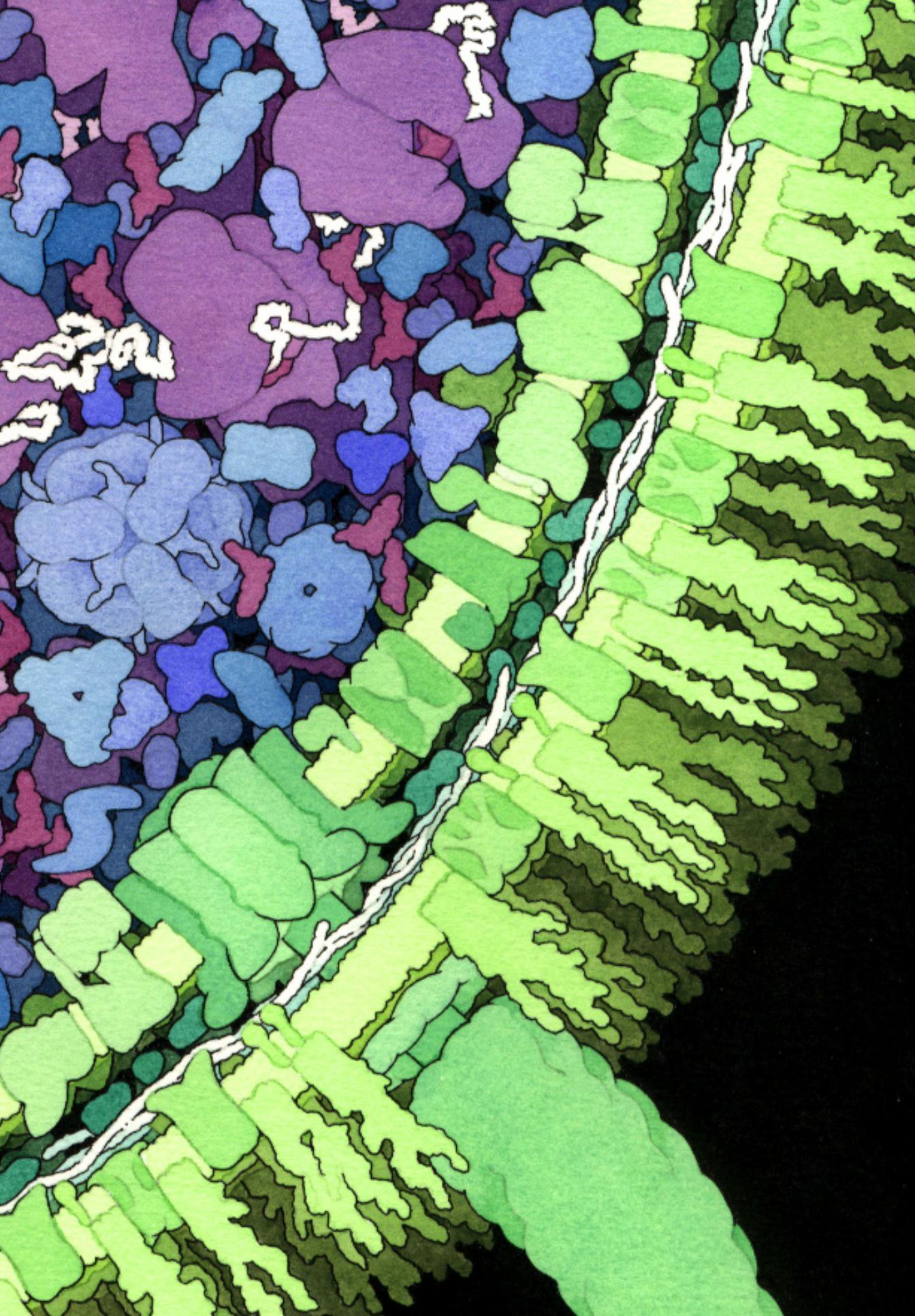




zq⁰²

VERANO 2012





Acerca de Zygote Quarterly

Editores

Marjan Eggermont

Norbert Hoeller

Tom McKeag

ZQ en español | Editores

Raúl de Villafranca

Carolyn Aguilar

Azucena Garza

Traducción

Formas Prometedoras; Ana Gabriela Robles. Bucky, Geodésicas y Biomimesis, Entrevista con Tom Knittel, David Goodsell; Lidice Murguía Robles. Diez suposiciones que me cuestiono; Ingrid Cas-

trejón y Sayuri Yamanaka. El Diccionario de Sinónimos Ingeniería-Biología; Ana Gabriela Robles. Bucky y la forma de la naturaleza; Alejandro Zepeda

Colaboradores

Sayuri Yamanaka

Manuel Quirós

Delfín Montañana Palacios

Oficinas

Calgary

Ciudad de México

Bangalore

Madrid

Toronto

Contacto

info@zqjournal.org

Arte de la Cubierta

David Goodsell *Coated Pit*: Esta pintura se desarrolló en colaboración con investigadores, educadores y estudiantes del Center for Biomolecular Modeling en la Milwaukee School of Engineering. Muestra las múltiples proteínas (en rosas y morados) que se usan para encajar las vesículas en la célula desde la membrana celular (en verde). La pintura se usó como parte de un mapa navegable,

disponible en línea, que permite explorar la estructura y función de las moléculas individuales: <http://mgl.scripps.edu/people/goodsell/>

pp 2-3: David Goodsell *Escherichia coli*: Un corte transversal de una célula bacteriana está coloreada en función de las principales funciones estructurales: la pared celular en verde, la región citoplasmática en azul y los ribosomas en morado, y el nucleótido con el ADN en amarillo y las proteínas en anaranjado.

