Flickr cc

Hemos lanzado esta revista porque nadie más lo había hecho antes. Es decir, cuando buscamos una sola fuente de información para el público en general sobre diseño bioinspirado... no había ninguna. Ciertamente encontramos revistas arbitradas llenas de trabajos académicos y cada vez más artículos en la prensa popular. Entre los dos, sin embargo, se extendía un desierto de información. Más aún, ninguna de las fuentes parecía estimular ambas mitades de nuestros cerebros como diseñadores y solucionadores de problemas, fascinados con la ciencia de la biología, embelesados por los héroes que hacen un uso experto de ella, y cautivados por la belleza absoluta de la naturaleza.

El resultado es esta publicación, y, en el proceso de planificarla, este manifiesto:

Nuestra misión: establecer una plataforma creíble que muestre el nexo entre la ciencia, tecnología y creatividad en el campo del diseño inspirado en la biología, utilizando estudios de caso, noticias y artículos que sean ejemplares en su impacto en el campo, rigurosos en su metodología, y relevantes para el lector de hoy.

Nuestros lectores: aquéllos que sienten curiosidad por los mundos convergentes de la biología, la tecnología y el diseño, y que buscan maneras de entenderlos y utilizarlos en sus vidas.

¿Qué se necesita?

- Una nueva fuente de información tanto para el profano como para el profesional en ejercicio.
- Un nuevo modelo de presentación que refleje y enmarque el contenido de un campo multidisciplinario que cambia rápidamente.

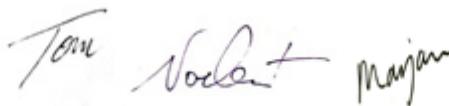
- Una nueva revista que apele tanto a los sentidos como al intelecto.

- Un nuevo espacio, situado entre la prensa popular y las revistas arbitradas, para una gran diversidad de profesionales que trabajan en los puntos de intersección entre el diseño y la biología y a quienes les gustaría contar sus historias.

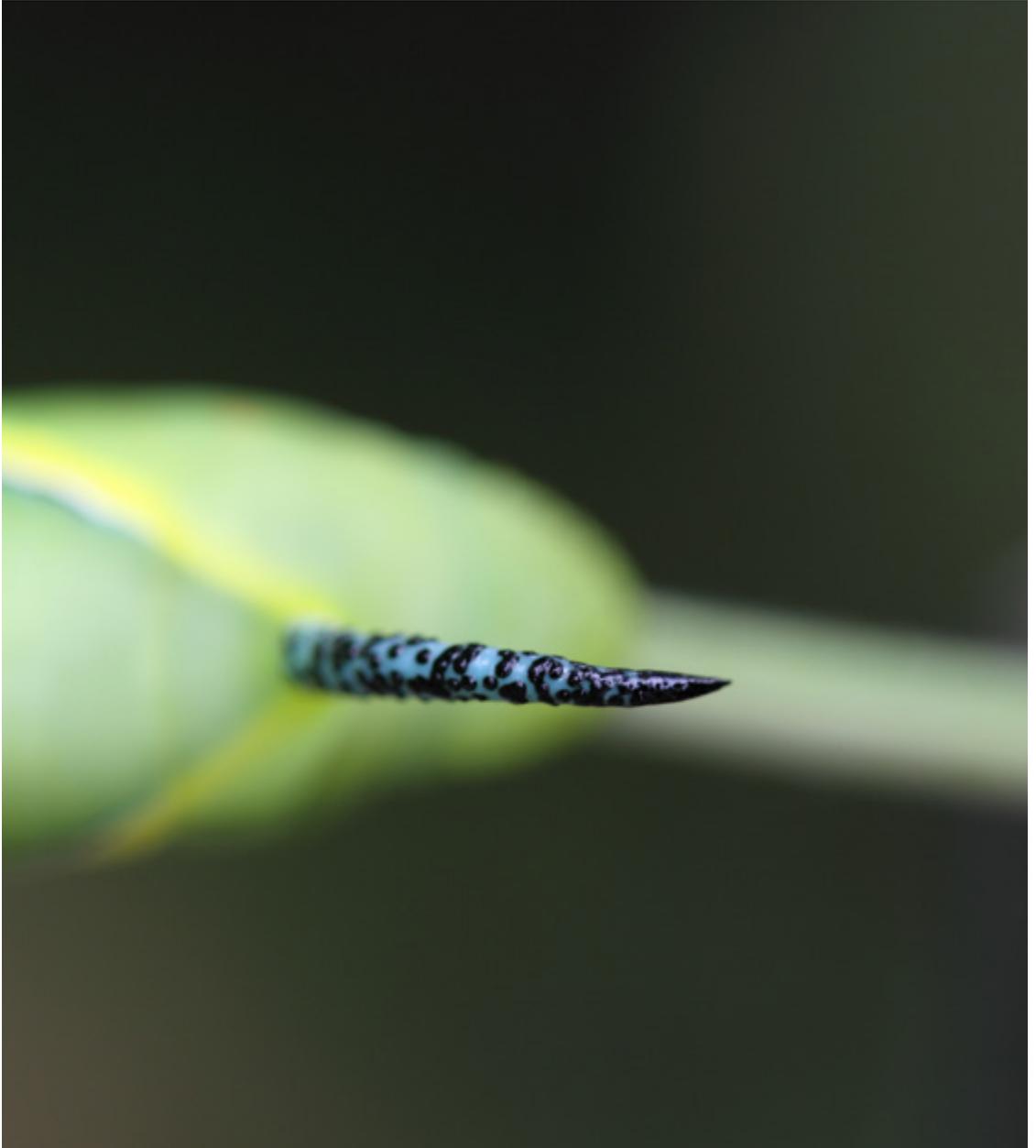
- Un nuevo foro para una comunidad de profesionales y ciudadanos con perspectivas afines que promueva el análisis del campo en sí, y de los desarrollos que ocurren dentro de él.

Que podemos hacer: podemos ofrecer un escaparate atractivo para artículos bien pensados, que hablen sobre temas que en nuestra opinión sean significativos para el campo de la biomimética y para nuestra sociedad. La vida es inagotablemente fascinante. En el nivel práctico, la naturaleza puede alentarnos y guiarnos para desarrollar soluciones sostenibles a problemas actuales, mientras que las soluciones inspiradas en la biología son cada vez más asequibles y se adoptan con mayor frecuencia. Creemos que éstas tendrán, en el futuro cercano, un impacto importante en la manera en que vivimos tanto con la tecnología como con la naturaleza.

Esperamos que disfrutes nuestro primer número y que nos sigas acompañando en nuestro camino de descubrimientos.



Tom McKeag, Norbert Hoeller y Marjan Eggermont



Gusano del tomate

Foto: RobMan170, 2009 | Flickr cc

Nos complace empezar nuestro número inaugural con un artículo del reconocido autor y científico, el Dr. Steven Vogel, en el cual nos ofrece su propia “galería de los solitarios” de buenas ideas tecnológicas de sociedades pasadas que nunca han logrado éxito comercial. El tema más general de la aceptación cultural de ideas innovadoras es importante tanto para el científico como para el diseñador, y el autor lo ilustra hábilmente con ejemplos del pasado. El Dr. Vogel nunca se conforma con lo meramente conceptual, sin embargo, ofrece una invitación y una herramienta para probar por uno mismo la viabilidad de las ideas creativas.

El primer grupo de personas que respondieron a nuestra entrevista estandarizada inician lo que pretendemos sea una conversación continua acerca de la situación del campo del diseño bioinspirado. El propósito de esta encuesta por escrito es recolectar descripciones cualitativas del trabajo que se está haciendo y de la gente que lo está llevando a cabo. Nuestros colaboradores en este número ofrecen ventanas únicas hacia sus mundos dispares y todos ellos son pioneros.

Puedes ahondar más profundamente en el mundo del diseño industrial a través de su encuentro con las tendencias de innovación tecnológica del siglo XXI en nuestro siguiente artículo, *Diseñado... hasta la médula*. El desarrollo de modelos digitales relacionados directamente con la fabricación, la participación del consumidor en el diseño y los avances biomédicos son todas influencias que moldean la práctica de Bespoke Innovations, un galardonado fabricante de prótesis para humanos.

Finalmente, dos ingenieros con una idea, forman una empresa a pesar de que expertos les aconsejaban que la teoría de enjambres no estaba lo suficientemente madura para utilizarse en un producto comercial. *El Poder de las Abejas y de las Hormigas* es una historia del mundo de la energía y de los negocios que aporta argumentos convincentes a favor de aplicar tanto la substancia como el espíritu de los principios de la naturaleza.

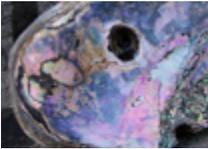
¡Gracias por leernos!

×



## Opinión: Cuando el éxito falla

Steven Vogel 12



## Personas: Entrevista con

Julian Vincent 26



## Personas: Entrevista con

Jay Baldwin 32



## Personas: Entrevista con

Maria Mingallon 40



## Personas: Entrevista con

Jane Fulton Suri 52



## Bespoke Innovations | Diseñado...hasta la médula

Tom McKeag 56



## Regen Energy | El Poder de las Hormigas y de las Abejas

Mark Kerbel con Norbert Hoeller y Tom McKeag 74



Semilla de Arce

Foto: Bushmank | Flickr cc



Opinión  
*Cuando el éxito falla*  
Steven Vogel

# Cuando el éxito falla

Alrededor de 1770, Nicolás-Joseph Cugnot construyó un vehículo a vapor, autopropulsado, para ser usado como tractor de artillería. A finales del siglo XIX los vehículos a vapor autopropulsados se usaron ampliamente en las granjas norteamericanas, para tracción y como fuentes móviles de energía. A principios del siglo XX los vehículos a vapor autopropulsados hicieron acto de presencia en las carreteras, particularmente en la forma del automóvil Stanley Steamer. Un siglo más tarde, las plantas termoeléctricas operadas habitualmente con carbón usaban motores a vapor de combustión externa para generar electricidad. Sin embargo, hasta donde yo sé, en este momento uno no puede comprar ningún vehículo apto para circular con un motor de combustión externa.

Dos cuestiones. Primero, ¿se trata de un caso especial, de una tecnología ya sea con algún defecto intrínseco, o que no pueda entrar al mercado a causa de un obstáculo insuperable en la infraestructura? Segundo, ¿puede este caso enseñar algunas lecciones para la innovación biomimética actual?

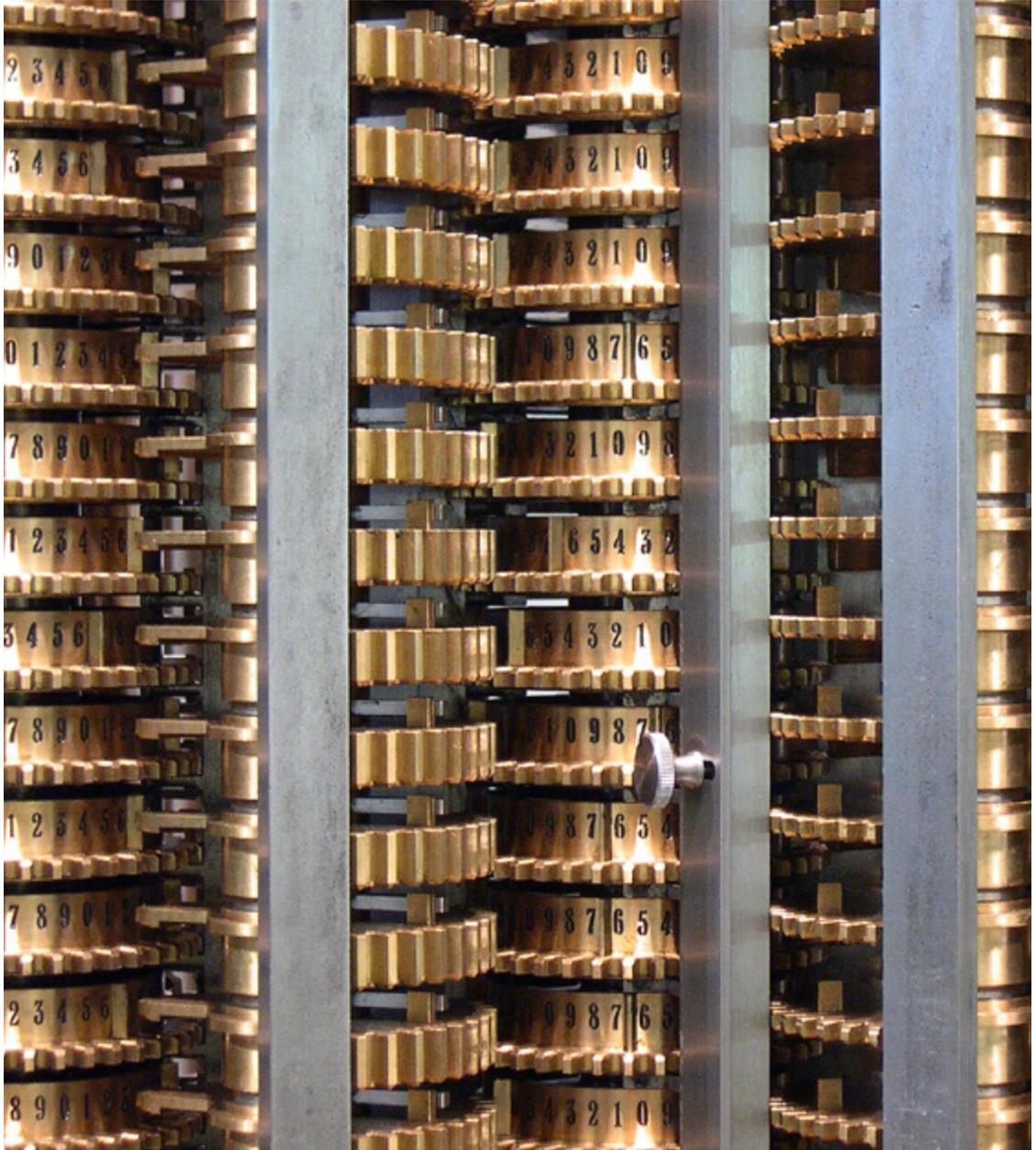
En la primera cuestión, yo argumentaría que el caso representa sólo uno de un número sorprendentemente grande de casos de éxitos técnicos que resultaron ser un fracaso comercial. Al igual que la historia la escriben en gran medida los ganadores, no los perdedores; así como la vida en la tierra muestra el éxito de la evolución, no los fracasos; así las historias de la tecnología con mayor frecuencia cuentan los relatos de

lo que ha funcionado y se ha convertido en ubicuo, no de lo que se ha descartado aunque funcionalmente haya sido un éxito.

Considera y déjate impresionar con la diversidad de algunos elementos tecnológicamente exitosos que resultaron ser fracasos económicos poco prácticos.

Durante el verano de 1790, un buque de vapor creado por John Fitch se deslizaba por las aguas alrededor de Filadelfia y se publicó que alcanzaba velocidades de 12 km/hr. La propulsión, desde atrás de la embarcación, dependía de un sistema de paletas de movimiento alterno parecidas a las patas con las que reman algunas aves acuáticas. El sistema falló esencialmente por razones económicas, al igual que su particular versión de rueda de paletas. Casi al mismo tiempo, James Rumsey patentó (pero parece que no construyó) una lancha con propulsión a chorro, que usaba dos válvulas y una cámara de volumen variable, que operaba muy parecido a como lo hace un ventrículo del corazón o un pez arquero. El agua entraba al frente, un pistón impulsado por vapor se movía de arriba hacia abajo en una cámara ubicada entre las válvulas, y por la parte trasera salían chorros de agua.

Los barcos de vapor de ruedas tuvieron una trayectoria breve, desde el éxito de Robert Fulton en 1807, hasta aproximadamente mediados de siglo. Estas embarcaciones dieron pie a los botes de ruedas laterales, con ruedas más grandes y por ende más eficientes, así como mucha mejor maniobrabilidad. Estos últimos persistieron



Una vista cercana de una réplica de la maquinaria construida según el diseño de Babbage, en el Museo de la Ciencia de Londres

Foto: Carsten Ullrich, 2005. | Wikimedia Commons

donde esa maniobrabilidad era importante, pero ambas versiones abrieron camino a los botes impulsados por hélices, desarrollados por Robert Erickson, que eran aún más eficientes, incluso antes de la llegada de las hélices propiamente perfiladas.

Conocemos los tranvías, los ferrocarriles anacrónicos en los que motores fijos impulsan vagones móviles. En 1847, Isambard Kingdom Brunel, uno de los pioneros del diseño y construcción de ferrocarriles, construyó una versión particularmente sofisticada de un ferrocarril con motor fijo, evitando así la necesidad de mover pesadas máquinas de vapor, además de pasajeros y carga. Estaciones de bombeo fijas a lo largo de su ferrocarril neumático aspiraban un tubo en el que sobresalían uno o más pistones; cada pistón tenía una placa longitudinal que se extendía hacia arriba, uniéndose al vagón que estaba encima a través de pares de conectores de cuero. La velocidad y suavidad de manejo superaron cualquier sistema contemporáneo. Pero el ferrocarril neumático fue abandonado poco después de un año – el deterioro del cuero, lo incómodo de cualquier aparato de vía y finalmente la promesa de mejores locomotoras pusieron fin a lo que nunca fue un diseño económico.

Alrededor de 1840, Charles Babbage diseñó lo que equivalía a una computadora sofisticada, totalmente basada, como era necesario en ese momento, en componentes mecánicos. Muy superior a cualquier dispositivo de cálculo anterior, podía haber revolucionado todo tipo de tareas computacionales. Pero construir dicha máquina habría sido extremadamente costoso; de hecho sólo se llegaron a ensamblar

partes pequeñas. Y el diseño presentaba pocas esperanzas de lograr cualquier gran economía de escala, aun asumiendo una demanda de pocas unidades.

Para los motores a vapor de combustión externa, el agua vaporizada provee el fluido de trabajo mas no el combustible, que pudiera ser inflamable – o cualquier otro suministro de un foco caliente y de un foco frío. Otros fluidos de trabajo funcionan también, y el más común de éstos es el aire. Alrededor de 1816, Robert Stirling inventó un motor térmico adecuado que podía usar aire en lugar de agua en estado gaseoso. Sin embargo, un siglo después, las locomotoras de vapor siguen necesitando reponer el suministro de agua de vez en cuando. No es que el motor Stirling languidezca en la oscuridad – durante mucho tiempo ha ofrecido una herramienta heurística para los cursos de termodinámica y hay modelos para computadora disponibles a la venta.

Casi todos los parámetros cuantificables de nuestro mundo varían en un continuo, no en niveles discretos. Las primeras computadoras, sobre todo en la década de 1940, comúnmente eran máquinas analógicas que procesaban de manera directa estas funciones continuas. Incluso, en 1960 uno podía comprar un kit para construir una computadora analógica en casa. ¿Dónde quedaron todas las máquinas analógicas en nuestro mundo de hoy, mucho más atribulado por las computadoras? ¿Quién hubiera imaginado que las computadoras que digitalizan las variables continuas, partiéndolas en pedazos antes de procesarlas, las hubieran suplantado casi completamente, que las computadoras digitales podrían simular dispositivos analógicos mejor que los dispositivos analógicos mismos?



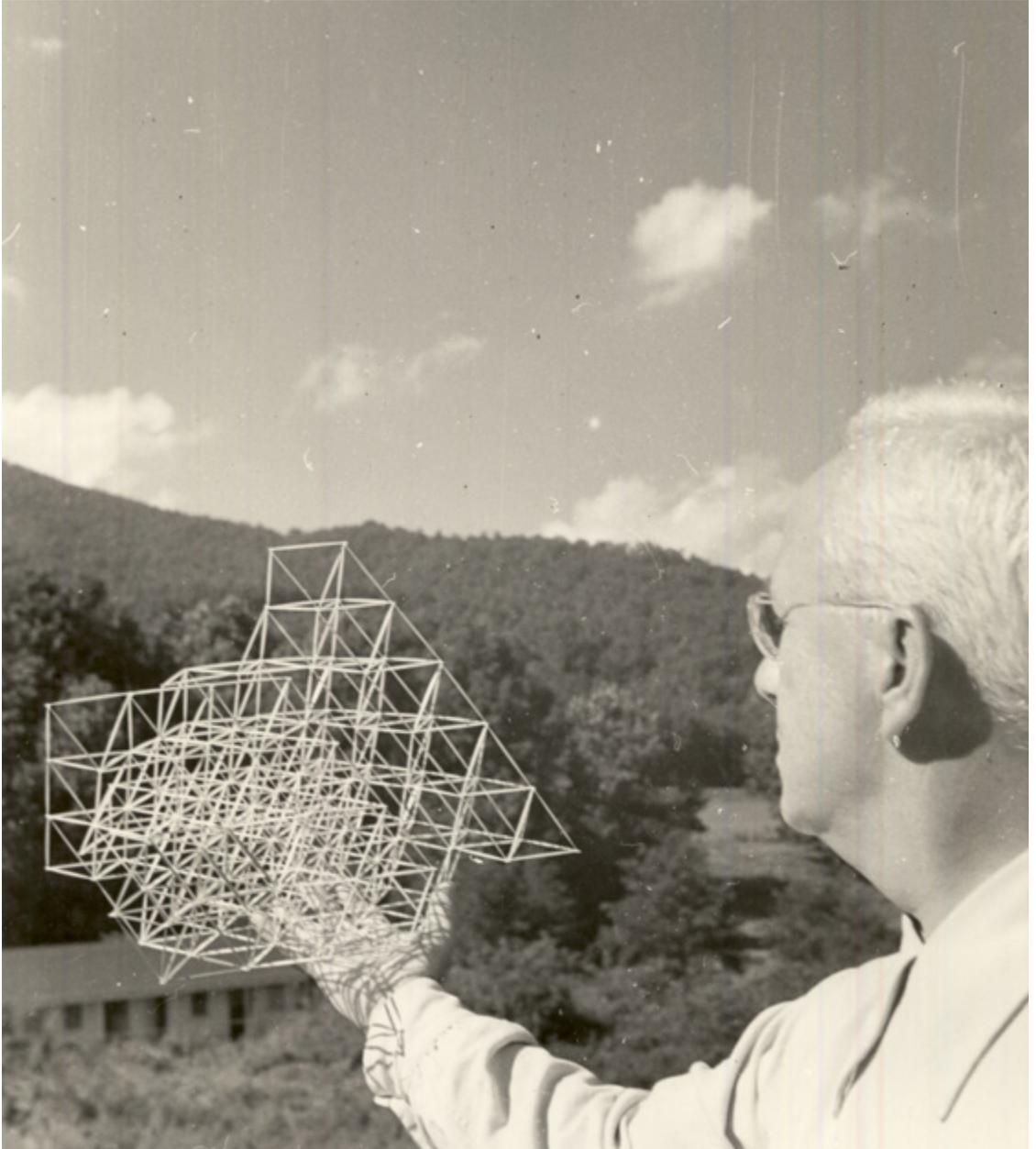
El autogiro del español De la Cierva volando sobre la isla de Manhattan

Foto: The National Archives UK, c. 1931 | Flickr cc



Proyecto de investigación en el Black Mountain College. Verano 1949

Foto: North Carolina State Archives, 1949 | Flickr cc



Proyecto de investigación en el Black Mountain College. Verano 1949

Foto: North Carolina State Archives, 1949 | Flickr cc



Flor de Tulipanero

Foto: Christine4nier, 2008 | Flickr cc

Los aviones de hoy vuelan sobre un paisaje histórico salpicado de los naufragios de tecnologías aerodinámicas, que alguna vez fueron prometedoras. Ni hablar de los aviones con alas batientes, que existían principalmente por nuestra ignorancia sobre cómo mejorar el diseño de las aves, de cómo ir avanzando hacia dispositivos cada vez más grandes y más rápidos. Desde la década de los 30 no se ha construido ninguno de los dirigibles del conde von Zeppelin, con sus marcos rígidos que cargaban bolsas de gas en el interior. Todos los dirigibles posteriores no son rígidos, con una membrana externa que proporciona apoyo a la tracción a la vez que funge como contenedor del gas. Los revolucionarios buques desarrollados por Anton Flettner aprovechaban el impulso generado por el efecto Magnus al avanzar cuando el viento soplaba en los grandes cilindros rotativos verticales ubicados en cubierta. Durante las pruebas que se hicieron, incluyendo un viaje a través del Atlántico, no salieron a relucir defectos básicos; no obstante al mismo tiempo, a principios de los años 20, los buques impulsados por petróleo reemplazaron a aquellos en los que las carboneras reducían el espacio disponible para el transporte de carga, lo que eliminó la necesidad de utilizar velas auxiliares para tramos largos. En 1923 Juan de la Cierva inventó una máquina para volar que, al menos en apariencia, se anticipaba al helicóptero. El rotor horizontal de estos autogiros no se movía mediante un motor, sino que era impulsado indirectamente por la acción del viento entrante mientras que una hélice convencional en la parte delantera o trasera movía la nave hacia adelante. Durante muchos años pilotos aficionados podían comprar kits o construir autogiros, pero hasta donde yo sé,

nunca han tenido un uso comercial significativo. Y más recientemente estuvo el Concorde, el avión supersónico, una proeza tecnológica que nunca pudo recuperar su inversión.

Uno puede continuar, mencionando las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, las grabadoras caseras de carrito abierto y de 8 pistas, las máquinas de afeitar de cuerda que no necesitan ni enchufe ni baterías recargables, los motores de avión de propulsión a chorro y los estatorreactores, y así sucesivamente. Los éxitos fallan con demasiada frecuencia.

¿Qué relevancia puede tener toda esta historia de los que podrían haber sido para un aspirante a diseñador biomimético? Un primer impulso es examinar cada caso en busca de cualquier analogía biológica—que uno puede encontrar fácilmente. Los remos de Fitch de pata de pato y los motores de vapor de Rumsey con propulsión a chorro como el calamar son ejemplos obvios, aunque es más probable que el primero tenga sus raíces en una verdadera bioinspiración que el segundo. La auto rotación de Flettner encuentra uso en algunas semillas autorrotadoras como las del fresno, del tulípero (álamo), y del ailanto. Pero afirmar que cualquier atributo biomimético aparente contribuyó al fallo de cualesquiera de estos inventos es algo difícil de creer. Además, uno puede señalar cómo los sistemas nerviosos utilizan algo más cercano al tecnológicamente exitoso sistema digital que al fracasado sistema analógico para codificar información, a pesar de que la señalización neuronal se asemeja sólo remotamente a la codificación digital.

Un mensaje más general es la evidencia de que existe un preocupante espacio entre el

éxito tecnológico y el comercial. Esto sugiere la necesidad de pasar cualquier idea a través de filtros preliminares antes de invertir de manera importante en tiempo o recursos. Se puede empezar con cuatro filtros:

¿Es probable que el dispositivo funcione en una escala que sea útil para el ser humano?

¿Se puede construir una versión del dispositivo por medios que son prácticos para la tecnología humana?

¿Podría el dispositivo ofrecer alguna ventaja aplicada a algo que usamos actualmente, o podría ofrecer alguna capacidad completamente nueva y atractiva?

¿Se puede mejorar la versión de la naturaleza en cuanto a su efectividad funcional o facilidad de fabricación mediante alguna alteración del diseño tal como el uso de materiales y componentes específicos de la tecnología humana?

Pero de nuevo, uno tiene que recorrer un camino entre el escepticismo debilitante y el entusiasmo del autor. En particular, los filtros piden respuestas que no pueden ser más que conjeturas razonables. Yo sugiero una fórmula general, aunque hay que añadir que su aplicación no promete nada de la precisión de nuestras expresiones algebraicas habituales y por tanto sólo aporta un poco de enfoque adicional a la elaboración de conjeturas cuando se trabaja con estos filtros.

En algún curso de ciencias físicas puedes haberte encontrado una expresión,  $PV/T$ , que define una constante para una cantidad dada de cualquier gas: la presión multiplicada por el volumen y dividida entre la temperatura absoluta no va a

variar- o no variará lo suficiente para que sea de importancia. Podríamos tomar prestada esa expresión para el uso que nos atañe, sólo redefiniendo las variables.  $P$  ahora representará la probabilidad de que funcione un dispositivo tecnológico y comercialmente, si quieres. Una  $P$  baja representa pocas posibilidades; una  $P$  alta quiere decir un éxito seguro.  $V$  es ahora la variable del éxito—prestigio, publicación, permanencia, o dinero contante y sonante—si el dispositivo funciona correctamente.  $T$  mide el tiempo, el esfuerzo o los recursos necesarios para materializar la idea o llevarla hasta donde pueda ser asignada a otro equipo. Entonces la combinación  $PV/T$  provee un índice para medir en términos relativos la idoneidad de un posible proyecto.

Tal vez un ejemplo puede explicar mejor esta abstracción. Todos hemos oído de los calentadores solares. ¿Qué tal un refrigerador celeste, algo que se enfríe por radiación como lo hace la hoja de una planta en una noche despejada y sin viento (y que las hojas se ingenian para evitar) o un camello acalorado cuando cae la noche? Me imagino que se podría utilizar una placa cara arriba de alta emisividad en el infrarrojo lejano, con pasos de aire debajo que conducen a una antichimenea que fluye hacia abajo, y que a su vez va a dar a un medio de almacenamiento ubicado debajo de algún espacio habitado. La placa de aluminio, poco perforada, una caja de espuma de poliestireno, cartón para la antichimenea, termómetros—nada más sofisticado que los restos y desechos ordinarios de mi laboratorio, y ensamblado en aproximadamente una hora. Después algunas mediciones iniciales en el patio trasero. Sin importar lo alto que la  $P$  o  $V$



Semilla de Arce

Foto: Bushman.K, 2011 | Flickr cc

pueden ser—T difícilmente podría ser más baja. Entonces juego con esto en noches propicias; hasta ahora se han logrado unos pocos grados de enfriamiento. Nada demasiado fabuloso, pero las permutaciones son suficientemente sencillas...

Es así de simple- o lo sería si pudiéramos comprender lo incomprensible, superar lo insuperable y así sucesivamente. Sin embargo, para alguien la fórmula por lo menos puede ofrecer una guía mental útil. x

Steven Vogel es profesor Emérito de la cátedra James B. Duke, en el Departamento de Biología en la Universidad de Duke (Duke University), Durham, Carolina del Norte, EEUU. Es autor de varios libros sobre biomecánica, incluyendo *Cats Paws and Catapults*, *Comparative Biomechanics* (biomecánica comparativa), *Life in Moving Fluids* (la vida en los fluidos en movimiento), y *Prime Mover: A Natural History of Muscle* (fuerza motriz: la historia natural del músculo).



Hoja de Arce

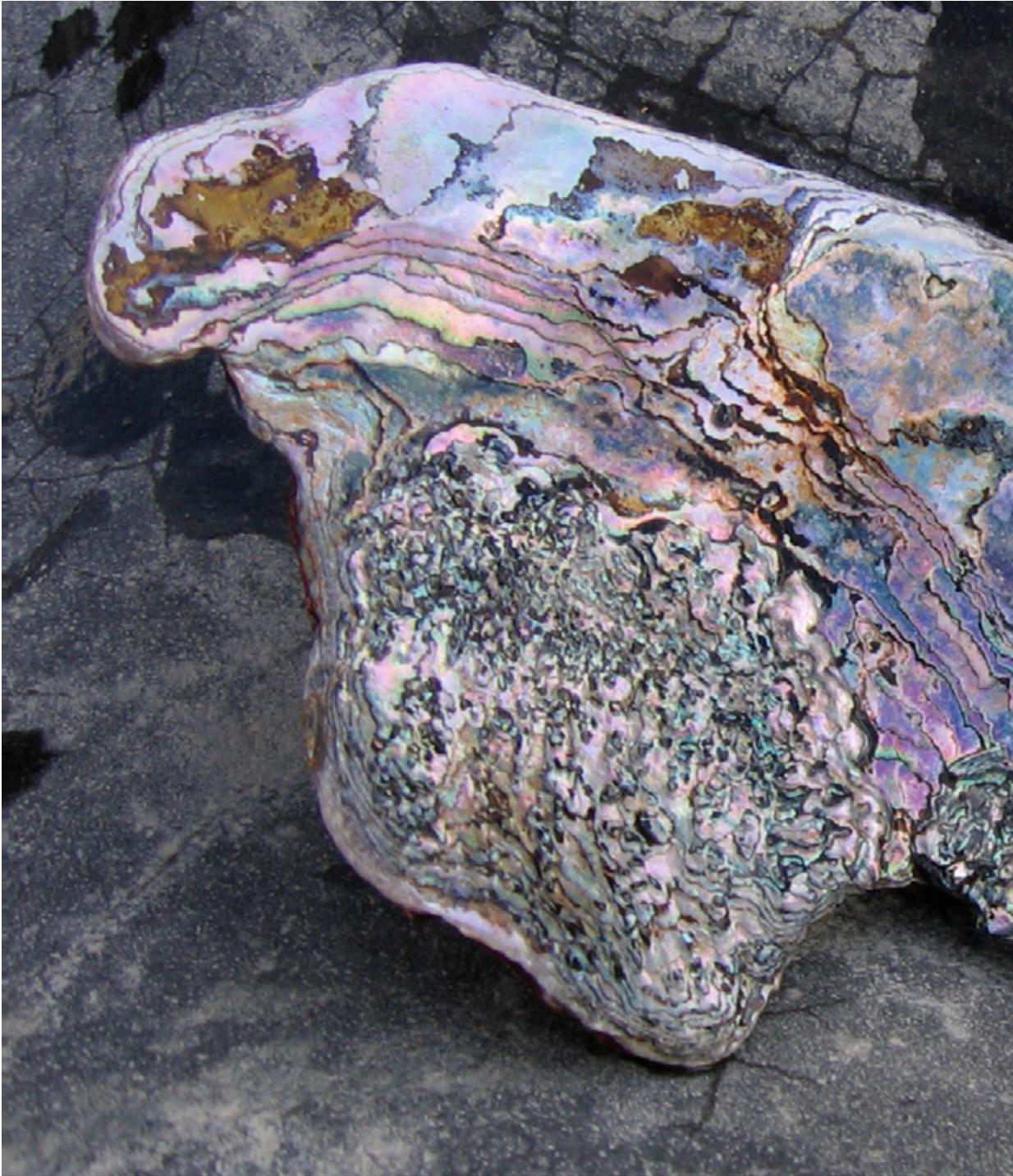
Foto: Bushman. K, 2010 | Flickr cc



# Personas

## *Entrevistas con*

Julian Vincent, Jay  
Baldwin, Maria Mingallon  
& Jane Fultan Suri



Fragmento de la concha de abulón

Foto: Stephen Schiller, 2008 | Flickr cc



# *Entrevista con* Julian Vincent

Julian Vincent MA (Cantab) PhD, Dsc (Sheffield) FRES, MIM3, CEng, FIMechE es un biólogo y recientemente catedrático de Biomimética en el Departamento de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Bath. Ha publicado más de 300 trabajos, artículos y libros, y ha sido invitado a dar conferencias (la mayoría plenarias) así como seminarios de investigación alrededor del mundo. Entre sus intereses están el TRIZ (sistema ruso para la solución creativa de problemas), aspectos del diseño mecánico de plantas y animales, mecánica de fractura compleja, textura de alimentos, diseño de materiales compuestos, uso de materiales naturales en la tecnología, textiles avanzados, sistemas y estructuras inteligentes. En 1990 ganó el Premio de Innovación Ambiental Príncipe de Gales.

Es Editor Jefe Asociado del *Journal of Bionic Engineering* (gaceta de ingeniería biónica), publicado por Elsevier y está en el Consejo Editorial de publicaciones sobre Biomimética, materiales inteligentes, biomecánica médica, zoología y textura de alimentos. Ha supervisado las investigaciones de 21 alumnos, todos los cuales recibieron el grado de doctorado. Ya jubilado sigue aceptando invitaciones a conferencias y talleres y está trabajando en la ontología de la biomimética. La tercera edición de su libro con la Universidad de Princeton, *Structural Biomaterials* (biomateriales estructurales), se imprimió en la primavera de 2012.

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

En Reino Unido estamos un poco aislados dado que no se ve (eso parece) a la biomimética como un conjunto de ideas particularmente útiles. Entonces, desde la cátedra me encuentro haciendo más cosas con el grupo holandés de biomimesis.

De cualquier manera, también estoy involucrándome con la arquitectura en un nivel profesional (enseñando y dando consultoría), así que quizá pueda haber buenos desarrollos ahí. También estoy bajo contrato con la empresa Swedish Biomimetics 3000, por lo que hay desarrollos positivos en el ámbito comercial. Lo que sucede es que hay poca investigación focalizada.

*¿Cuáles crees que son los mayores retos?*

Un acercamiento crítico y objetivo a la ciencia. Los diseñadores en general no se preocupan mucho de que las ideas que adoptan sean particularmente prácticas o vanguardistas. Consecuentemente los estándares no son tan altos como pudieran ser. Pero creo que es bueno que algo esté sucediendo. Obviamente surgen problemas al hacer que dos áreas como la biología y la tecnología se entremezclen adecuadamente, y pocas personas comprenden las dificultades que esto implica. Insisto, puede ser que los arquitectos estén abriendo brecha.