Diseño

Marjan Eggermont

Colin McDonald

ISSN

1927-8314

Edición de la versión en Español

Zygote Quarterly

Universidad Iberoamericana Ciudad de México,
Departamento de Arquitectura



DEPARTAMENTO DE
ARQUITECTURA



La inspiración inesperada ha detonado la innovación en muchos campos, a menudo manifestándose en momentos extraños o en periodos de descanso después de espacios de concentración intensos. El diseño bioinspirado está lleno de este tipo de ejemplos, posiblemente por el amplio alcance mental necesario para relacionarse temas tradicionalmente inconexos.

Sin embargo, estas historias ocultan un trasfondo de esfuerzos e ideas perdidas que es mayor que el instante del “eureka”. A pesar de que nuestras mejores historias de éxito conocidas parecen haberse originado de manera accidental, hay un proceso de selección natural que también parece favorecer a las ideas nuevas que son producto del esfuerzo. Tchaikovsky escribió lo siguiente: “la inspiración es un invitado a quien no le gusta visitar a la gente perezosa.”

Parte de nuestra misión en ZQ es mostrar el espíritu inventivo, y enterarnos de cómo la naturaleza ha inspirado la mente y el corazón de alguien. También pretendemos ofrecer a nuestros lectores un indicio de cómo una idea pasó a ser obra. ¿Cómo lo logró tal persona? ¿Cómo tal persona hizo que funcionara? ¿Cómo podemos hacer nosotros lo mismo?

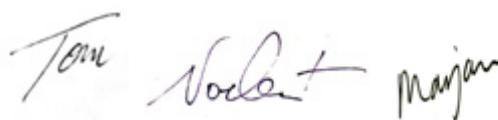
El sujeto de nuestro artículo principal, el ingeniero Eiji Nakatsu, otrora colaborador de JR West, es la personificación de esta mezcla de espíritu y acción. Curiosidad, creatividad y trabajo duro son elementos evidentes en su legado, un diseño innovador de un tren, motivado principalmente por un amor hacia la naturaleza. El tren no hubiera funcionado, sin embargo, sin el arduo esfuerzo de muchos, trabajando juntos por ese mismo amor.

Gracias a todos por sus efusivos cumplidos y mejores deseos después del lanzamiento de nuestro primer número en inglés, nos encantará también escuchar sus comentarios sobre las ediciones en español .

La respuesta del público ha sido muy gratificante y nos ha impulsado a buscar con más ahínco merecer su apoyo continuo.

Por favor dínos como lo estamos haciendo en ZQ.

x

The image shows three handwritten signatures in blue ink. From left to right, they appear to be 'Tom', 'Norbert', and 'Marjan'. The signatures are fluid and cursive.

Tom McKeag, Norbert Hoeller, and Marjan Eggermont



Detalle de la cabeza de una mosca de patas largas (*Condylostylus*)

Foto: Thomas Shahan, 2009 | Flickr cc

Bienvenido al segundo número de ZQ. Nuestro artículo principal explica cómo Eiji Nakatsu, un ingeniero a quien le gusta observar aves, mejoró el diseño del tren bala japonés estudiando al búho y al martín pescador. A continuación aprenderemos sobre un diseñador en nuestra serie de entrevistas a profesionales en activo: Tom Knittel de la empresa arquitectónica HOK. Finalmente, vemos las perspectivas de dos expertos, Jay Baldwin y Curt McNamara, sobre R. Buckminster Fuller y su estudio de la naturaleza.

Hemos agregado tres nuevas secciones regulares a nuestro formato: “portafolio”, “opinión” y “herramientas”. La sección portafolio presentará obras visualmente inspiradoras de profesionales de todas las disciplinas. Nos complace presentar las bellas e informativas imágenes del científico/artista David Goodsell. La sección de opinión de invitados pretende ofrecer una plataforma para diferentes opiniones que detone un debate razonado. Este número incluye una crítica provocativa de algunas creencias populares sobre biomimesis, por parte de Nikolay Bogatyrev. Nuestra sección de herramientas presenta un diccionario de sinónimos de términos de ingeniería y biología, una herramienta que está siendo desarrollada por la profesora Jacquelyn Nagel.

Esperamos que disfrutes este número.

×



Estudio de caso: Formas Prometedoras

Tom McKeag 10



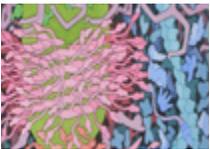
Dos perspectivas: Bucky, Geodésicas y Biomimesis

Jay Baldwin 36



Personas: Entrevista con

Tom Knittel 50



Portafolio

David Goodsell 60



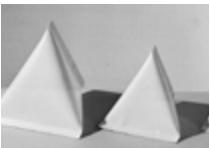
Opinión: Biomimesis: Diez Suposiciones que me Cuestiono

Nikolay Bogatyrev 84



Herramientas: El Diccionario de Sinónimos Ingeniería-Biología

Jacquelyn Nagel 94



Dos perspectivas: Bucky y la Forma de la Naturaleza

Curt McNamara 108



Shinkansen

Foto: wallyg, 2011 | Flickr cc



Estudio de caso
*Formas
Prometedoras*
Tom McKeag

Formas Prometedoras: Dise- ñando el Tren Bala Shinkan- sen Sanyo Serie 500

Antecedentes

La breve noticia publicada en el periódico local en 1990 resultaría ser un buen augurio, en el más profundo sentido de la palabra, pero Eiji Nakatsu no lo sabía en ese momento. Aún ahora sigue asombrado por lo profético del pequeño recuadro impreso. Se dieron pocos detalles: una conferencia sobre aves ofrecida por un ingeniero en aviación, que se llevaría a cabo en la oficina de la Asociación de Aves Silvestres de Japón en Osaka. Nakatsu decidió ir a escuchar lo que un ingeniero como él tenía que decir acerca de su tema favorito.

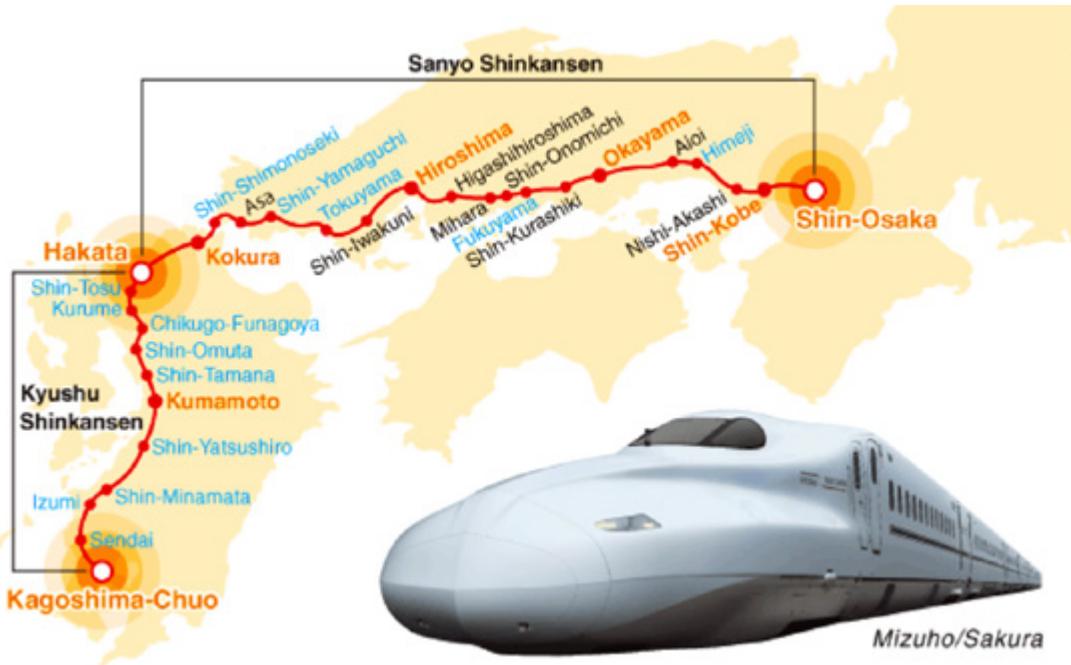
“Augurio” se deriva de la raíz latina “Augur” y auguri es una antigua práctica romana que consistía en estudiar el vuelo de los pájaros para predecir el futuro. Es una descripción extraordinariamente acertada de los cinco años siguientes en la vida Nakatsu; todo se puso en marcha gracias a un recorte de periódico. Nakatsu era el Gerente General del Departamento de Desarrollo Técnico de uno de los trenes más rápidos del mundo, y pronto se dio cuenta que estudiando el vuelo de las aves podía ciertamente llevar a su tren, y a nosotros, hacia el futuro.

Las líneas del Shinkansen Sanyo y Kyushu, operadas por Japan Railway West y Japan Railway

Kyushu, circulan entre Shin – Osaka y Kagoshima en la punta sur de la isla de Kyushu. La línea conecta a las dos ciudades más grandes de la parte occidental de Japón, Osaka y Fukuoka, y es una prolongación de la vieja Línea Tokaido que va de Tokio a Osaka.

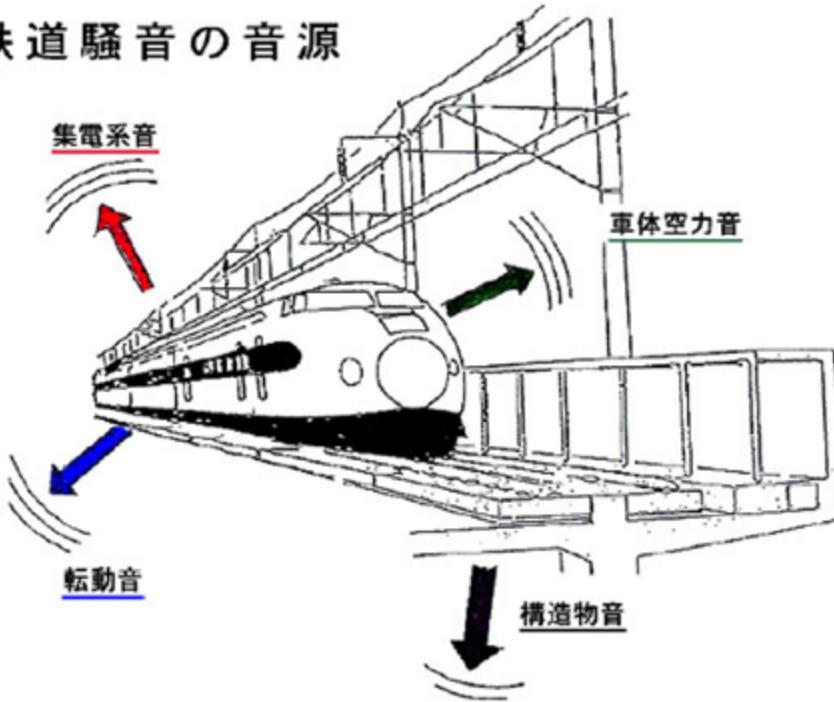
La línea Tokaido del Shinkansen se extiende a lo largo de 515 kilómetros y es la línea de ferrocarril de alta velocidad con mayor tráfico del mundo, pues desde su inauguración en 1964 (para los Juegos Olímpicos en Tokio) hasta 2010 ha transportado a 4.900 millones de pasajeros. De hecho, en Japón mas gente se mueve en tren que en ninguna otra parte del mundo, y se estima que 64 millones de japoneses diariamente viajan en trenes de todo tipo. Esto representa el 40% del tráfico ferroviario mundial, y cada día 820.000 de estos pasajeros recorren los 2.388 kms que comprende la red Shinkansen.