*¿En qué áreas deberíamos estar enfocándonos para avanzar en el campo de la biomimesis?*

En cualquier cosa que aumente la credibilidad y genere principios generales. En la actualidad la mayoría de las personas parecen estar satisfechas diseñando artilugios que difícilmente cambian al mundo. Es algo trivial. Parece bastante obvio que los materiales son muy importantes, no sólo porque los materiales biológicos tienen un muy buen desempeño, sino también porque son relativamente fáciles de reciclar. No es suficiente



Nido de seda comunitario de *Eriogaster lanestris*

Foto: MarkusHagenlocher, 2007 | Wikimedia Commons

con señalar esto, tiene que existir el impulso para establecer maneras de hacer y reciclar materiales desde una base experimental.

Tenemos mucha tecnología disponible (principalmente relacionada con el ensamble de materiales) pero necesitamos vincular las diferentes técnicas en su conjunto.

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

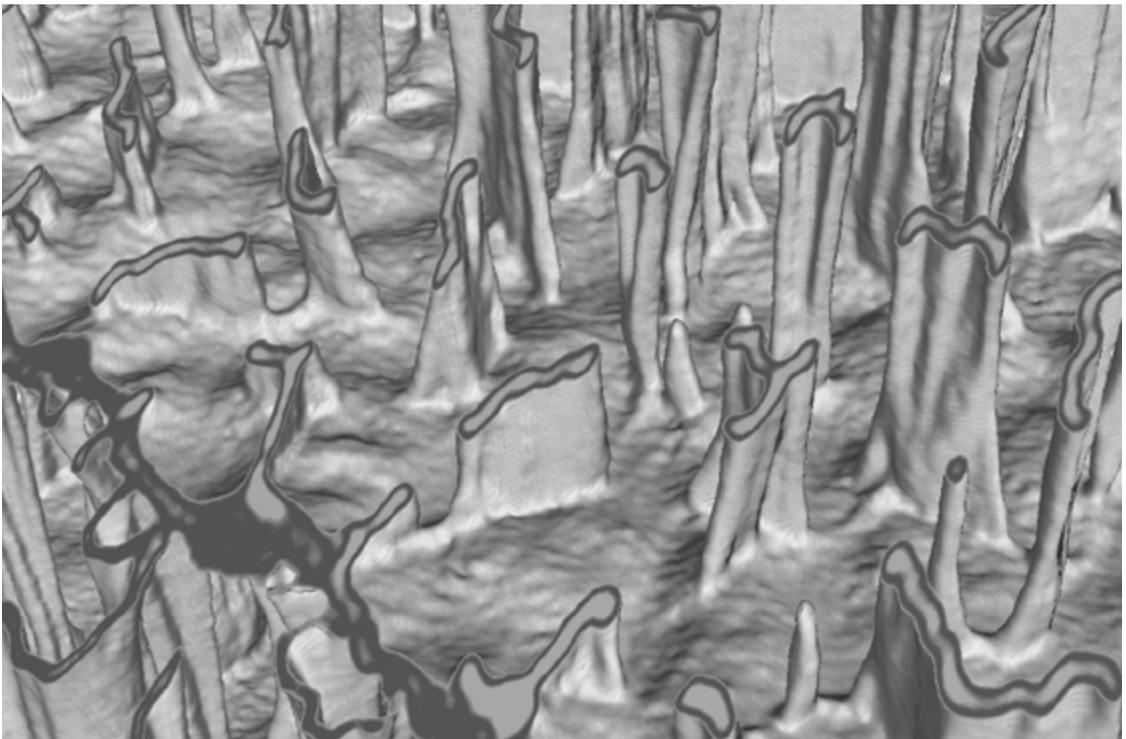
¿Importa? Lo más importante es que puedo ayudar a otros a desarrollar su propio interés en el tema.

*¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?*

Originalmente mi definición era “La abstracción del buen diseño de la naturaleza”, pero ahora prefiero “La implantación del buen diseño basado en la naturaleza”, o algo parecido.

*¿Bajo qué criterios podríamos evaluar los trabajos?*

¿Funciona?, ¿sobrevive?



Visualización 3D de la jibia de sepia

Foto: SecretDisc, 2011 | Wikipedia Commons

*¿En qué estás trabajando ahora?*

En la ontología de la biomimética, por un lado generando métodos de codificación para soluciones originales a problemas; y por otro generando datos para analizar cómo la naturaleza soluciona problemas y los parámetros involucrados en dichos procesos.

*¿Cómo te iniciaste en la biomimesis/diseño bioinspirado?*

Por omisión. Desde los primeros estudios sobre el diseño mecánico de los organismos resultó evidente que los modelos ayudarían a confirmar y probar la interpretación de los mecanismos y materiales biológicos. Después, como esos materiales y mecanismos tenían ciertos atributos deseables, los modelos mismos se volvieron interesantes.

*¿Cuál trabajo/imagen has visto recientemente que te haya emocionado?*

Pregunta difícil. Cualquier respuesta debe incluir la manera en que se haya implementado un mecanismo biológico; también el grado de abstracción, así como su éxito. Creo que debe ser el trabajo de Barthelat sobre el nácar, que sugiere que la “matriz” en la cerámica biológica es más un tipo de lubricante que un pegamento. Esto implica que muchos modelos compuestos de materiales biológicos están equivocados dado que imponemos conceptos de compuestos técnicos en nuestro entendimiento del hueso, nácar etc.

*¿Cuál es tu obra biomimética favorita?*

Aún más difícil de responder. Me inclino por los estudios que van contra toda lógica, pero ninguno que llene esa definición me viene a la mente. Gran parte de la biomimética viene detrás de la tecnología en vez de ir al frente.

*¿Cuál es el libro más reciente que has disfrutado?*

“Espíritu y Naturaleza” de Gregory Bateson. Ahora estoy leyendo “Pensar rápido, pensar despacio” de Daniel Kahneman.

*¿A quién admiras?*

A cualquiera que pueda hacer un buen instrumento musical.

*¿Cuál es tu lema o cita favorita?*

“Tenemos poco dinero. Entonces debemos pensar mejor las cosas.” (Atribuida a Rutherford en Manchester)

*¿Cómo concibes la felicidad perfecta?*

Hacer música (de todo tipo) con amigos.

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

Músico (ya está sucediendo ...)

×



Visión borrosa de cúpula geodésica  
Foto: Mandy Jansen, 2008 | Flickr cc



# *Entrevista con* Jay Baldwin

“Hijo de un ingeniero, J Baldwin cuenta que a los 18 años de edad escuchó a Buckminster Fuller hablar durante 14 horas sin parar. Era el año 1951 en la Universidad de Michigan, a la cual Baldwin se inscribió para aprender a diseñar automóviles, pues un amigo suyo había fallecido en un accidente de auto que Baldwin atribuyó al diseño defectuoso del mismo. Trabajó con Fuller antes de graduarse de la Universidad de Michigan en 1955. Durante sus años de estudiante, Baldwin trabajó (ocupando un puesto singular en el que compartía funciones) en la línea de ensamble en una fábrica de autos. Luego tomó cursos de posgrado en la Universidad de California, en Berkeley.

Baldwin mantuvo su amistad con Buckminster Fuller, y reflexiona que “A través de su ejemplo, me alentó a pensar ampliamente por mí mismo, a ser disciplinado, a trabajar por el bien de todos y pasarlo bien mientras lo hacía” [BuckyWorks, p. xi]

Como joven diseñador hacia finales de 1950 y principios de 1960, Baldwin diseñó equipamiento avanzado para camping con la empresa Bill Moss Associates. A partir de entonces, y durante 6 años enseñó simultáneamente en el San Francisco State College (ahora llamado San Francisco State University), en el San Francisco Art Institute, y en el campus Oakland del California College of Arts and Crafts.

Durante el periodo de 1968-1969 fue profesor visitante en la Southern Illinois University y editor de diseño de la innovadora publicación *Whole Earth Catalog*. (Se publicaron muchas ediciones del catálogo entre 1968 y 1998 y Baldwin siguió editando y escribiendo tanto para el catálogo como para una publicación que nació a partir del mismo, *CoEvolution*

*Quarterly*, después rebautizada como *Whole Earth Review*). A principios de 1970 Baldwin fue profesor en la escuela Pacific High School.

Baldwin desempeñó un papel central en la experimentación con cúpulas geodésicas (un acercamiento al diseño-construcción poco convencional, explorado por Fuller, el cual maximiza la fuerza y área de cobertura con relación a los materiales usados). También se involucró con entusiasmo en la aplicación de fuentes renovables de energía en el hogar y en fábricas de producción de alimentos, trabajando en el centro de investigación Integrated Life Support Systems Labs (ILS, en Nuevo México) y con el Dr. John Todd y otros Nuevos Alquimistas involucrados en el proyecto “Arca”. Baldwin empezó a trabajar con energía solar precisamente en esa etapa experimental y de improvisación, durante la cual muchas cosas iban de lo teórico al desarrollo real. En 1970, en ILS, fue el co-creador de lo que se ha presentado como el primer edificio en el mundo calentado y alimentado exclusivamente con energía solar y eólica.

Baldwin se refiere a su propia casa en el campo como “un bloc de dibujo tridimensional”.

Durante la administración de Jerry Brown, Baldwin trabajó en la California Office of Appropriate Technology. Desde 1970 Baldwin ha seguido trabajando como diseñador en asociación con numerosas organizaciones y proyectos. Se organizó un estudio móvil de diseño y un taller de máquinas (en un remolque de aluminio tirado por una camioneta van) para conducir hasta donde se desarrollaban varios proyectos a lo largo de los Estados Unidos.

Con la atención de una audiencia más amplia en los años 80, Baldwin elaboró una crítica incisiva de la industria automotriz estadounidense, la cual en su opinión se enfocaba más en cuestiones



B.Fuller (izda.) dentro de la cúpula almohadillada del New Alchemy en 1982 con Jay Baldwin (dcha.).

superficiales de mercadotecnia, y absurdamente prestaba poca atención a la verdadera innovación y mejora. También criticó de manera constructiva a las industrias emergentes dedicadas a fabricar equipos de “tecnología suave” como las turbinas de viento.

En la década de 1990 Baldwin escribió un libro sobre Buckminster Fuller, sus ideas, experimentos e influencia, *Bucky Works: Buckminster Fuller's Ideas for Today* (Las obras de Bucky: Ideas de Buckminster Fuller para el presente).

A finales de la década de los 90, trabajó con el Rocky Mountain Institute (en Snowmass, Colorado) en investigación, diseño y desarrollo del ultraligero y ultraeficiente Hypercar – un prototipo por medio del cual los diseñadores independientes esperan marcar la pauta para los fabricantes de automóviles en el mundo. El desarrollo conceptual se inició en 1991, y la versión actual del Hypercar utiliza un generador pequeño para alimentar un motor eléctrico en cada rueda.

Dado que se desarrolló como editor “de tecnología” durante mucho tiempo, es necesario hablar del alcance del enfoque de Baldwin en la tecnología. Sus intereses se mantuvieron más amplios que aquéllos representados por los cambiantes medios de comunicación y el enfoque popular de mediados de los 80 y años posteriores, que se inclinaban por resaltar el micro chip y los dispositivos electrónicos basados en éste. Baldwin sigue señalando el valor de (y la necesidad de evaluar) tecnologías que se ubiquen dentro de fronteras más amplias. Indudablemente las tecnologías de vivienda y transporte siempre le han interesado. Al igual que las herramientas, e independientemente de que el concepto de algún dispositivo o herramienta o proceso fuera innovador o milenario, si permitía a alguien “hacer el trabajo” con madera, metal, paneles de fibra de vidrio, tierra,

árboles, o lo que fuera, era digno de la atención de Baldwin. Por el contrario, ve que la computadora personal a menudo (aunque no necesariamente) lleva a su operador hacia la imaginación, casi en el sentido del entretenimiento; Baldwin se ha mantenido igualmente interesado en el hacer, en la aplicación. Y aunque nunca ha perdido el interés en los productos fabricados, siempre ha querido empoderar a los individuos y pequeños equipos de personas para lograr algo.

Como uno de los diseñadores de tecnología mas notables, cuyos enfoques transdisciplinarios han abierto nuevos espacios, Baldwin apareció en el documental de 1994 *Ecological Design: Inventing the Future* (diseño ecológico: inventando el futuro). La película presenta a estos diseñadores como rebeldes, cuyas trayectorias profesionales se han desarrollado necesariamente “fuera de los esquemas” para su tiempo, esencialmente sin el apoyo de la industria establecida y a menudo también sin la aprobación del sector académico establecido.

J. Baldwin inventó (y construyó) una estructura permanente, transparente y con aislamiento—de aluminio y teflón—a la cual llama “Pillow Dome” (cúpula de almohadas), que se supone ha resistido vientos de 217 km/h (135 mi/h) y toneladas de nieve. La Pillow Dome pesa apenas 226 grs (0.5lbs) por pie cuadrado (0.09 m<sup>2</sup>). El enfoque básico de esta estructura ya se ha utilizado en aplicaciones de gran escala, como el proyecto Eden en Cornwall, Inglaterra. Baldwin continúa practicando el diseño (como se puede ver en el singular y aerodinámico cámper/ “habitación móvil” Quick-Up que lanzó a la venta) y enseñando diseño a nivel universitario. En los últimos años, ha impartido clases en la Sonoma State University, en el San Francisco Institute of Architects y en el California College of Arts and Crafts.”\*

Fuente:

[http://en.wikipedia.org/wiki/J.\\_Baldwin#cite\\_ref-5](http://en.wikipedia.org/wiki/J._Baldwin#cite_ref-5)



Estructura hexagonal vista desde dentro de la cúpula del New Alchemy del proyecto Edén

Foto: Benjaminevans82 | Wikimedia Commons

*¿Cuál es tu impresión sobre el estado actual de la biomimesis/diseño bio-inspirado?*

Está apenas iniciando y aún no es del todo conocida como una disciplina necesaria. Tampoco bien entendida.

*¿Cuáles crees que son los mayores retos?*

Persuadir y enseñar a la gente que la biomimesis es necesaria y deseable (e incluso rentable).

*¿En qué áreas deberíamos enfocarnos para avanzar en el campo de la biomimesis?*

Uso eficiente de energía y materiales; química no tóxica; procesos de fabricación en frío; optimización; sinergia.

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

Me esfuerzo por diseñar siempre para ser “exhaustivo” y “previsivo” tal como recomendaba Buckminster Fuller.

*¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?*

Observar, explorar, y esforzarse por demostrar y enseñar los principios y ejemplos de la biomimesis.

*¿Bajo qué criterios podríamos evaluar los trabajos?*

Midiendo los resultados y comparándolos con lo mejor que puedas encontrar en la naturaleza.

*¿En qué estás trabajando en este momento?*

En un nuevo libro (mi 5º.), que habla sobre el lado oscuro inherente a cualquier tecnología.

*¿Cómo te iniciaste en la biomimesis/diseño bioinspirado?*

Buckminster Fuller fue mi profesor en la Universidad de Michigan en los años 50.

*¿Cuál es tu obra biomimética favorita?*

El Boeing 747.

Modelaron su relación resistencia-sustentación (le finesse) con base en la maravillosa eficiencia del colibrí. ¡Ambos queman por hora 0.4 de su peso!

*¿Cuál es el libro más reciente que has disfrutado?*

*Juegos Finitos y Juegos Infinitos* de James P. Carse.

*¿A quién admiras?*

A... Allan Savory.

Es un pensador poco convencional, y sus ideas radicales y contrarias al sentido común realmente funcionan. Sigue la advertencia de Bucky, “Para que la filosofía sea efectiva, debe aplicarse mecánicamente.”

*¿Cuál es tu lema o cita favorita?*

“Al final, la integridad es lo único que va a contar” Buckminster Fuller (de nuevo).

*¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?*

Trabajar con personas buenas tratando de descubrir cómo funciona la naturaleza, y reclutando a otros para la causa.

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

Medidor de voltaje para cercas eléctricas.     ×



Cúpula almohadillada

De Jay Baldwin: *Cúpula almohadillada*, 1985 | <http://www.thegreencenter.net/pdf/dome1985.pdf>



Ala de libélula

Foto: Stephen Begin, 2011 | Flickr cc



# *Entrevista con* María Mingallon

María Mingallon es ingeniera estructural colegiada con título en arquitectura. Sus principales intereses de investigación se enfocan en geometrías complejas, tecnologías emergentes, búsqueda de formas y biomimesis.

Se graduó en el año 2005 como Ingeniera Civil en la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), en España, y obtuvo una beca para terminar sus estudios en el Imperial College de Londres. Desde que se graduó como ingeniera estructural, María ha trabajado en la firma Arup. Entre otros proyectos, diseñó dos puentes peatonales que conducen al Centro Acuático, obra de la firma Zaha Hadid Architects en el Parque Olímpico de Londres 2012.

En 2008 Arup patrocinó su maestría en Tecnologías Emergentes y Diseño en la Architectural Association, de donde se graduó con Honores.

Actualmente está impartiendo las materias de “Construcción Avanzada” y “Taller de Diseño de Comunidades” en el programa profesional de la Maestría en Arquitectura en la McGill School of Architecture. Anteriormente impartió clases en la Architectural Association como profesor visitante.

María también forma parte del comité de revisión para el Simposium sobre Simulación en Arquitectura y Diseño Urbano (SimAud).

Recientemente publicó su primer libro: *Fiber Composite Adaptive Systems: A manifesto into self-actuating potentials of fiber composite structures embedded with shape memory alloy actuators* (Sistemas de fibra compuestos y adaptativos: un manifiesto sobre el potencial de auto-activación de las estructuras de fibra compuestas incrustadas con activadores de aleaciones con memoria de formas), Diciembre 2010.

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

Todavía está bastante limitado cuando uno observa el número de industrias que considera la biomimesis en el proceso de diseño. En la actualidad se aplica en industrias muy específicas, en las que la innovación es el diferenciador clave. Esto, sin embargo, no es el caso en las industrias más conservadoras tales como la de la construcción. Aunque este sector podría ser uno de los que más se beneficien del uso de estrategias de construcción bioinspiradas, es raro encontrar personas que cuando menos conozcan el término biomimesis.

*¿Cuáles consideras que son los mayores retos?*

Convencer a la gente de que vale la pena invertir en investigación sobre biomimesis en las primeras etapas de un proyecto. También que la mayoría de las veces ya estamos buscando inspiración en los sistemas de la naturaleza cuando diseñamos, por ejemplo, el sistema de drenaje en una carretera.

*¿En qué áreas deberíamos estar enfocandonos para avanzar en el campo de la biomimesis?*

Las estrategias naturales de construcción (incluyendo tipologías estructurales naturales) y la ciencia de materiales son las dos principales. ¡Si pudiéramos construir como lo hace la naturaleza, lograríamos casi la perfección! Y los desechos a nivel global ya no serían un problema.

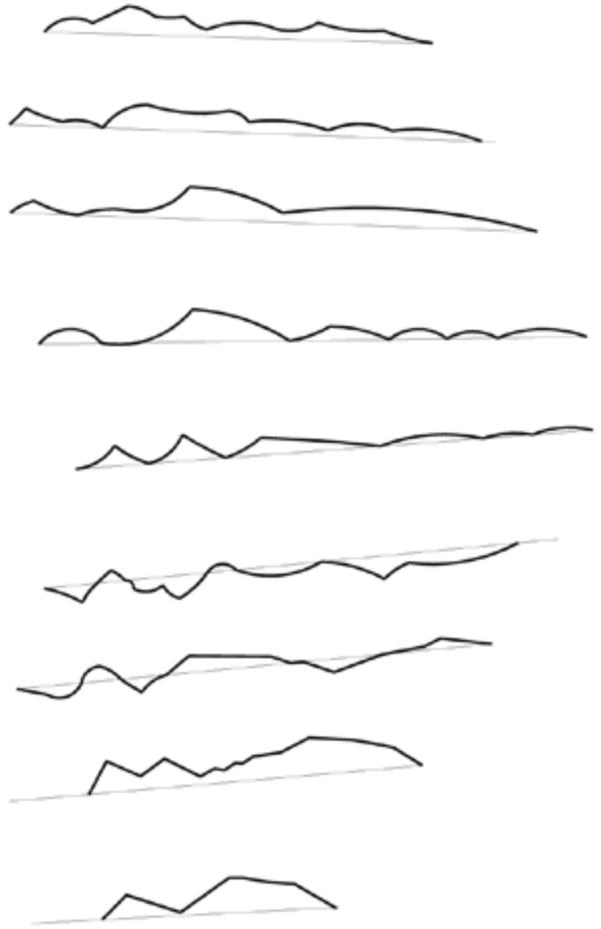
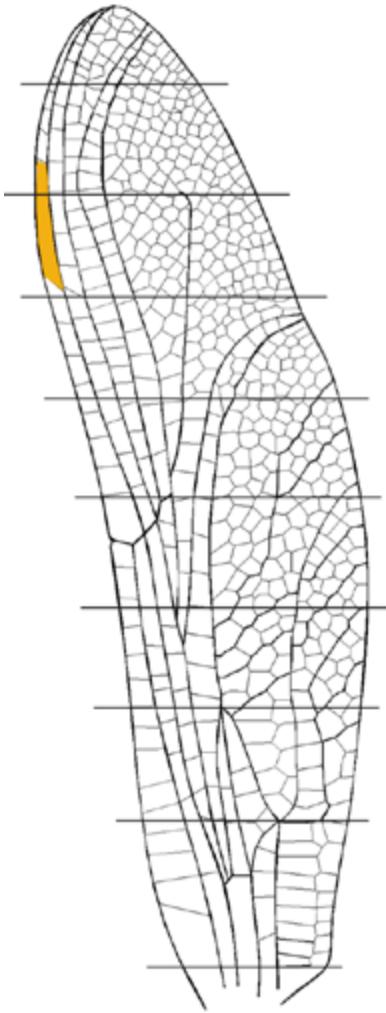
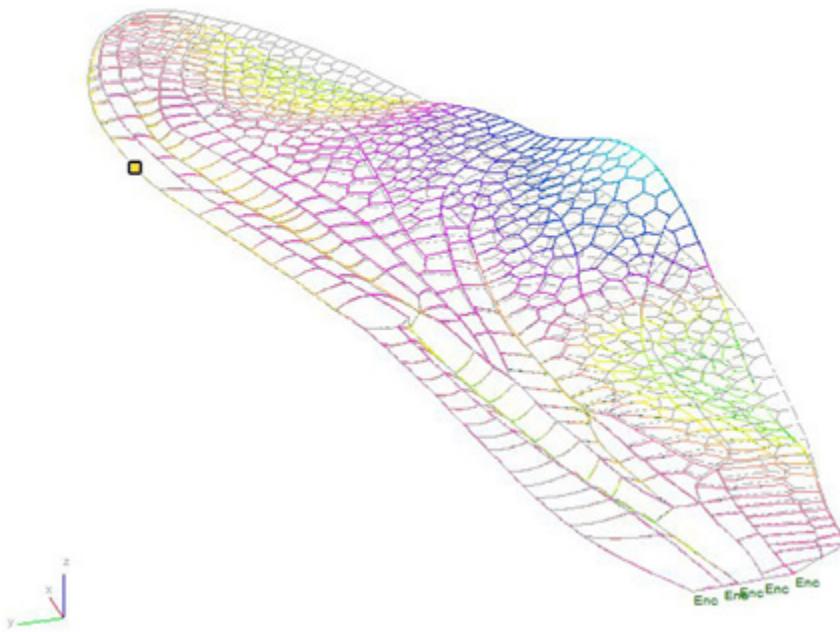
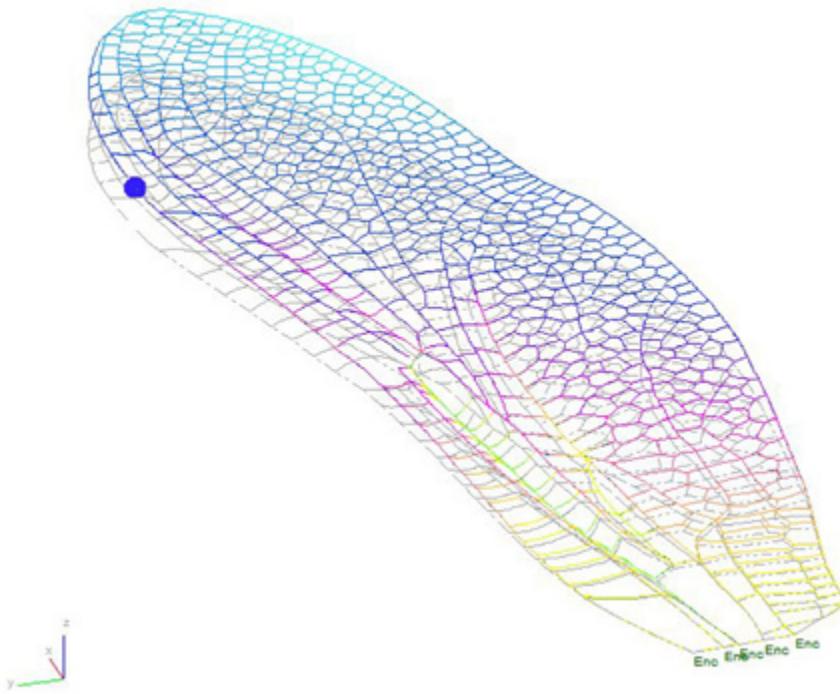
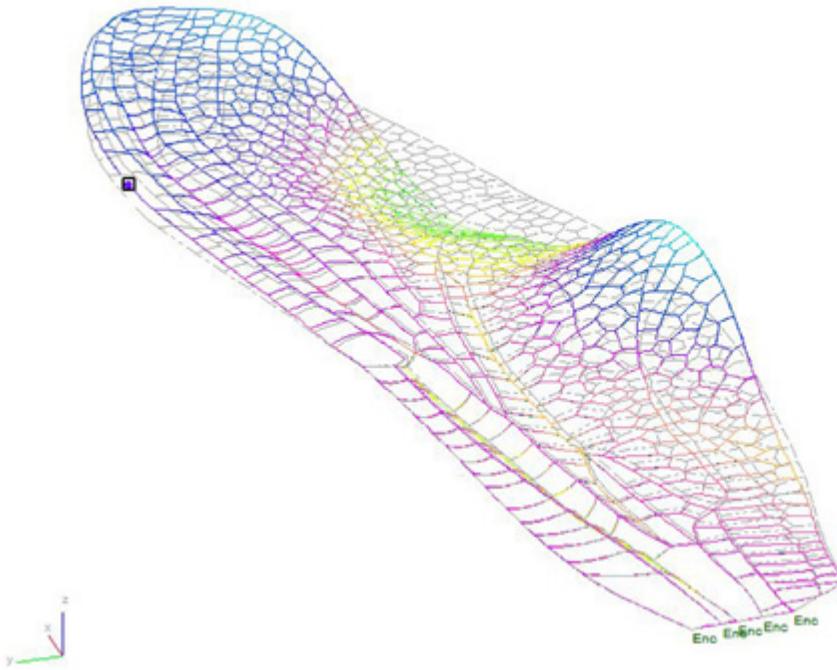
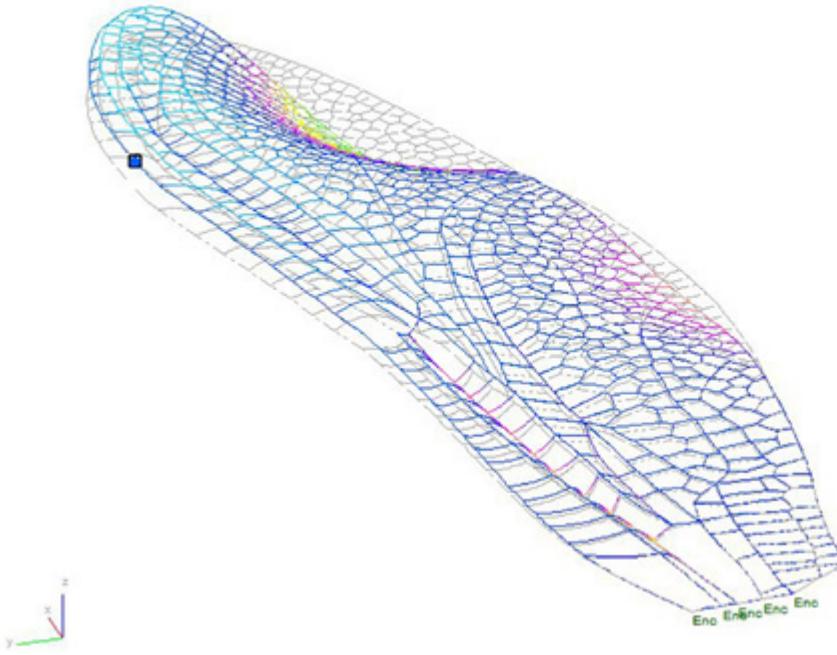


Ilustración cortesía de María Mingallon



→ Modos vibracionales extraídos del análisis modal llevado a cabo por GSA, Oasis. | Maria Mingallon and Sakthivel Ramaswamy



Otra área interesante es encontrar estrategias sustentables para producir y ahorrar energía, es decir, no sólo la producción en sí, sino también el manejo eficiente.

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

Para mí, la naturaleza es la mejor profesora de ingeniería estructural. La naturaleza es una enciclopedia gratuita donde podemos encontrar respuesta a prácticamente todos los retos de diseño. La naturaleza ya ha resuelto el problema, probándolo durante millones de años a través de la evolución. Mis principales intereses en la biomimesis son las tipologías estructurales naturales, los procesos de formación, y las estrategias naturales de construcción.

*¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?*

Proveer un foro donde especialistas en la biomimesis e individuos interesados en aprender de ella puedan compartir ideas, proyectos y otras iniciativas. Esencialmente convertirse en un “banco” de información sobre estudios de caso y ejemplos de biomimesis, es decir, una fuente de inspiración. Este espacio también contribuirá ayudando a difundir cómo la biomimesis puede impulsar más allá de sus fronteras al diseño y a las estrategias de construcción actuales.

*¿En qué estás trabajando en este momento?*

En “The Architecture of the Dragonfly Wing: A Study of the Structural and Fluid Dynamic Capabilities of the Anisoptera’s Forewing” (*La*

*arquitectura del ala de la libélula: Un estudio sobre las capacidades estructurales y dinámica de fluidos de las alas delanteras de la Anisóptera*). El trabajo presentado aquí es parte de un documento técnico de los coautores María Mingallon (*Ingeniero Estructural Senior para la empresa Arup*) y Sakthivel Ramaswamy (*Director de la empresa KRR Engineering*), publicado y presentado en 2011 durante el Congreso de la ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos). El documento resume los principales hallazgos de una investigación sobre biomimética más amplia, elaborada por la Asociación de Arquitectura como parte del programa de maestría en Tecnologías Emergentes y Diseño. El objetivo de la investigación era derivar la lógica adaptable y performativa del ala de libélula. Fue necesario realizar simulaciones digitales usando el software GSA desarrollado por la empresa Oasys para entender las geometrías de patrones múltiples y onduladas, las cuales generan un comportamiento estructural único, responsable del alto desempeño de las libélulas en vuelos pasivos.

La morfología de las alas de la libélula es una construcción natural óptima, elaborada mediante un proceso complejo de formación de patrones, desarrollado a través de la evolución como respuesta a los flujos de fuerza y a la organización de materiales. Las variaciones aparentemente al azar de patrones poligonales y cuadrangulares siguen una lógica de organización multijerárquica que permite alternar entre configuraciones rígidas y flexibles.

Como el ala de la libélula tiene una estructura altamente dinámica, fue necesario realizar estudios de vibración para obtener patrones

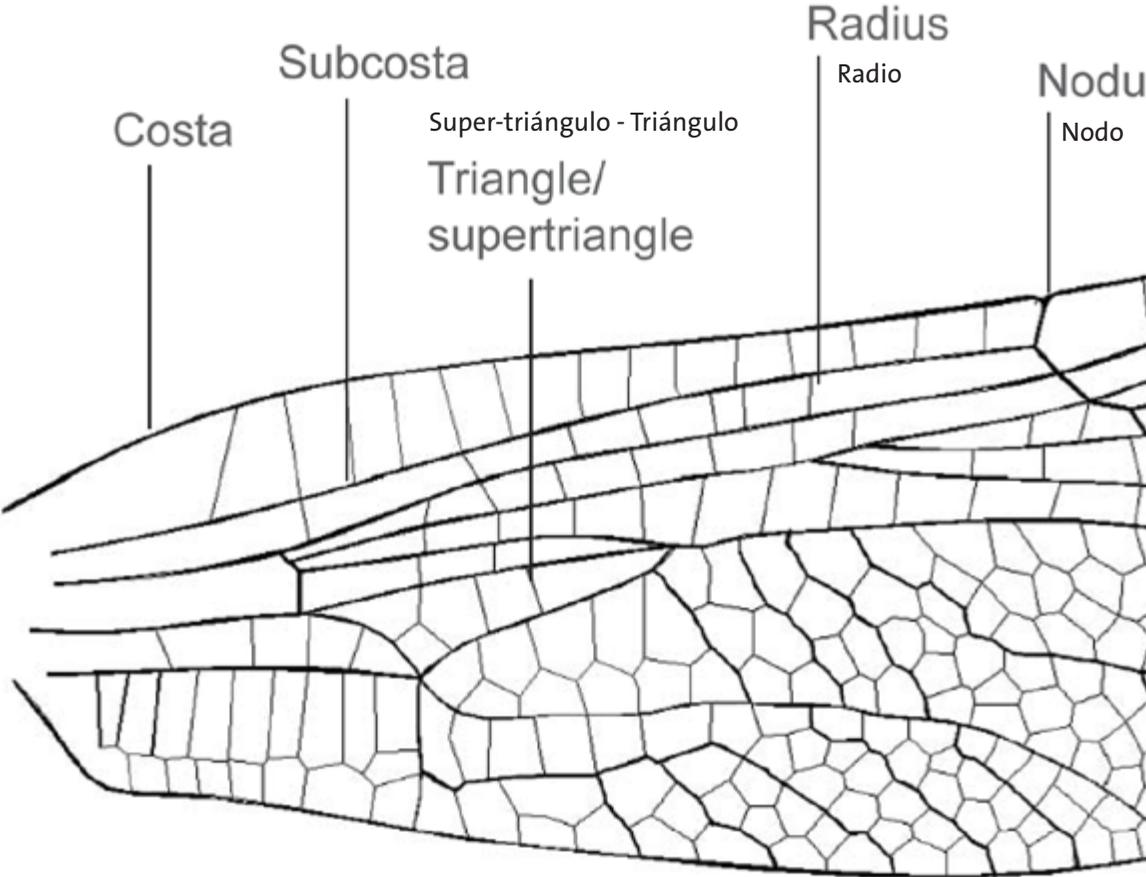


Cabeza de libélula

Foto: Stephen Begin, 2011 | Flickr cc

# Basal Wing Section

Sección basal del ala

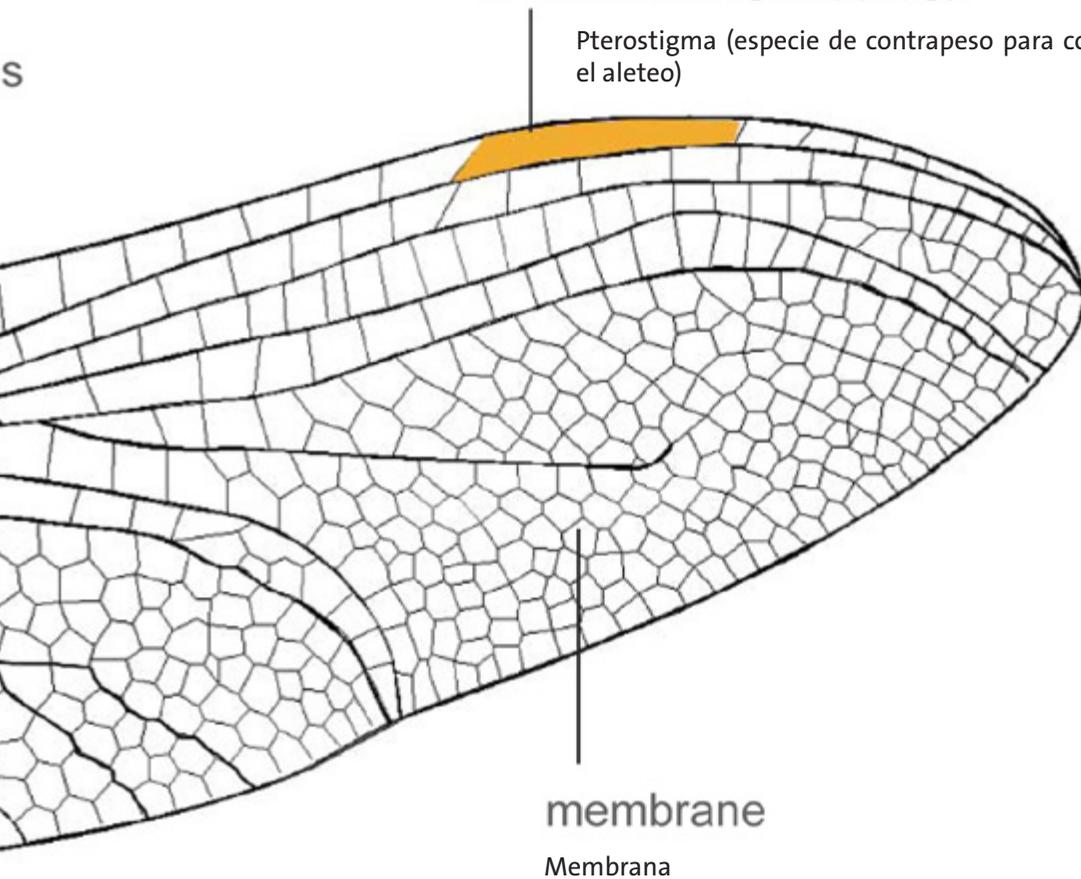


## Distal Wing Section

Sección distal del ala

pterostigma (sort of counterweight  
to control wing flapping)

Pterostigma (especie de contrapeso para controlar  
el aleteo)



membrane

Membrana

Ilustración cortesía de María Mingallon

reales de deformación y así poder entender su comportamiento estructural. Diez modos de vibración se extrajeron del análisis modal realizado con el software GSA. Nuestros ojos tienen dificultades para distinguir el tercero, cuarto y quinto modo de vibración (que ocurren casi simultáneamente), debido a las altas frecuencias que se exhiben. En nuestro caso, las imágenes a cámara lenta del vuelo real de la libélula nos han permitido identificar hasta el tercer modo de vibración en comparación con lo calculado en el análisis.