Mover a tantos pasajeros al día requiere de velocidad, y la línea ferroviaria occidental competía en rapidez con el TGV francés, alcanzando velocidades de casi 300km/hr. Sin embargo, cuando Nakatsu fue a la conferencia no estaba pensando precisamente en cómo hacer que su tren fuera más veloz. Lo que tenía en mente era el ruido.



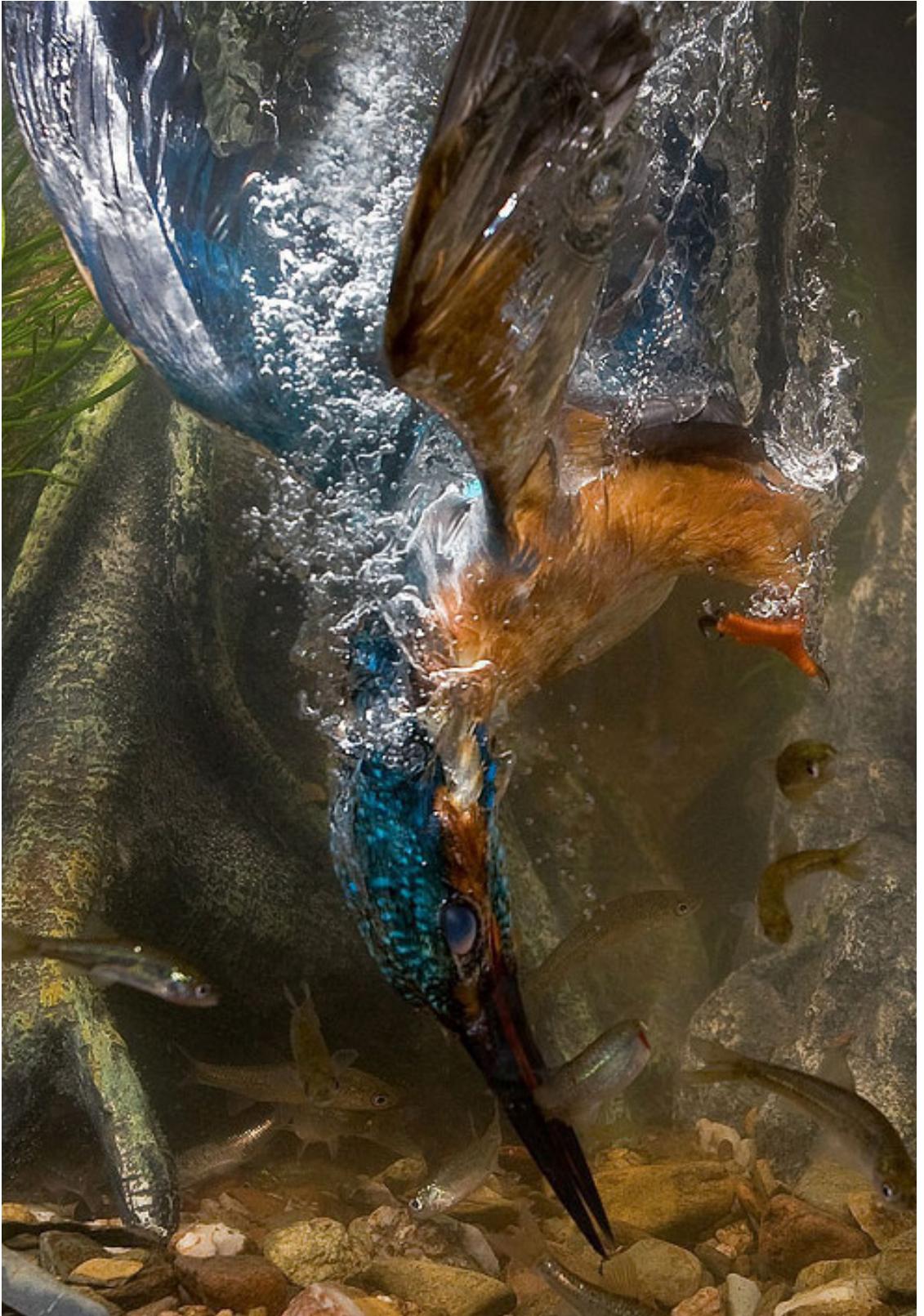
- Estaciones con servicio de trenes Mizuho y Sakura
- Estaciones con servicio de trenes de Sakura (con algunas excepciones)
- * Los trenes Sakura no hacen parada en algunas estaciones

鉄道騒音の音源

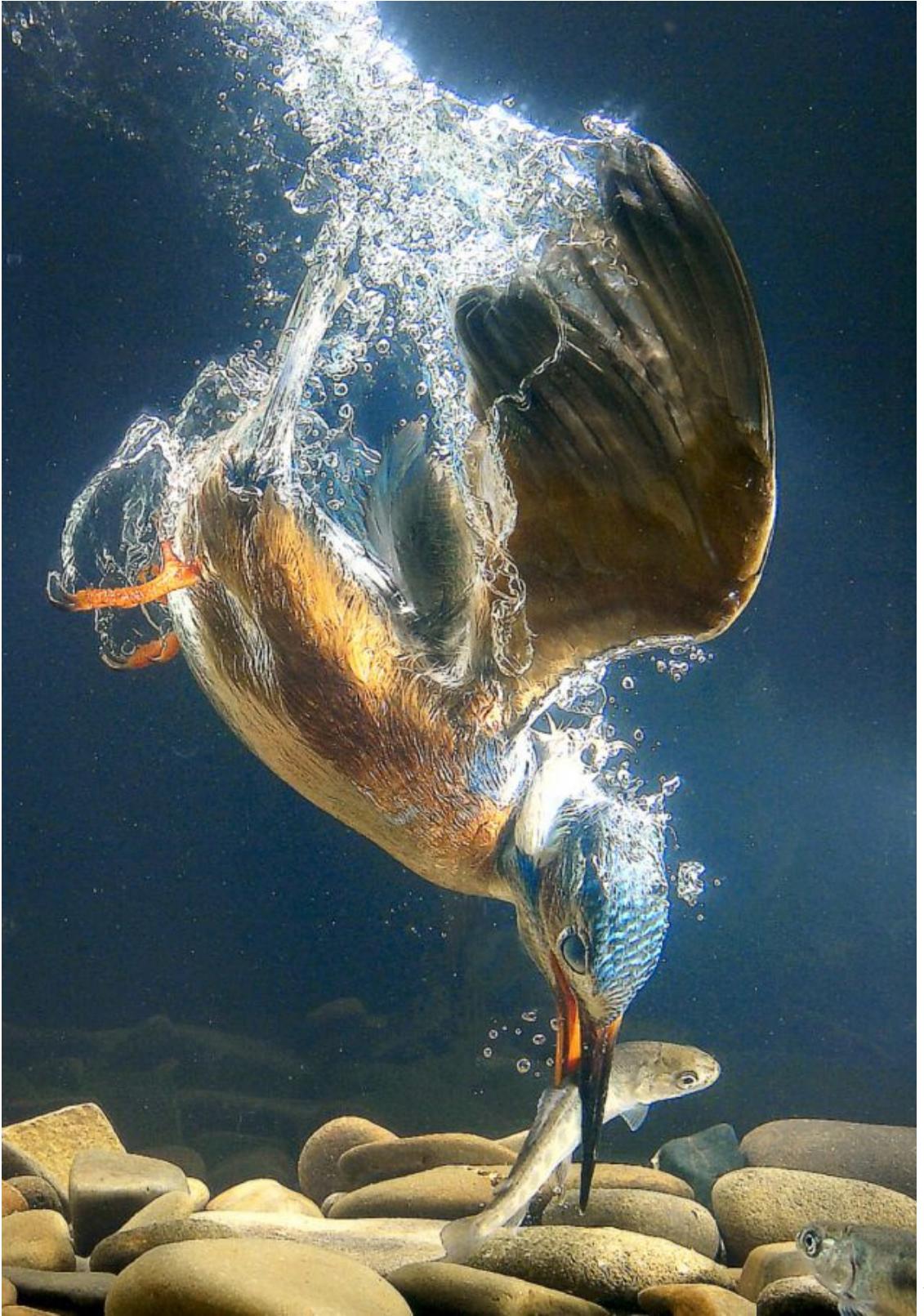


Diagramas de las rutas del sistema Shinkansen: Líneas de tren Sanyo-Shinkansen y Kyushu-Shinkansen

Fuentes de ruido en una vía férrea | Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji



Sin título, (Martín pescador en inmersión de pesca) | Foto: edmerritt, 2011 | Flickr cc



Martin pescador del género *Alcedo* | Foto: atthisedmeritt, 2011 | Flickr cc

El problema del pantógrafo

Los estándares de los niveles de ruido para la línea de Shinkansen, determinados en 1975 por la Agencia del Medio Ambiente de Japón, eran de los más estrictos en el mundo para el sector ferroviario. Esto se debía a los densos patrones de asentamiento poblacional que existían cerca de las vías, y se establecieron dos zonas donde 70dB(A) y 75 dB(A) eran los máximos permitidos. Los estándares aplicaban para el pico promedio de ruido de los trenes más estruendosos (entre 20 trayectos continuos de trenes), medido a 25 metros del centro de los rieles.

Nakatsu y su equipo tenían que resolver este problema para poder lograr el reto a cinco años establecido por el líder de la empresa: llevar a un pasajero de Shin- Osaka a la estación de Hataka en Fukuoka en menos de 2 horas 20 minutos. Para hacer esto el tren tendría que alcanzar velocidades cercanas a los 350 kilómetros por hora. Para desarrollar este tren más veloz tendrían que construir un nuevo tren de prueba o un Unidad Eléctrica Múltiple (EMU, por sus siglas en inglés.) El tren se llamaría WIN 350 (siglas que representan la siguiente frase en inglés “innovación de West Japan Railways para operar a 350 km/hr).

Técnicamente el WIN350 podía alcanzar la velocidad meta, pero cuanto más rápido iba más ruido generaba. El estruendo sonoro era causado por tres factores principales: primero, se producía vibración del suelo a lo largo del tren y de las estructuras de soporte al piso. Este ruido en ondas se generaba al cuadrado de la velocidad del tren. Segundo, el cuerpo de los vagones y el pantógrafo ferroviario que conectaba al tren con el cable de la catenaria causaban ruido aerodinámico que se convertía en dominante a velocidades por encima de los 200km/hr., de 6 a 8 veces la velocidad del tren. Y, el tercer factor se relacionaba con una explosión sónica cada vez que el tren entraba en un túnel. A lo largo de los 554 kilómetros de la Línea Sanyo del Shinkansen (de Osaka a la estación Hakata en Fukuoka), la mitad del camino eran túneles. Por tanto, reducir el ruido se convirtió en un criterio determinante para avanzar en el tema de la velocidad.