Las imágenes resultantes que muestran los diferentes modos de vibración del ala ilustran la correlación descrita anteriormente entre patrones geométricos y los diferentes grados de flexibilidad. El patrón rectangular encontrado en la zona más alta del ala está diseñado para soportar una carga perpendicular al borde superior del ala durante el vuelo, mientras las ondulaciones ayudan a resistir cargas perpendiculares al plano del ala.

En los diferentes modos se puede observar una onda de torsión en el borde de salida; esto ocurre debido a la tendencia que tienen los elementos cercanos a la punta del ala, de girar antes que los más próximos a la base, creando así una onda de torsión. Localizado en el borde superior, el nodo actúa como refuerzo y amortiguador. El nodo soporta las concentraciones combinadas de estrés por torsión y por flexión generadas en la unión de los largueros antenodales que son cóncavos y rígidos y los largueros postnodales que son flexibles a la torsión. La concentración de esfuerzos y los momentos de flexión deben haber impuesto una fuerte presión de selección en el desarrollo del nodo, que combina una franja de cutícula suave que absorbe la tensión

con fuertes barras transversales de tercera dimensión a lo largo de todo el larguero ubicado entre el margen costal y el borde superior.

Las figuras modales deformadas demuestran que el patrón pentagonal-hexagonal está diseñado para deformarse y por esto provee el empuje necesario para mantener a la libélula en el aire. El ángulo de 120° presente en estas geometrías, permite a los polígonos reorganizarse y pasar de estar en un solo plano a formar una superficie cóncava, utilizando mucha menos energía que la de los patrones rectangulares.

*¿Cómo te iniciaste en la biomimesis/diseño bioinspirado?*

A raíz de un curso sobre Biomimética en la Architectural Organization, en Londres, Reino Unido, impartido por George Jeronimidis (Reading University, Reino Unido) y Michael Weinstock (Director del programa de Master en Tecnologías Emergentes y Diseño en la Architectural Association, Londres, Reino Unido).

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

<http://www.asknature.org/media/image/19041> (ver imagen pg. 44)

*¿Cuál es tu obra biomimética favorita?*

Los productos Lotus Paint: Lotusan® paint.

Pero también: el Material Autónomo Autocurativo, del Departamento de Mecánica e Ingeniería Aeroespacial en la Universidad

Estatad de Arizona (Arizona State University) (<http://www.asknature.org/product/78db777b-efc7a0725fo317274337of80>).

difícil de explicar, pero creo que se deriva de pensar que al menos estamos aprendiendo de la mejor maestra... ¡la naturaleza!

¿Cuál es el último libro que has disfrutado?

*The Tinkerer's Accomplice: How Design Emerges from Life Itself* (Cómplice de la Creación: cómo el diseño emerge de la vida misma), de J. Scott Turner.

¿Si no fueras científica/diseñadora/educadora qué te gustaría haber sido?

Alguna vez quise ser gimnasta, pero mis huesos y tendones dejaron de ser tan flexibles cuando empecé a estudiar ingeniería. ¡Creo que ser ingeniera estructural/arquitecta/investigadora/profesora es todo lo que quiero ser! x

¿A quién admiras? Por qué...

A D'Arcy Thompson; su libro *Sobre el Crecimiento y la Forma* revela secretos de la ingeniería natural que no se enseñan en las escuelas de ingeniería estructural.

¿Cuál es tu lema o cita favorita?

“ el esfuerzo, resultado de la tensión, es un estímulo directo para el crecimiento en sí” de D'Arcy Thompson, en *Sobre el Crecimiento y la Forma*.

También

“La forma sigue a la función”, Bauhaus School of Architecture.

¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

Trabajar en proyectos en los que el cliente tiene interés en las oportunidades de diseño bioinspirado, poder hacer investigación al respecto y aplicar dichas oportunidades al proyecto. Me brinda una sensación de armonía



Detalle de ala de libélula

Foto: Stephen Begin, 2011 | Flickr cc



Patos

Foto: Ingrid Taylor , 2009 | Wikimedia Commons



# *Entrevista con* Jane Fulton Suri

Jane Fulton Suri es Socia y Directora Ejecutiva de IDEO. Es responsable del desarrollo de contenido y arte, conocimiento y pensamiento de diseño para clientes en todo el mundo. Jane llegó a IDEO procedente de los campos de la psicología y la arquitectura con la ambición de traer perspectivas basadas en las ciencias sociales a la práctica del diseño. Trabajando en diversos retos para clientes de múltiples industrias, fue pionera de los enfoques centrados en el ser humano y promovió la creación de una comunidad colaborativa. Jane ha evolucionado las técnicas de observación empática y experiencia prototípica que hoy día se emplean ampliamente en el diseño y la innovación de productos, servicios, y ambientes así como de sistemas, organizaciones y estrategias. Ahora que los diseñadores se enfrentan a retos cada vez más complejos y sistémicos, Jane ha comenzado a ver más allá del comportamiento humano para explorar cómo los patrones de la naturaleza y de los sistemas vivos pueden informar e inspirar soluciones más elegantes y sostenibles.

Jane creó *Thoughtless Acts? Observations on Intuitive Design* (Chronicle books, 2005) (*¿Actos irreflexivos? observaciones sobre el diseño intuitivo*), una colección de fotografías que describen las maneras sutiles y creativas en que la gente interactúa con el mundo. Jane cree que, en el fondo, todas las personas son creativas e ingeniosas y recibe gran recompensa cuando aprovecha esta capacidad.

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

Es una manera de ampliar la lente con la que los diseñadores miran el mundo en busca de inspiración y guía. Está evolucionando desde tener un énfasis en materiales y mecanismos

hacia también proveer buenos modelos y metáforas para algunos de los retos a los que nos enfrentamos.

*¿En qué áreas deberíamos estar enfocandonos para avanzar en el campo de la biomimesis?*



En cómo se produce el diseño, cómo piensan los diseñadores, cómo aprenden los diseñadores.

*¿Bajo qué criterios podríamos evaluar los trabajos?*

Elegancia, resonancia, que tengan sentido.

*¿En qué estás trabajando en este momento?*

En capturar lo que aprendimos en uno de los estudios de IDEO a partir de un experimento de 3 meses durante el cual un biólogo se integró a nuestros equipos de diseño—y en construir herramientas para tratar de mantener algunas de esas perspectivas.

Señuelos de madera por Amiel Garibaldi de mitad del siglo XX. Muchas de sus piezas están hechas en madera procedente de escaleras de casas victorianas derruidas. No emplea plantillas pues considera que “cada pato dentro de una bandada es único y por tanto hace más natural su aspecto final”. J. F. Suri

*¿Cómo te iniciaste en la biomimesis/diseño bioinspirado?*

Pensando en la gente como parte de los sistemas naturales, y no sólo de la cultura humana.

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

Películas del maestro del género documental, Frederick Wiseman, de 81 años de edad. En realidad lo que me inspiró mucho fue la oportunidad de escucharlo hablar sobre su oficio y su proceso, que él caracteriza como crear “una narrativa dramática a partir de eventos que se hallaron de manera sencilla”. Percibo esto como algo cercano al diseño: materias y modelos que uno se encuentra son la materia prima para las cosas que creamos, y que subsecuentemente crean un nuevo significado.

*¿Cuál es tu obra biomimética favorita?*

Aún no existe, yo creo que se está gestando.

*¿Cuál es el libro más reciente que has disfrutado?*

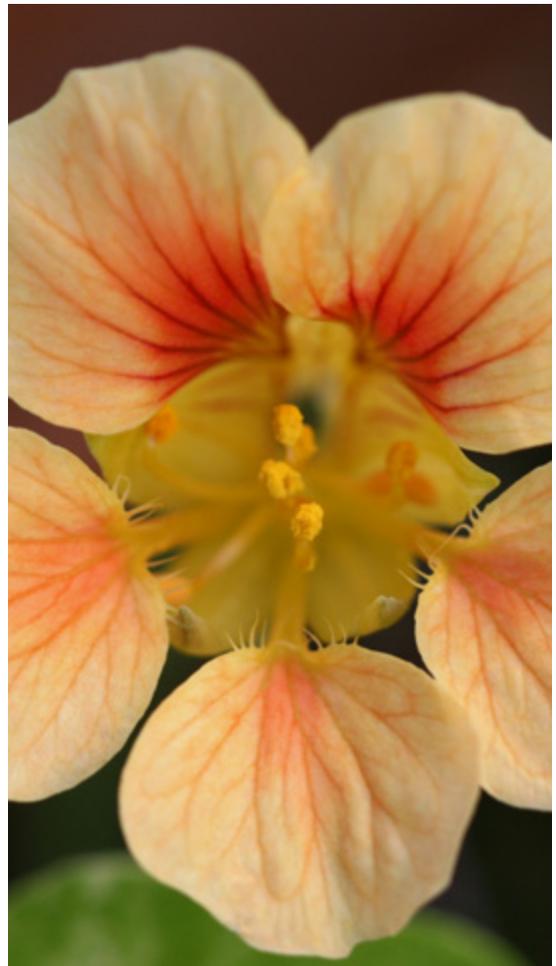
*Somatics: Reawakening The Mind's Control of Movement, Flexibility and Health*, de Thomas Hanna (*Somática: despertar el control de la mente sobre el movimiento, la flexibilidad y la salud*).

*¿Cómo concibes la felicidad perfecta?*

Disfrutar el estar aquí, y ¡no pensar en la felicidad perfecta!

*¿Si no fueras una científica/diseñadora/educadora quién o qué serías?*

Un gato: ¡disfrutando estar aquí, sin pensar en la felicidad perfecta! x



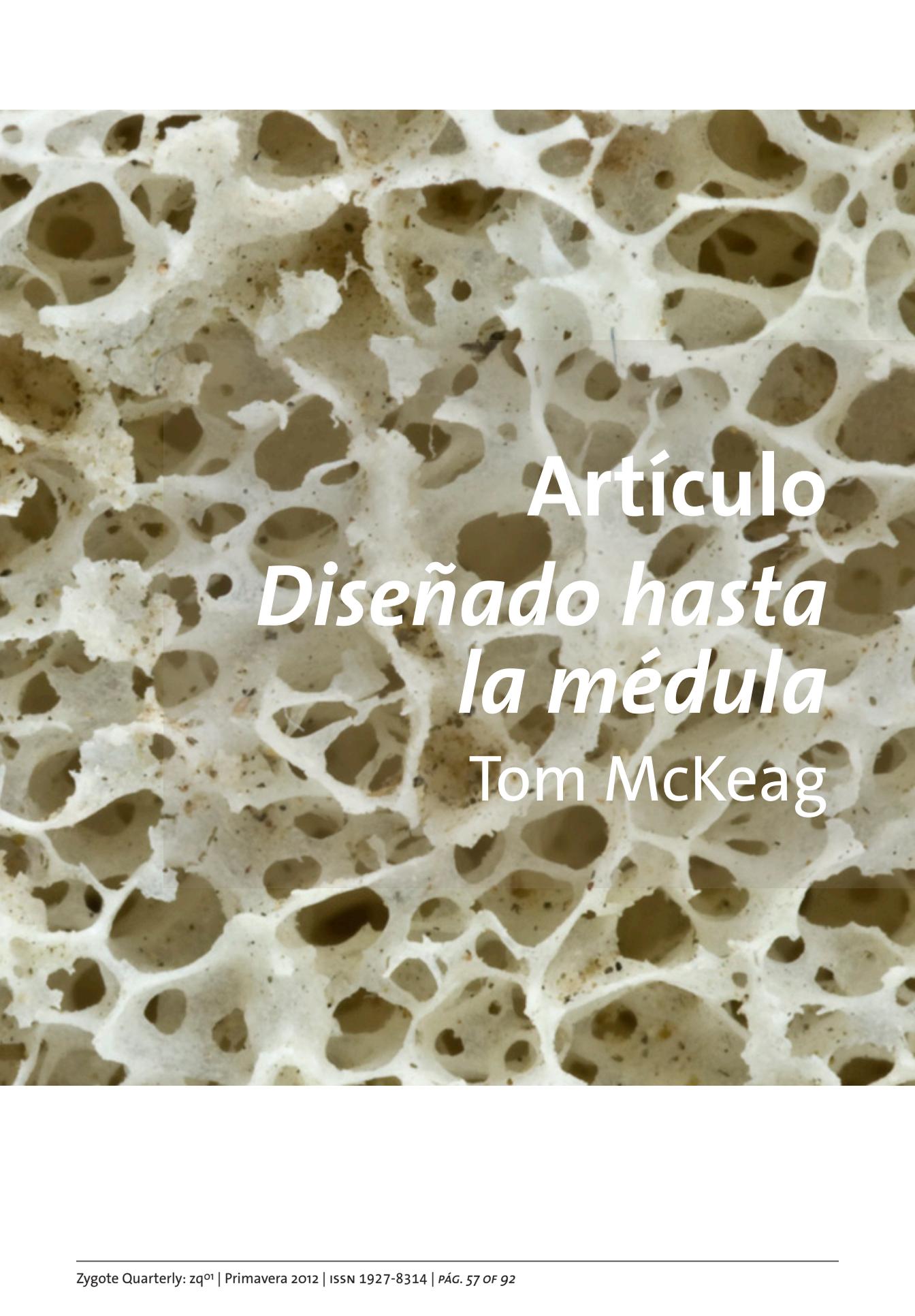
Nasturtium | Entrada de las abejas

Foto: Philip Bouchard, 2009 | Flickr cc



Detalle cercano de hueso

Foto: Patrix, 2010 | Flickr cc



Artículo  
*Diseñado hasta  
la médula*  
Tom McKeag

# Diseñado...hasta la médula

## *Las Tendencias*

Estamos viviendo una época fascinante para los diseñadores: nuevas herramientas están cerrando la brecha entre lo inspirador y lo práctico. Ésta es una oportunidad especialmente valiosa para quienes hacen cosas inspirados por el complejo y dinámico mundo de la naturaleza.

En nuestra opinión, tres tendencias se han combinado para crear una revolución que tendrá numerosas y duraderas consecuencias para nuestra sociedad. El acelerado avance en la tecnología de información y la creación de redes, la alteración del modelo actual de producción en masa de la industria manufacturera, y la integración de máquinas y seres humanos serán los fenómenos que impulsarán este cambio radical.

Formas complejas se pueden analizar, diseñar, hacer prototipos y fabricar de maneras que hubieran sido imposibles hace sólo cinco años. Hoy día, una forma natural se puede escanear y modelar en software, se le pueden realizar pruebas digitales de esfuerzo de cargas, y dicha forma puede realizarse en una variedad de materiales directamente desde los planos del diseñador en una fracción del tiempo y costo previamente requeridos.

Estas nuevas capacidades de análisis y diseño se han mezclado con avances en miniaturización y biomateriales para contribuir al continuo refinamiento y desarrollo de elementos comunes en la interface ser humano/máquina. Esto figura

entre las tendencias científicas importantes citadas en un informe de la Academia Nacional de Ciencias (*National Academy of Sciences*), publicado en 2009, "Una nueva biología para el Siglo XXI".

El presente artículo habla acerca de cómo estas tres tendencias han convergido en una pequeña empresa de San Francisco, California, Bespoke Innovations. Bespoke hace extremidades artificiales, ofreciendo una mejor relación entre una persona que ha sufrido una amputación y el dispositivo sintético fabricado con estas nuevas y poderosas herramientas. Elegimos el diseño de este producto como caso de estudio porque ilustra una combinación de ciencia, tecnología y diseño, así como porque estas técnicas son muy prometedoras para la práctica general del diseño bioinspirado y la mejora de nuestra sociedad.

## *La Arena*

Se han hecho prótesis desde tiempos de los antiguos egipcios. Si bien han habido mejoras importantes en la industria, la mayoría de los expertos están de acuerdo en que estamos muy lejos de verdaderamente imitar el modelo natural. Históricamente, las extremidades artificiales han sido incómodas, mecánicas e impersonales. Además pocas veces han dado al portador un sentimiento de integridad, sino más bien la sensación de llevar una carga. Aunque la articulación ha sido adecuada, no se ha refinado, y ciertamente no

## Prótesis

Los avances en el diseño de prótesis han impulsado al campo hacia productos con mayor capacidad de respuesta al entorno y, tal vez, más bioinspirados. He aquí algunas de las técnicas que están difuminando la línea entre máquinas y seres humanos.

Los dispositivos mioeléctricos son controlados por minúsculos voltajes generados en la superficie de la piel mediante la actividad de los músculos residuales. Estos voltajes se amplifican y se procesan de manera que cuando el usuario flexiona un músculo, los motores en la prótesis se mueven de una manera predecible. Típicamente utilizados para aplicaciones en la parte superior del cuerpo, cada dispositivo puede costar decenas de miles de dólares.

De manera similar, un pie "inteligente", con transductores de presión que envían señales a electrodos implantados en el muñón, permite al usuario sentir el suelo (y por tanto ajustar su andar) pero es un producto caro.

Las interconexiones neuronales, o neuroprótesis, se encuentran todavía en fase de desarrollo, aunque avanzan rápidamente. El cerebro controla impulsos nerviosos que se redireccionan hacia músculos sustitutos. Estos



Innovación de Bespoke.

Polímero negro y cromo.



Innovación de Bespoke.

Polímero negro y cromo.

músculos, a su vez, envían cargas eléctricas amplificadas a sensores sintéticos conectados al dispositivo artificial.

Un equipo liderado por científicos de la universidad Johns Hopkins empezó a hacer pruebas en seres humanos. Chips (microarrays) en los cerebros de los individuos participantes de estos estudios registrarán y transmitirán señales a un brazo de aproximadamente 4 kgs (9 lbs) de peso con 22 grados de libertad de movimiento, control individual de dedos y sensores que permiten sensación táctil virtual. En 2003, se trabajó con monos condicionándolos para utilizar este brazo tipo, en 2008, para controlar a través de su actividad cerebral los movimientos de caminado de un robot.

También se trabaja vigorosamente en lograr la unión de tejidos vivos a dispositivos sintéticos y en diseñar implantes médicos que sean aceptados por el receptor. Una mandíbula de titanio impresa en 3D se implantó exitosamente en una mujer de 83 años en los Países Bajos en junio de 2011. La investigación que sirvió de base para esta operación pionera fue realizada por un equipo del Biomedical Research Institute (Instituto de Investigación Biomédica) de la Universidad de Hasselt, Bélgica.



Innovación de Bespoke.

Cromo

responde en tiempo real a las condiciones del medio ambiente. Por ejemplo, la vida útil promedio de una extremidad artificial es de tres años debido a que la extremidad residual cambia de tamaño y forma. Finalmente, la mayoría de las prótesis han carecido de cualquier individualidad que refleje al usuario.

La típica prótesis de pierna inferior comprende un encaje hecho de polipropileno que se ajusta a la extremidad residual; un núcleo sólido o pilón hecho de titanio, aluminio o fibra de carbono; un pie de espuma de poliuretano con un centro de madera; cinturones y correas para sujetarlo; y calcetines protésicos que absorben el impacto y dan un mejor ajuste. Por lo general, el pilón está revestido de espuma suave de poliuretano en forma de pierna y cubierto con un calcetín de color semejante al tono de piel del paciente.

Hugh Herr, líder del grupo de biomecatrónica en el Media Lab de MIT (Biotech.media.mit.edu) estima que hay más de 1 millón de amputados en los Estados Unidos, y que se venden aproximadamente 150.000 prótesis al año. Se han logrado avances relevantes para fabricar extremidades más orgánicas, pero muchos de los nuevos productos y procedimientos son costosos. (ver texto en columna lateral).

### *El Desafío*

El reto específico que aquí describimos es el diseño de la forma y la elaboración de figuras físicas que cumplan con los requisitos de estructura, apariencia y rendimiento biomecánico. Teniendo en cuenta las desventajas actuales de los dispositivos protésicos, ¿cómo hacer una extremidad artificial que sea fuerte,

ligera, duradera y barata? ¿Puede uno hacerla cómoda, hermosa y personal sin que sea la cruda imitación de una pierna perdida?

Nuestros protagonistas son un diseñador industrial y un cirujano, con un equipo de apoyo formado por ingenieros de software, y fabricantes de dispositivos de escaneo e impresión. Además de investigadores médicos, pacientes, protesistas, terapeutas físicos y expertos en biomecánica.

### *La Empresa: Bespoke Innovations*

Nuestro caso de estudio es la empresa Bespoke Innovations de San Francisco, California. Bespoke hace prótesis o extremidades artificiales para personas y fue fundada en 2009 por Scott Summit, un diseñador industrial, y el Dr. Kenneth Trauner, un cirujano ortopeda. La dirige Paul C. Lego, Ejecutivo Principal (CEO). La empresa tiene 8 empleados y se encuentra actualmente en una segunda ronda de inversión de capital de riesgo. Recientemente ganaron varios premios por sus diseños, incluyendo el Good Design Award 2011 (premio al buen diseño) y Gold IDEA 2011, este último otorgado por la Sociedad de Diseñadores Industriales de América (*Industrial Designers Society of America*).

Summit es el Director de Tecnología (Chief Technology Officer) y director creativo de la empresa. Forjó su experiencia en productos electrónicos de consumo y ha colaborado en varios diseños galardonados de empresas como Apple, Nike y Palm. Tiene una visión amplia del campo de la tecnología y del diseño industrial, y ha impartido clases en Stanford, Carnegie Mellon y Singularity University. Aunque está

Fue un evento excepcional: el primer implante paciente-específico para reemplazar en su totalidad una mandíbula inferior, con todas las consecuentes complejidades de uniones articuladas y regeneración de tejido. La mandíbula de metal había sido rociada con un revestimiento biocerámico usando un spray de plasma de alta temperatura. Investigadores de Washington State University ya han logrado hacer crecer hueso nuevo utilizando un molde poroso de titanio con un revestimiento similar al utilizado en dicho implante de mandíbula.

La impresión de tejidos vivos se realiza desde hace tiempo; en algunos casos, así se han elaborado órganos completos. El reto de mantener dichos órganos en funcionamiento ha implicado, entre otras cosas, suministrar vasos sanguíneos. Científicos que trabajan en el Proyecto BioRap del Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology IGB (Instituto Fraunhofer para la Ingeniería Interfacial y Biotecnología) en Stuttgart, Alemania, recientemente fabricaron capilares sintéticos combinando manufactura aditiva y polimerización multifotónica. En un pequeño espacio se concentraron láseres intensos para estimular las moléculas de un cultivo de tejidos, permitiendo a un sólido elástico interactuar con tejidos en el cuerpo humano. A continuación se recubrió el sólido con biomoléculas modificadas para evitar rechazo por parte del receptor. Los resultados se mostraron en la Feria de Biotecnología en Alemania en Octubre de 2011.



Innovación de Bespoke.

Cromo



Innovación de Bespoke | Modelo número 1 Sara Lace | Polímero marfil y cromo



orgulloso de ese trabajo, aquello no se compara con la pasión que hoy siente por la misión de Bespoke:

“El Diseño Industrial puede ser usado como una herramienta para mejorar la calidad de vida de las personas y resolver necesidades humanas reales. Las nuevas herramientas digitales permiten a los innovadores explorar estas oportunidades con mayor facilidad que nunca.”

Summit explicó cómo cree que los avances en la tecnología marcarán el comienzo de una nueva era de “personalización en masa”. Esto se fundamentará en tres procesos que Bespoke utiliza diariamente para su trabajo:

- Escaneo e imagenología en 3D precisos y económicos
- Diseño asistido por computadora utilizando modelado paramétrico.
- Fabricación Digital

El trabajo de la empresa con su línea de productos Fairings (carenados) ilustra este proceso. Se trata de paneles especiales que recubren el núcleo mecánico de una pierna artificial, y en Bespoke su apariencia puede ser tan increíblemente creativa como el cliente lo desee. Piel, madera, fibra de carbón, o cualesquiera de las telas sintéticas utilizadas en interiores de autos o en la industria de la moda, se pueden usar para expresar de manera única la individualidad de los usuarios.

En un caso típico, le tomaría a la empresa 2 a 3 días diseñar una pierna artificial. El proceso empieza escaneando tridimensionalmente la pierna viva o “sana”. Esta imagen se refleja en el software CAD y se superimpone sobre la prótesis. El

cliente elige opciones con el diseñador, y luego se hace la pieza básica en una impresora 3D y se le agregan los detalles especiales.

Summit opina que las capacidades actuales de la fabricación digital representan una revolución en la manufactura, donde “la complejidad es gratis”. En otras palabras, dadas las poderosas herramientas mencionadas arriba, no se requiere mayor esfuerzo humano o más dinero para producir una forma compleja que para producir una simple. Más aún, la capacidad de las impresoras 3D de reproducirse a sí mismas representa un nivel completamente nuevo de habilidades que apenas empieza a explorarse.

La empresa ha aprovechado los beneficios que ofrecen los avances tecnológicos en los procesos de escaneo y fabricación para mejorar las vidas de quienes han perdido extremidades.

El proceso ofrece al cliente una prótesis con un contorno natural a su gusto, además de la oportunidad de ser parte del proceso de diseño y de expresar un estilo individual positivo. Una discapacidad se convierte en la oportunidad de crear un diseño muy personal y bello.

### *La inspiración*

La empresa está investigando una aplicación más profunda de sus métodos exitosos, y observando más de cerca a la naturaleza para lograrlo. La nueva meta es mejorar el funcionamiento del dispositivo protésico, especialmente su relación peso-resistencia, a través de mejoras en su estructura.

El cuerpo humano sigue siendo la fuente de inspiración a través de la estructura de los huesos.



Innovación de Bespoke. Cromo

*La Estructura del Hueso*

Así como muchos de nosotros olvidamos que nuestra piel es un órgano (el más grande que tenemos), también olvidamos que nuestros huesos están vivos. Sangre, aceite y nutrientes continuamente fluyen a través del hueso sano; células nuevas se producen mientras que las viejas se eliminan. Es dentro de la médula ósea, el núcleo interno de un hueso largo, donde se fabrican las células sanguíneas para todo el cuerpo.

Notodos los huesos son iguales. Aunque su receta de células especializadas, fibras de proteína (principalmente colágeno), carbohidratos, cristales minerales (fosfato de calcio) y agua es fundamental, los ingredientes se pueden ajustar en términos de proporciones y de disposición. Por tanto, es mejor considerar a un hueso de pierna común como un sistema de partes que trabajan de manera interrelacionada que como una sola entidad. Alrededor de la base ósea, o canal medular, hay una capa de hueso esponjoso. La matriz abierta de este material también contiene médula ósea, y los puntales óseos o trabéculas internos evolucionan para orientarse a lo largo de las líneas de tensión impuestas en la estructura global. Afuera de este hueso esponjoso está una capa de hueso compacto: duro, fuerte y como caparazón debido a su mayor densidad de cristales.

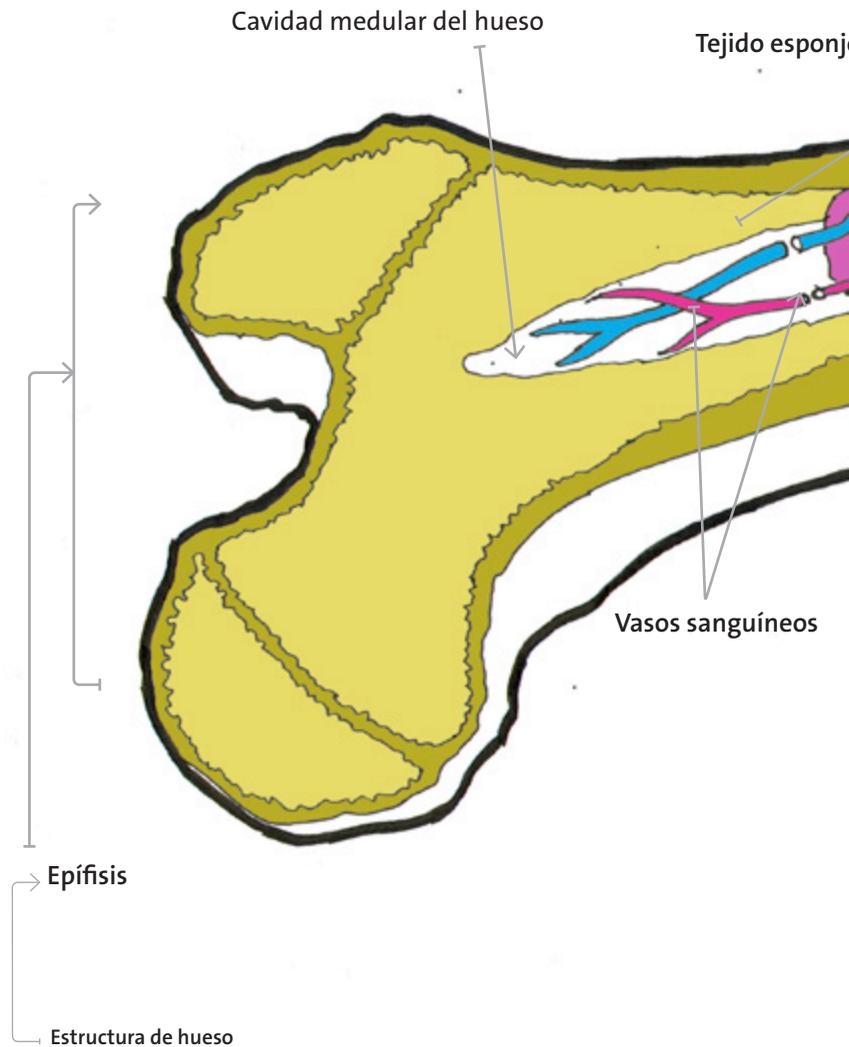
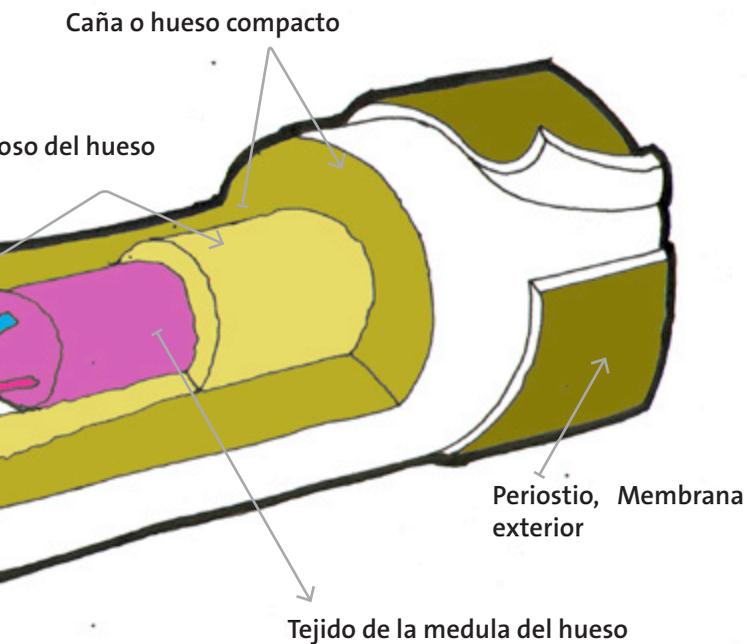


Ilustración de C. McDonald, 2012



Como todas las estructuras del mundo vivo hechas de células, este material se construye partiendo de lo más pequeño hacia una estructura más grande y compleja. Los osteones, que tienen forma de barra, son los ladrillos con los que se construye este material. Están formados por laminillas óseas concéntricas que rodean a diminutos vasos sanguíneos y nervios, y están dispuestos a distancias que les permiten servir a las células. Al igual que los alambres en un cable de acero, estos osteones se agrupan para lograr una fuerza mucho mayor que la de los componentes individuales. Alrededor de este hueso cortical está el periostio, una membrana fibrosa y delgada que sirve de anclaje a los tendones y ligamentos, nutre al hueso y ayuda en su reparación. Está conectado con el núcleo de la médula por medio de diminutos canales llenos de vasos sanguíneos.

Las protuberancias comunes en los extremos de los huesos largos, las epífisis, están hechas principalmente de hueso esponjoso. Amortiguan los impactos y forman las articulaciones de flexión entre los huesos. Las epífisis están unidas a la parte media del hueso por la placa epifisaria, un área de cartílago donde crece hueso nuevo. Como R. McNeill Alexander señala en su valioso libro, *Huesos (Bones)*, la evolución solucionó un problema complicado: ¿Cómo hacer que las articulaciones hagan su función mientras que la parte central del hueso sigue creciendo? La respuesta es crecer detrás de los extremos del hueso, que casi no cambian. Cuando ya no es necesario crecer más en altura, alrededor de los 18 años en la mayoría de las personas, esta placa epifisaria se osifica integrándose a la parte media del hueso, y formando una protuberancia que sobresale en ambos extremos del mismo.

Los huesos se pueden considerar como un sistema, más que un material individual, y sus partes interrelacionadas son fascinantes. De hecho, el hueso se puede describir como el compuesto inteligente por excelencia. Formado por células especializadas y fibras de proteína, es tan fuerte como el acero y tan ligero como el aluminio. También reacciona a fuerzas externas, cambiando constantemente para resistir el estrés o reparar lesiones (ver texto en columna lateral).

Summit no es el primer diseñador en observar huesos. D'Arcy W. Thompson, autor del texto monumental *Sobre el Crecimiento y la Forma*, se inspiró en gran medida en los huesos y escribió mucho sobre las propiedades de su estructura y la causa de su formación.

Relata la historia del ingeniero suizo Carl Culmann y la visita que hizo a su amigo, el doctor Hermann von Meyer, en 1866. El doctor acababa de cortar una sección longitudinal en un hueso humano, y el entrecruzado ortogonal de las trabéculas claramente mostraba las líneas de tensión y de compresión que se esperarían dada la actividad del hueso.

“¡Esa es mi grúa!”, gritó Culmann, al darse cuenta de que tenía frente a sí la solución a un difícil problema de diseño de un dispositivo de elevación en el que había estado trabajando. A continuación Thompson explica porqué dichas trabéculas se autoorganizan para alinearse de esa forma debido a la naturaleza de la tensión de corte y al lugar donde ésta se experimentaría dentro de los campos de compresión y tensión.

### *El Traslado*

A Summit también le interesan las trabéculas óseas, esos puntales que responden al estrés y que llenan la parte esponjosa del sistema. Esta red de entramados es un modelo maravilloso de fuerza ligera, un ejemplo clásico del desarrollo de la forma para lograr fuerza, dada su orientación y crecimiento en respuesta a las líneas de tensión.

Luego explica la lógica de su diseño:

“Algunos de mis primeros conceptos de piernas capaces de soportar carga comprendían componentes tibiales prácticamente huecos, cuyas paredes moldeadas se conectaban con estructuras internas contrarrotativas de doble hélice a un ángulo de 60 grados. A partir de la intersección de espirales surgió una estructura de entramado triangular en tercera dimensión, con lo que se creó un entramado de triángulos tridimensionales con bordes angulares de aproximadamente 60 grados. Esto mejoró la fuerza total de las partes, utilizando una mínima cantidad de material.”

Además de reducir el peso del producto, el entramado helicoidal crea un vacío axial al centro que permite que el polvo excedente del proceso de manufactura aditiva escape a través de puertos especiales en el tobillo.

Summit está entusiasmado con la idea de llevar estas geometrías a un nivel más fino y cita la disponibilidad de software que permite al usuario crear un solo “voxel”, o celda 3D, que se pueda propagar tri-dimensionalmente de modo que la malla resultante rellene un volumen.

“La ventaja es que el diseñador tiene la flexibilidad de diseñar ese voxel para satisfacer nece-



sidades ya sean isotrópicas o anisótropicas, dependiendo de las demandas mecánicas de la pieza. Por ejemplo, un entramado que recibirá más presión compresiva que rotacional tendrá una apariencia diferente a la de otro que está diseñado para resistir o promover torsión. Un diseñador creativo puede afinar el voxel – o la mezcla de voxels en toda la estructura - de modo que el entramado resultante responda con precisión a las demandas de un entorno altamente especializado.”