El fenómeno físico de los tres problemas era considerablemente diferente, y el último era, por mucho, el más complejo. El hecho de que las soluciones para el problema del ruido del pantógrafo y de las ex-

Causas del ruido aerodinámico también llamados vórtices de Karman, por Satomi Nakatsu

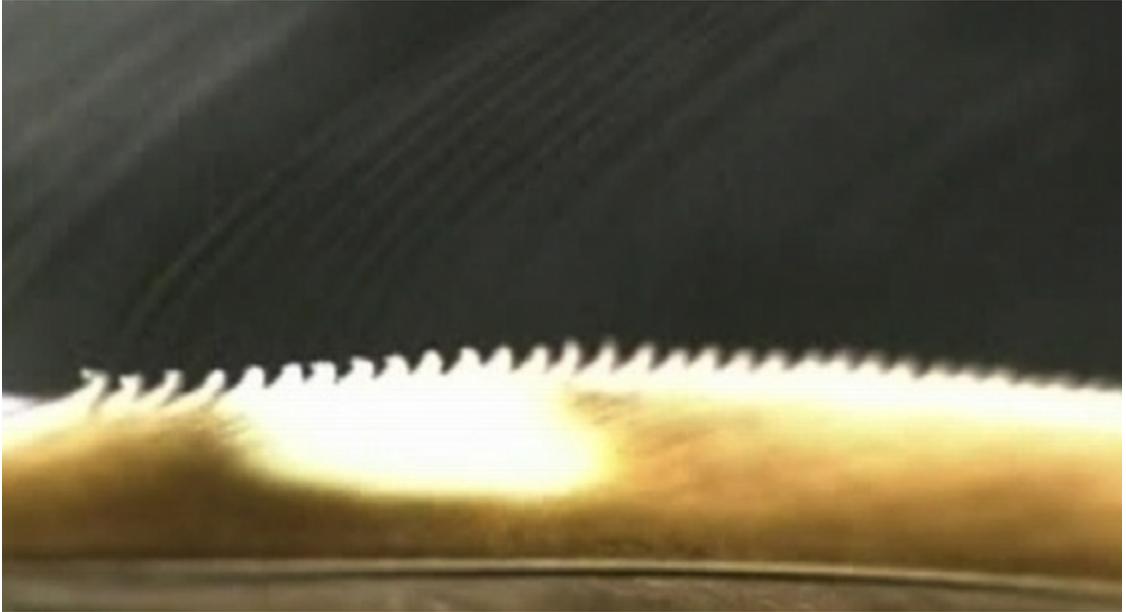


Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji



Vortices de Von Karman en las costas de la isla de Rishiri en Japón

Foto: NASA, 2001 | Wikimedia Commons



Caudal de aire en plumas de halcón y búho, 2008
Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Caudal de aire en una pluma de Búho de borde dentado, 2010
Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

plosiones sónicas surgieran de la inspiración en las anatomías de dos aves muy distintas entre sí, el búho y el martín pescador, es un testimonio de la destreza del equipo de JR West para solucionar problemas.

En el caso del ruido del pantógrafo, el aire que corría sobre las barras de separación y las articulaciones del mecanismo formaba el llamado vórtice de Karman, también conocido como Calle Vórtice de Karman, y era esta turbulencia la causante de casi todo el ruido. Los vórtices de Karman se crean a todas las escalas, desde en islas en el mar hasta en las antenas de coches, y se manifiestan cuando un único cuerpo no fuselado separa el flujo de un fluido. Remolinos alternos y opuestos giran corriente abajo de la obstrucción, moviéndose hacia atrás y hacia adelante conforme domina la fuerza de uno y después la del otro. Esta turbulencia es una de las principales consideraciones en el diseño de cualquier torre o mástil vertical, y se han ideado varias formas para contrarrestarla. Un ejemplo es colocar un estabilizador a sotavento en un cilindro. El concepto de calles vórtice, proviene de una dinámica básica y de hecho se piensa que algunos animales, como las abejas, toman ventaja de éstas en su vuelo.

El equipo de JR West había contemplado varias opciones de solución y acordó explorar tres caminos básicos: disminuir el número de pantógrafos, ponerles protectores para el viento, y diseñar una forma de pantógrafo totalmente nueva que ayudaría a eliminar estos vórtices.

El equipo pudo reducir el número de pantógrafos de ocho a dos o tres, y diseñó parabrisas moldeados a proa y popa de los colectores restantes. Rápidamente, la totalidad del protector se

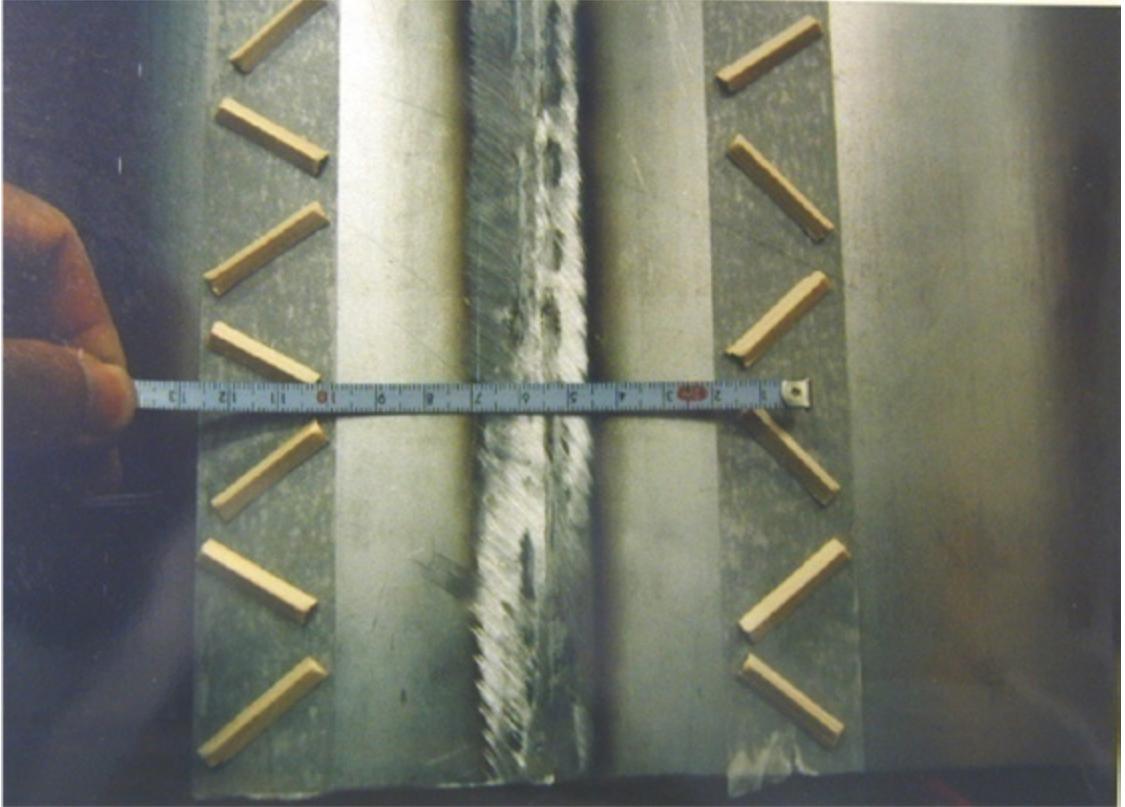
integró para formar una larga cubierta para el pantógrafo. Sin embargo, el protector añadía peso al tren y afectaba la ingeniería de los rieles y el gasto energético. Además, la cubierta misma contribuía a producir nuevas vibraciones y ruido muy notorio dentro del tren. La cubierta generaba una nueva ola de presión cuando el tren entraba a toda velocidad en los túneles. El enfoque ingenieril tradicional parecía estar causando problemas, más que resolverlos, y el equipo, después de este considerable esfuerzo, necesitaba una nueva perspectiva.