Aunque nuestras tecnologías actuales no permiten responder en tiempo real a las tensiones am-

bientales como ocurre con los procesos que determinan el crecimiento del hueso vivo, Summit señala que podemos anticipar, predecir y probar estas tensiones y, diseñar y probar las estructuras fabricadas de manera correspondiente.

“El Modelo de Elementos Finitos nos permite ver los efectos de la carga estructural en una pieza diseñada desde su etapa virtual CAD. A través de un proceso de simulación recursiva, sin embargo, la pieza se puede diseñar para ‘que aprenda’ en dónde falla, se fortalezca a sí misma de forma que minimice la condición de falla, y se pruebe

Rama

Foto: Muffet, 2006 | Flickr cc

de nuevo. Este ciclo generativo se puede repetir hasta que la pieza sea lo suficientemente fuerte para cumplir con sus funciones.”

Es claro el potencial de abordar problemas de calidad de vida en muchos tipos de discapacidad.

“Este enfoque para la creación de productos invita a formular soluciones personalizadas que serán creadas en función de cada individuo, algo totalmente diferente a lo que se puede lograr mediante la producción en masa. Pronto será posible atender necesidades únicas o especiales con toda la consideración que actualmente se da sólo a los productos con los mercados más grandes.”

### *Los Conceptos*

La Naturaleza construye de abajo hacia arriba. Un módulo muy pequeño se dispone en formas cada vez más complejas. En lugar de producir una forma burda, para luego cortarle pedazos y unir piezas (como típicamente ha hecho el hombre), la naturaleza siempre ha llevado a cabo una “manufactura aditiva”.

La Naturaleza forma para dar forma. La Naturaleza tiende a generar sus materiales en respuesta a las fuerzas (estrés) del ambiente. Una rama de árbol gruesa o la figura de la trabécula en los huesos son ejemplos de esto.

La forma es la fuerza. El material y la energía para hacerla son costosos en el mundo biológico, así que si puedes sacar el máximo provecho de la geometría estructural de tu forma logras mucha ventaja en el juego de la selección natural. Las trabéculas de los huesos son un ejemplo perfecto.

Las cosas pequeñas se multiplican. Los huesos son un sistema de partes interrelacionadas que se desarrollan desde el nivel celular, y se organizan en una formación cada vez más compleja. La forma final es mucho más fuerte que la suma de las partes individuales.

La Naturaleza tiende a resolver problemas a través de jerarquías de escala. Dentro de esta forma compleja, los materiales y su disposición trabajan en diferentes escalas para alcanzar el desempeño total requerido.

### *El Impacto*

Las implicaciones a corto plazo de estos desarrollos se presentan de manera diferente en los tres campos del diseño, fabricación y uso. Es la mezcla de todos estos campos en una sola esfera de control lo que hace que todo esto sea tan revolucionario. Al final, el diseñador será también el productor y el usuario. Esto seguramente dará pie a grandes cambios sociales.

El diseñador puede combinar el creciente poder del procesamiento rápido y de la inteligencia artificial con interfaces de usuario más sofisticadas y atractivas para desvanecer la línea entre el ser humano y la máquina. Como resultado, las tareas mundanas pueden hacerse más intuitivas, dando libertad al solucionador de problemas de ocuparse en actividades más creativas. Esto es particularmente notable en el campo de la ingeniería, diseño industrial y arquitectura.

El fabricante puede producir cosas de manera más eficiente y, por tanto, ampliar sus capacidades funcionales y reducir costos. En

efecto, debido a que las herramientas de impresión 3D son cada vez más asequibles, el rol de la manufactura puede cambiar conforme los diseñadores adquieran más medios de producción.

Las nuevas herramientas de software de diseño cierran la brecha entre el diseño y la fabricación en dos maneras: el diseñador puede probar el funcionamiento del producto sin tener que fabricarlo, y puede fabricar directamente desde el software de diseño mediante la impresión 3D sin incurrir en el costo y tiempo requeridos en la fabricación con herramientas. Finalmente, el sofisticado software de modelado permite la exploración del diseño sin la necesidad de pasar años de entrenamiento especializado en la fabricación y actualización de las herramientas en sí. Es muy probable que una impresora 3D llegue a ser un aparato de uso personal tan común como es hoy una impresora de color 2D.

La personalización eficiente de apoyos para la vida que respondan a necesidades específicas vaticinarán una nueva realidad física para el paciente, cliente o usuario y Scott Summit de Bespoke se muestra optimista acerca del futuro:

“Puedo imaginar un día no muy lejano en el que el usuario final no sea simplemente un comprador pasivo de un producto que responde a sus necesidades. En cambio, este usuario puede llegar a ser en cierto modo el “ADN” mismo del producto, infundiéndole una cualidad tan única como su propia huella digital.” x

#### *Las Herramientas y Métodos Utilizados*

Software: 3DS Max, Pro/Engineer, GeoMagic, Rhino, 123D Catch, FlexScan

Hardware : dispositivo de escaneo de luz estructurada, escaneo estereofotogramétrico, 3D Systems Sinterstation Pro

#### *El Contacto*

Scott Summit

Fundador/CTO Bespoke Innovations

321 Pacific Avenue, San Francisco, CA, 94111, EEUU

+1-415-546-6919

[www.bespokeinnovations.com](http://www.bespokeinnovations.com)



Modelo de CAD

Cortesía de Bespoke Innovations



Enjambre de abejas de miel

Foto: kaibara87, 2010 | Flickr cc



Artículo  
*REGEN Energy:*  
*El Poder*  
*de las Hormigas y*  
*de las Abejas*  
Mark Kerbel con Norbert  
Hoeller y Tom McKeag

# El Poder de las Abejas y las Hormigas

¿Pueden las investigaciones sobre el comportamiento de los insectos sociales como las hormigas y las abejas ahorrarnos dinero y al mismo tiempo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero? REGEN Energy (de Toronto) es un nuevo emprendimiento fundado sobre esta premisa, y ya se encuentra en camino hacia el éxito comercial y ambiental.

Para las empresas de servicios públicos, la distribución del uso de la energía es tan importante como la cantidad utilizada. Cuando el pico de consumo es significativamente superior a la energía de “carga base”, las empresas proveedoras se ven obligadas a mantener una capacidad de generación en exceso que sólo se requiere durante periodos limitados en el año, o bien a comprar energía de otras compañías en momentos en que tanto la demanda como el precio están elevados. En cualquier caso, la potencia pico a menudo se produce en generadores de carbón o de gas; éstos se ajustan rápidamente a la demanda de energía eléctrica, a diferencia de los generadores hidroeléctricos, nucleares, solares o eólicos. Por tanto, eliminar los picos de consumo de energía puede tener un efecto significativo en la emisión de gases de efecto invernadero reduciendo la necesidad de poner en marcha plantas que operan con combustibles fósiles.

Las compañías transfieren los altos costos de los picos de consumo a los grandes consumidores cobrándoles más por la electricidad durante los periodos de uso elevado o basando parte

del recibo mensual para ese mes en el consumo pico del cliente. A estos clientes les conviene balancear su consumo de energía para evitar picos pronunciados. En el pasado las principales herramientas disponibles eran los sistemas centralizados de gestión de energía que a menudo resultaban caros, requerían mantenimiento continuo y podían impactar a los usuarios si el sistema tomaba decisiones drásticas para controlar la demanda de energía. La complejidad de estos sistemas aumenta dramáticamente con el tamaño, incrementando los costos y la “fragilidad”: la posibilidad de error bajo condiciones inesperadas.

A principios de 2005, Mark Kerbel y Roman Kulyk buscaban una nueva oportunidad de negocio e identificaron diez problemas del mundo real. Debido a su extenso conocimiento sobre sistemas de gestión de edificios, en los modelos operativos de uso para empresas de servicios públicos, y regulaciones, Roman y Mark sabían que los operadores de las empresas comerciales tienen el incentivo de reducir su consumo pico de electricidad, pero las soluciones de “comando y control” disponibles eran torpes y caras. Una alternativa podría ser un sistema en el que la inteligencia se distribuyera. Mark había leído el libro de Steven Johnson *Sistemas Emergentes: O Qué Tienen en Común Hormigas, Neuronas, Ciudades y Software*. En vez de depender de una autoridad central, las comunidades de insectos sociales siguen un modelo diferente en el que los agentes toman

### *Insectos Eusociales*

Las termitas, abejas, hormigas y avispas pertenecen al grupo de insectos llamado eusocial (“verdaderamente sociales”). Una sociedad verdaderamente social en el sentido biológico debe poseer tres rasgos básicos:

- \* los miembros adultos deben dividirse en aquellos que se reproducen y quienes no lo hacen.
- \* estos adultos deben coexistir a través de dos o más generaciones en el mismo nido;
- \* y los estériles ( o aquellos que se reproducen menos) deben encargarse de las crías.

Como te puedes imaginar, todos estos atributos han sobrevivido en el juego de la selección natural porque mantienen la base genética muy bien. Estas comunidades son los “superorganismos”, una palabra acuñada por William Morton Wheeler en la década de 1920, y discutida por el eminente biólogo E.O. Wilson en el libro que escribió con Vert Holldobler *The Superorganism: the Beauty, Elegance and Strangeness of Insect Societies* (El superorganismo: la belleza, elegancia y extrañeza de las sociedades de insectos).

Es una descripción muy apropiada de estas colonias de criaturas, pues dominan el mundo terrestre,



Formando panales de abejas. Estado 1.

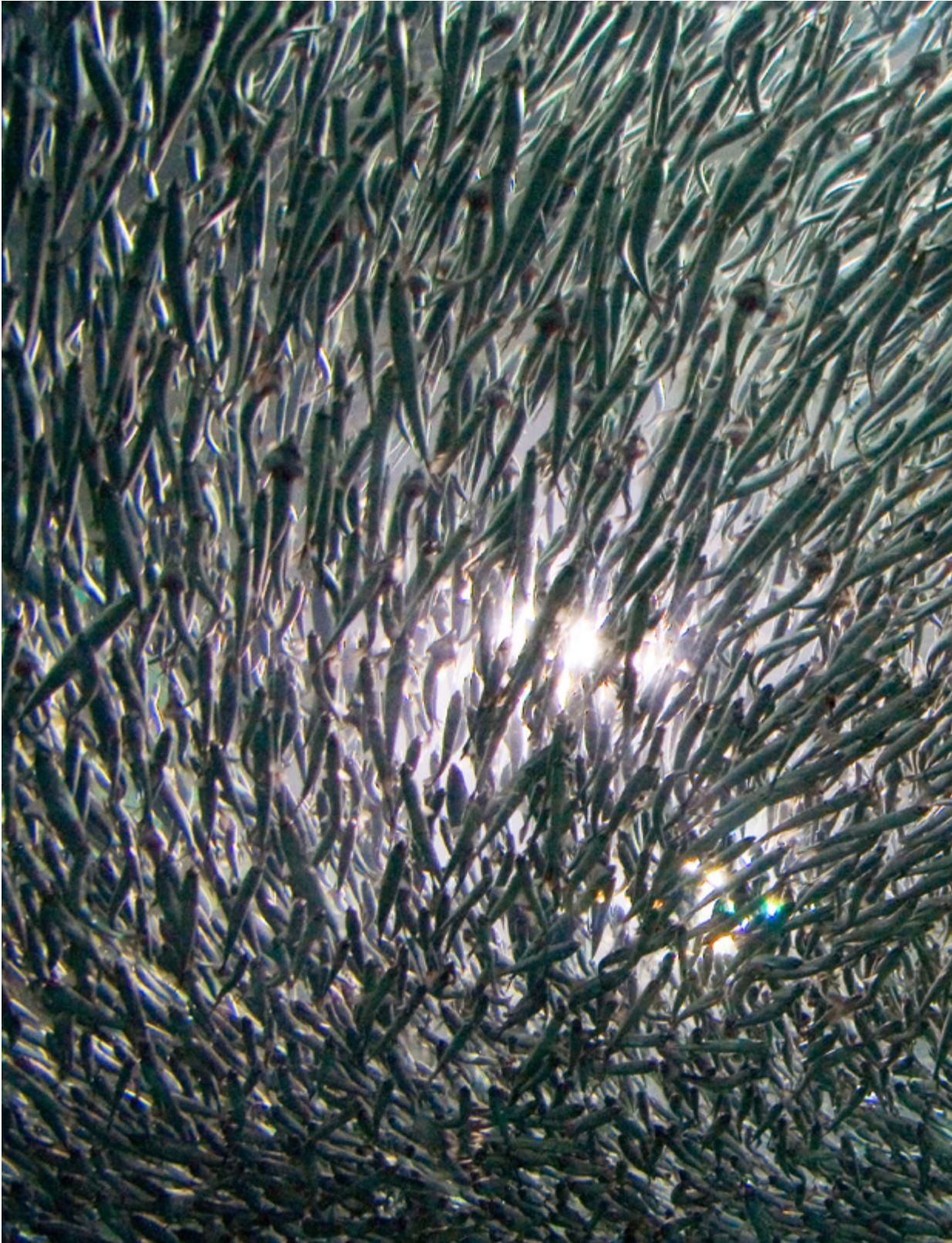
Wenzel Hollar (1607–1677) | Wikimedia Commons



Bandada de estorninos

Foto: auspices, 2010 | Flickr cc







Cardúmen de peces | Foto: Lance McCord, 2005 | Flickr cc



decisiones independientes con base a “reglas de comportamiento” sencillas, al tiempo que se comunican entre sí usando un lenguaje sencillo. Bajo las condiciones adecuadas, esto puede funcionar en sistemas que demuestran un comportamiento emergente complejo. Una cantidad cada vez mayor de investigaciones sobre la ‘teoría de enjambres’ va revelando gradualmente los principios subyacentes de estos sistemas autoorganizados que se encuentran en numerosas especies.

Aunque no estaban seguros de poder aplicar los principios fundamentales de los sistemas emergentes de Johnson, decidieron explorar la teoría de enjambres, leyendo informes técnicos, manteniéndose al tanto de conferencias e identificando a expertos clave en dicho campo. Desafortunadamente todos los expertos que contactaron opinaban que era prematuro hacer aplicaciones prácticas de esta teoría y que se requería más investigación. Afortunadamente

para Roman y Mark, su experiencia en ingeniería, ciencias computacionales y matemáticas les permitió desarrollar sus propios algoritmos. El resultado fue un controlador autónomo inalámbrico diseñado para cargas eléctricas cíclicas que comunica los patrones de uso de energía a otros controladores. Cada controlador eléctrico administra su carga energética de tal manera que se minimizan los picos de consumo energético del sistema, sin afectar a los usuarios. Las instalaciones iniciales en el mundo real han mostrado reducciones en los picos de consumos en torno al 30% (Para más detalles ver el informe del análisis de datos del Centennial College) El consumo total se podría reducir también ajustando los ciclos de trabajo durante las noches y los fines de semana cuando los edificios no están ocupados.

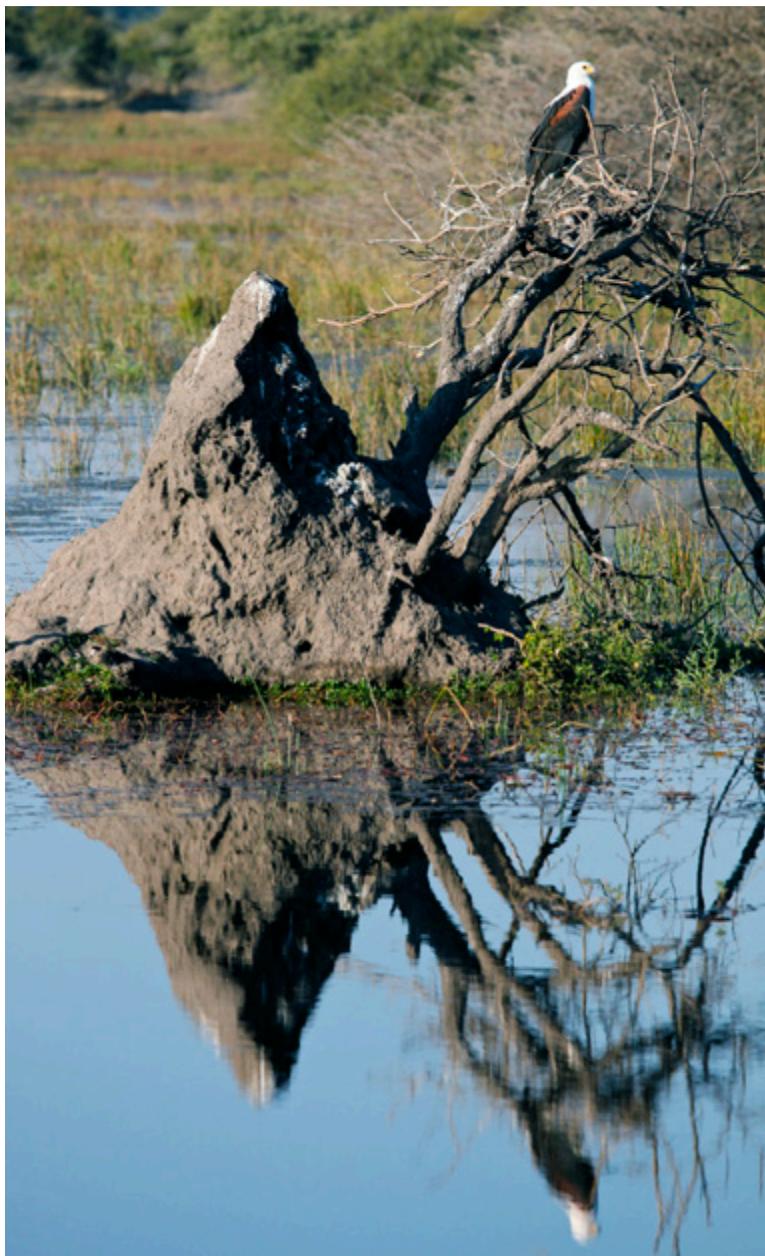
Dos años después del lanzamiento del controlador EnviroGrid™, durante una conversación causal con un cliente salió a relucir el problema de

Antes y después del uso de energía en la “bigbox” que muestra una reducción en el pico de consumo tras la instalación de los controladores de EnviroGrid™.

representando más de mil billones de individuos. En efecto, Willson estima que su peso global es casi igual al de ese otro organismo extremadamente competente, el Homo Sapiens. Más aún, el nombre también indica una característica más sistémica. La colonia, en vez del individuo, es lo que funciona como una unidad, se adapta al cambio y es mantenida y perpetuada. Como tal, argumenta Wilson, estas sociedades son la ventana perfecta hacia “el surgimiento de un nivel de organización biológica en otro”.

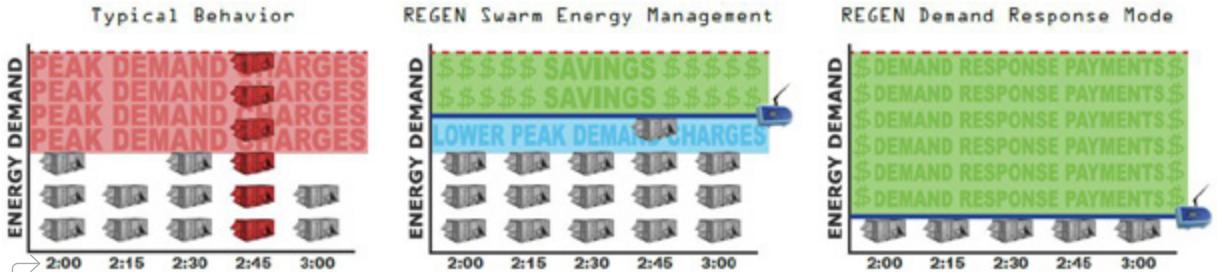
El surgimiento es un atributo clave de la organización biológica. Dentro de las escalas anidadas de las jerarquías del átomo a la biósfera, la vida exhibe este principio: los sistemas completos no se pueden explicar mediante el análisis de sus partes porque son el producto, más que la suma, de las mismas. La fórmula y producto final, por tanto, incluyen las complejidades de la matriz, relaciones e interacciones de esas partes. Las propiedades emergentes están en toda la naturaleza, desde el ADN hasta los ecosistemas.

Las edificaciones monticulares de las colonias de termitas son un buen ejemplo del surgimiento. Una compleja estructura de muchas partes que se eleva unas 2,500 veces el tamaño de cualquiera de sus constructores individuales, llena



Termitero

Foto: jurvetson, 2011 | Flickr cc



la gestión de respuesta a la demanda. Los sistemas de control central de los edificios se pueden programar para responder a alertas de las compañías de servicio cuando la red eléctrica se sobrecarga. Sin embargo, esta respuesta a menudo afecta a los usuarios pues se desconectan cargas a discreción en todas las áreas. Al finalizar el periodo de respuesta a la demanda, estos controladores pueden reconectar múltiples cargas, provocando un incremento en el pico de consumo. REGEN Energy agregó la capacidad de modificar el controlador EnviroGrid™ de manera remota, permitiendo el control gradual y detallado de ciclos de trabajo de dispositivos durante y después de la ventana de respuesta a la demanda. REGEN Energy lanzó recientemente un conjunto de mejoras que permitiría a los controladores modificar sus propias configuraciones con base a información ambiental.

La mayor demanda de electricidad combinada con el crecimiento de proveedores de energías renovables más pequeños impulsará la necesidad de utilizar ampliamente aparatos y otro tipo de cargas de energía que puedan manejar su propio uso para optimizar la eficiencia total de la red. Estos “aparatos inteligentes” pueden reducir de manera automática el consumo cuan-

do la red local está sobrecargada y permitir a los consumidores a quienes se les factura con base en el “tiempo de uso” cambiar su consumo a los periodos en que la electricidad es más barata. La escalabilidad, bajo costo, flexibilidad y capacidad de autogestión de los controladores de energía de REGEN Energy, en combinación con el potencial de generar informes detallados de uso, los hacen componentes ideales para la “red inteligente” del futuro. Adicionalmente, los controladores EnviroGrid™ pueden enviar informes de uso a un colector central, lo que permitirá proporcionar un mantenimiento preventivo oportuno y seguir optimizando el sistema.

Los fundadores de REGEN Energy combinan la pasión por los temas sociales y ambientales, junto con una amplia experiencia en el sector eléctrico, y sólidas habilidades empresariales. Abordando la innovación desde un enfoque que rompe esquemas, fueron capaces de identificar una oportunidad que podía ser desarrollada rápidamente, de la idea inicial a la primera implementación comercial en 18 meses. Aunque inicialmente Mark y Roman no se percataron del amplio campo del diseño bioinspirado, su trabajo es un ejemplo de la aplicación de “patrones profundos” o principios de la naturaleza para ge-

Dos modos de manejo de la energía por los controladores de EnviroGrid™: picos planos y reducción del consumo global durante períodos de demanda-respuesta

de túneles arqueados, guarderías, cámaras de crecimiento y columnas de ventilación. A través del tiempo, los esfuerzos de cada termita en lo individual se combinan para construir una inmensa y compleja estructura sin la necesidad de ningún control central.

Diferentes castas atienden a los pequeños, se reproducen, cultivan hongos, mantienen la ventilación, construyen, reparan y defienden el nido. A pesar de que la temperatura ambiental fluctúa diariamente de 40 grados centígrados a menos de cero, las termitas pueden mantener sus montículos a una temperatura interior constante de 30 grados centígrados. Lo logran dentro de gruesas paredes aislantes, creando y manteniendo constantemente una ráfaga de aire que circula entre las aberturas inferiores y los agujeros superiores. Aprovechan el llamado efecto chimenea, o flujo por convección de aire frío a cálido. Las termitas están constantemente ajustando estos hoyos para lograr un funcionamiento óptimo, algunas veces agregando barro húmedo que ayuda al enfriamiento con su efectos de evaporación.

Esto es autoorganización y en las sociedades de insectos sucede por dos razones: algoritmos evolutivos que determinan las castas y sus habilidades especializadas, y algoritmos de comportamiento



Estorninos

Foto: Kitty Terwolbeck, 2011 | Flickr cc

nerar beneficios ambientales y económicos de una manera elegante y rentable. Desarrollaron su idea inspirados por el creciente volumen de conocimiento sobre la teoría de enjambres, sistemas emergentes y sistemas autoorganizados. El proceso y el servicio final también tienen características en común con los sistemas naturales, como la generación de múltiples beneficios, una retribución rápida y directa, un uso eficiente de los recursos, la autogestión, y la dependencia en la información en vez de energía para resolver problemas. La solución es robusta, adaptable, no requiere control central y muestra potencial para generar más aplicaciones derivadas.

REGEN Energy ha podido triunfar a pesar del escepticismo de los ingenieros acerca de la viabilidad y fiabilidad de los sistemas emergentes al presentar el problema, explicar la teoría y respaldar sus afirmaciones con numerosos estudio de caso. El proceso de desarrollo de la compañía también ha sido un excelente ejemplo de la creciente colaboración entre la industria, lo académico y el gobierno. REGEN Energy logró conectar las diferentes culturas, objetivos, y programas de la industria y la universidad, llevando la teoría a la práctica, aportando relevancia al negocio y completando más de 60 implementaciones exitosas a lo largo de Norteamérica. x

*Información adicional:*

- “Bubbling under: Canada’s top 10 cleantechs” (Clean Break, October 27/2007)
- “Cleantech First Annual Corporate Knights Ranking” (Corporate Knights, October 25/2007)
- “Lots of buzz surrounding this company” (The Star, September 3/2007)
- “Reducing Peak Demand using Self-Organizing Systems – Follow Nature’s Lead” (REGEN Energy, May/2007)
- “Smart Grid: Taking our Cue From Nature” (REGEN Energy, 2009)

que determinan cómo actuarán los individuos entre ellos y cómo responderán a unas cuantas posibilidades ambientales. La comunicación momento a momento se da a través de las feromonas, los mensajes químicos del mundo de los insectos. En un nivel superior, los algoritmos mismos evolucionan a través de procesos de selección natural, justo como lo hacen los rasgos de los animales individuales.

Es en efecto una estrategia exitosa. Aunque estos tipos de sociedades representan solamente el dos por ciento de los insectos del mundo, suman en conjunto más de la mitad de la biomasa. Estas sociedades de insectos “...ilustran, a través de miles de ejemplos, cómo se puede diseñar la división del trabajo con patrones flexibles de comportamiento para lograr una óptima eficiencia de un grupo de trabajo.”

Durante las últimas décadas, la lógica “de abajo hacia arriba” o de “enjambre”, han ido tomando impulso en los campos de la inteligencia artificial, cibernética, fisiología, telecomunicaciones, administración y logística. Las búsquedas en internet, los pronósticos de mercado, las preferencias de los clientes, las rutas vehiculares y la administración de la fuerza laboral se han beneficiado



Controlador REGEN

Cortesía de REGEN Energy

Mark Kerbel administra la oficina de la costa oeste de REGEN U.S. ubicada en San Diego, California. Da servicio a clientes, socios estratégico y empresas de servicios públicos en California, Arizona, Nuevo México y el oeste de Texas. Mark es coautor de la patente de REGEN Energy de la lógica de los enjambres, y está involucrado en las actividades de desarrollo, financiación y comercialización de la empresa, especialmente con sus principales clientes en Estados Unidos y socios estratégicos. Frecuentemente imparte conferencias sobre la teoría de sistemas emergentes y su aplicación a la Red Inteligente y a la tecnología de Edificios Inteligentes. Antes de fundar REGEN, Kerbel, ha servido como miembro del consejo y socio fundador del Grupo SPi, uno de los principales proveedores de soluciones de software en el mercado de la energía en Canadá. Kerbel ha presidido o ha sido invitado a participar en varios comités del sector energético incluyendo el Electronic Business Transaction Standards Working Group del Ontario Energy Board, el Technology Joint Sector Committee de la Ontario Energy Association, la Smart Meter Initiative del Ontario Energy Board, y la Regulated Price Plan Initiative del Ontario Energy Board. Recientemente Mark se ha hecho miembro de la Alianza OpenADR. Obtuvo su grado de licenciatura en Matemáticas con especialidad en Ciencias Computacionales en la Universidad de Waterloo.

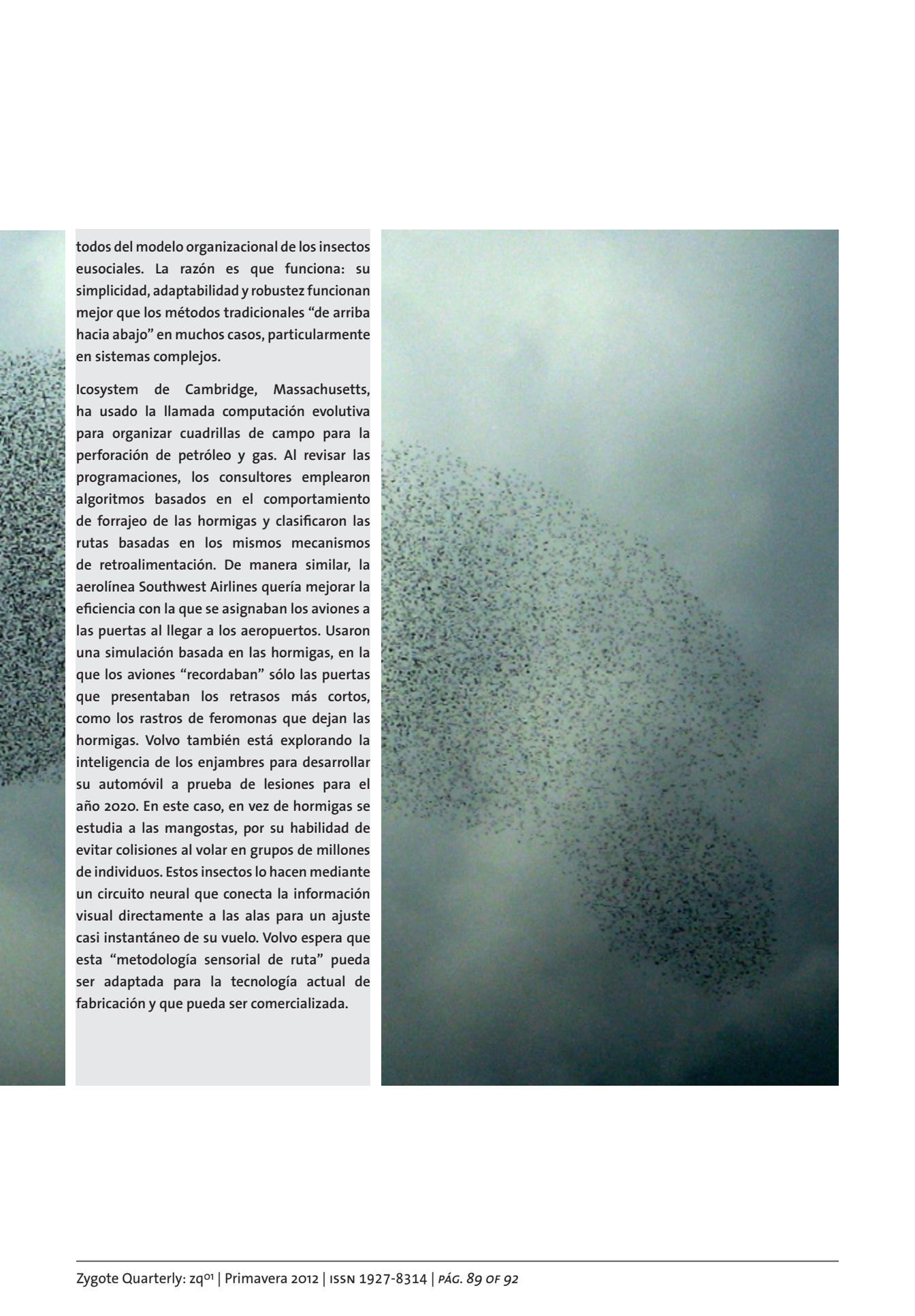
Partes de este artículo fueron publicadas anteriormente en los números de diciembre de 2007 y febrero de 2009 del boletín BioInspired!

<https://www.encycle.com>



Estorninos cerca de la ciudad de Atenas

Foto: muffinn, 2008 | Flickr cc

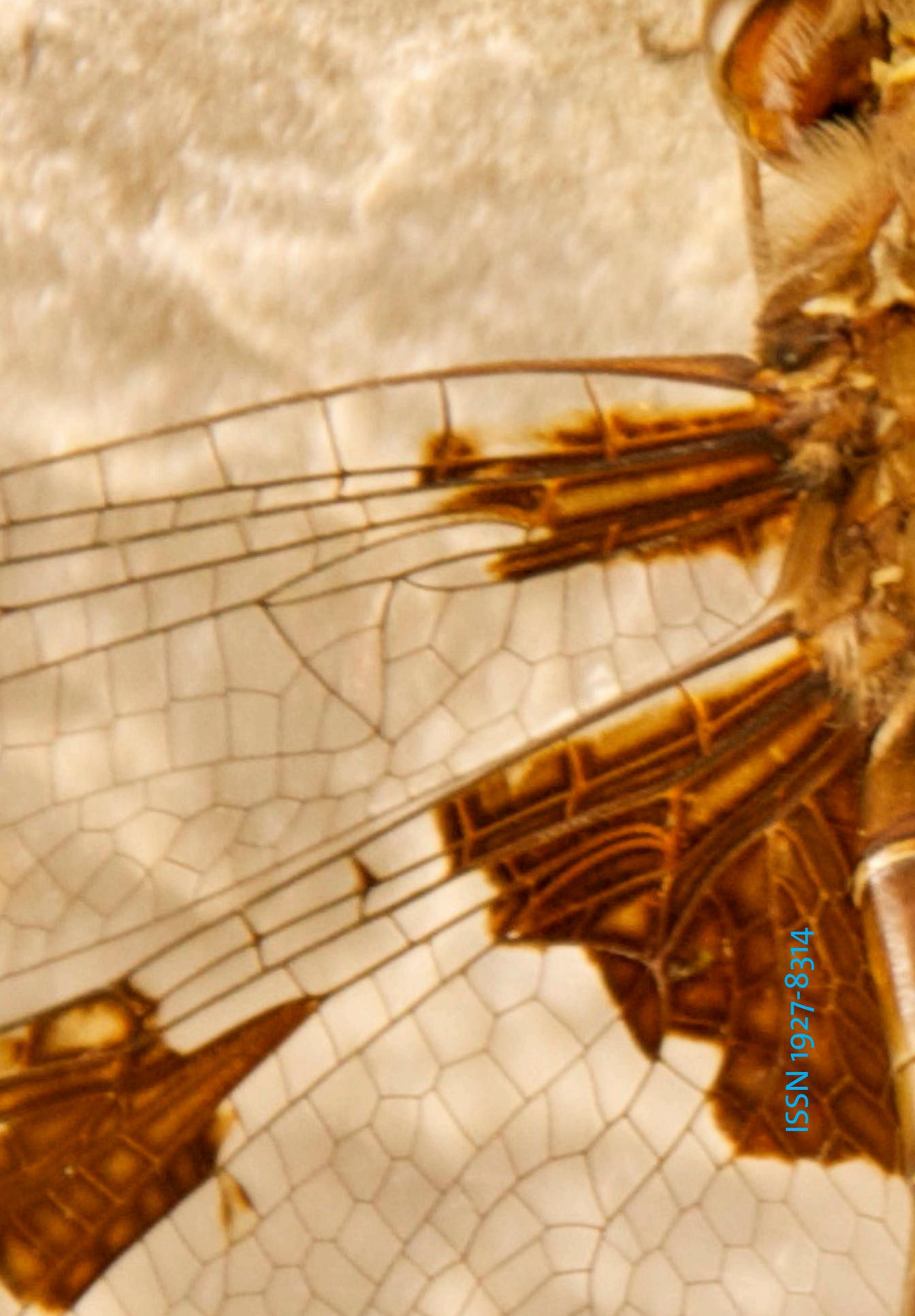


todos del modelo organizacional de los insectos eusociales. La razón es que funciona: su simplicidad, adaptabilidad y robustez funcionan mejor que los métodos tradicionales “de arriba hacia abajo” en muchos casos, particularmente en sistemas complejos.

Icosystem de Cambridge, Massachusetts, ha usado la llamada computación evolutiva para organizar cuadrillas de campo para la perforación de petróleo y gas. Al revisar las programaciones, los consultores emplearon algoritmos basados en el comportamiento de forrajeo de las hormigas y clasificaron las rutas basadas en los mismos mecanismos de retroalimentación. De manera similar, la aerolínea Southwest Airlines quería mejorar la eficiencia con la que se asignaban los aviones a las puertas al llegar a los aeropuertos. Usaron una simulación basada en las hormigas, en la que los aviones “recordaban” sólo las puertas que presentaban los retrasos más cortos, como los rastros de feromonas que dejan las hormigas. Volvo también está explorando la inteligencia de los enjambres para desarrollar su automóvil a prueba de lesiones para el año 2020. En este caso, en vez de hormigas se estudia a las mangostas, por su habilidad de evitar colisiones al volar en grupos de millones de individuos. Estos insectos lo hacen mediante un circuito neural que conecta la información visual directamente a las alas para un ajuste casi instantáneo de su vuelo. Volvo espera que esta “metodología sensorial de ruta” pueda ser adaptada para la tecnología actual de fabricación y que pueda ser comercializada.







ISSN 1927-8314