La inspiración: El búho

Durante la conferencia de la Sociedad de Aves Silvestres, Seichi Yajima, ingeniero en aviación, compartió con Nakatsu mucho sobre cómo la fisiología y la anatomía de las aves habían influido el diseño de aviones. Nakatsu quedó intrigado por la capacidad del vuelo silencioso del búho. Este depredador nocturno, además de tener un preciso sistema de localización gracias a sus oídos ligeramente asimétricos, cuenta con plumas de diferentes formas que ayudan a mitigar el ruido. Las más importantes para esta función son las llamadas fimbrias o ribetes, y comprenden un borde dentado tipo peine en el borde anterior de las plumas principales de las alas. Los ribetes o fimbrias sirven para romper el aire que corre sobre las alas formando microturbulencias amortiguando el sonido que típicamente ocurre sin esta característica.

El proceso de diseño

¿Sería posible buscar una solución para el problema del ruido adaptando el borde dentado de

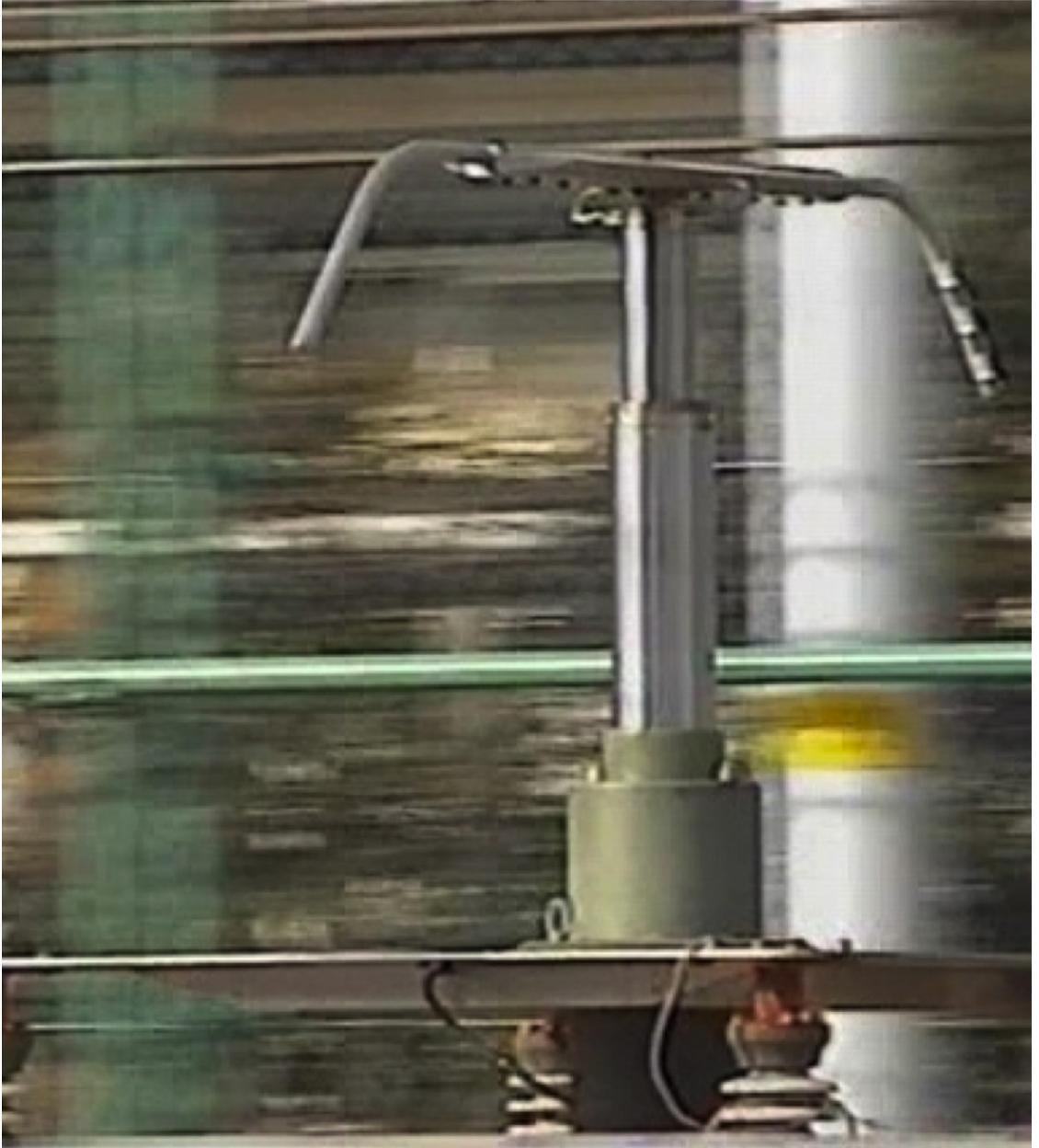


Detalle del borde dentado de una pluma de búho (Sr. Yajima)

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Medición del área independiente de un generador de vórtices seccionado triangularmente

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji



Análisis de recolección de energía del pantógrafo con forma de ala en el Instituto de Investigación Técnica en Ferrocarriles (RTRI por sus siglas en inglés)

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

la pluma que permite al búho ser un cazador tan eficiente?. Nakatsu pensó que sí, y puso a su equipo a probar esta táctica. Empezaron por analizar el ala del búho, así que para ello, pidieron prestados algunos especímenes disecados de un búho y de una tórtola al zoológico municipal de Tennoji en Osaka, y los colocaron en un túnel de viento. Midieron los sonidos aerodinámicos de los dos especímenes y encontraron que los del búho eran claramente más silenciosos. En seguida hicieron un modelo a escala en forma de ala y probaron su tubulencia y sustentación en el túnel. Finalmente, hicieron un prototipo tamaño real y lo probaron en el laboratorio de pruebas del Railway Technical Research Institute (Instituto de Investigación Técnica del Ferrocarril, RTRI, por sus siglas en inglés).

El prototipo refinado del pantógrafo era, en ese momento, notablemente diferente del mecanismo que habría que remplazar. El diseño original del pantógrafo no había cambiado sustancialmente en muchos años; un arreglo tipo tijera doble que cualquier persona que hubiera vivido a principios de siglo podría reconocer. El nuevo diseño consistía en dos líneas aerodinámicas: un frotador de pantógrafo (un hoja fina de metal aplanado y horizontal o ala de cobre, hierro y aluminio que servía como patín para los cables vivos superiores) y una base o pilar vertical de aluminio en forma de huso en corte transversal.

El equipo hizo un modelo a tamaño real y lo montó en el techo de un coche en la pista de pruebas automotrices de Honda. Estudiaron la capacidad de acumular energía del nuevo diseño, primero en el taller y luego en el tren de prueba WIN350 en la vía principal.

Se realizaron muchas pruebas importantes sobre el flujo de aire a través de la forma de la lámina del pantógrafo. JR West no contaba con un túnel de viento propio, por lo que resultó crítico el apoyo que recibieron de Industrias Sasakura, la Universidad de Osaka, Automotriz Nissan, Industrias Pesadas Mitsubishi, Automotriz Matsuda y el RTRI para llevar a cabo las pruebas. El objetivo del equipo era diseñar un pequeño generador de vórtice (VG) que fuera parte integral de la forma del pantógrafo, y así reducir la resistencia al aire y el ruido. La generación de pequeños vórtices evita la formación de turbulencias mayores y los consiguientes resistencia y ruido.

Una aplicación VG similar puede verse en el avión Boeing 737, donde se han fijado unas franjas escalonadas a lo largo de la parte alta del ala. Típicamente el aire fluye sobre una superficie, como un ala, de manera laminar, lo que quiere decir que las partículas del fluido se mueven paralelamente en la misma dirección que el fluido como un todo, difiriendo sólo en su velocidad. Inevitablemente, este flujo

Probando el concepto: Antes y Ahora

El equipo de JR West se enfrentó a dos problemas básicos cuya solución requería hacer pruebas: el ruido causado por la generación de vórtices en los pantógrafos (mecanismo que se conecta a los cables eléctricos que alimentan al tren) y las explosiones sónicas causadas por las ondas de aire a presión que salían de los túneles cuando los trenes pasaban a través de ellos.

Ambos retos requirieron años de extensas pruebas físicas de condiciones y prototipos. El equipo probó y registró fenómenos en un amplio rango, desde un modelo a escala hasta un tren de prueba, pasando por un prototipo a tamaño real. Gran parte de esta investigación se llevó a cabo sin el beneficio de los programas de simulación digital disponibles actualmente. Por tanto, se ponían búhos disecados en túneles de viento, se dejaban caer figuras sólidas en el agua, se lanzaban proyectiles a través de tubos, y se sujetaban maquetas en los techos de automóviles para aproximarse a las condiciones del tren. ¡La genialidad del equipo fue impresionante!

Aunque no existe sustituto para las pruebas físicas, los modelos de simulación pueden hacer que el proceso de prueba sea más rápido, que los costos sean más bajos y que haya más opciones de diseño. Hablamos con Luke Mihelcic, Gerente de Mercadotecnia de Productos del equipo de Tecnología de Simulación de la empresa Autodesk, quien nos explicó cómo algunos de sus productos pueden utilizarse para abordar retos similares.

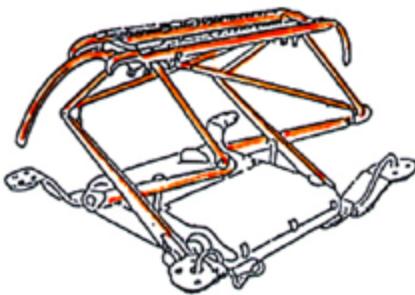
Después de la inspiración en un búho o en un martín pescador, se puede escanear un artefacto a par-



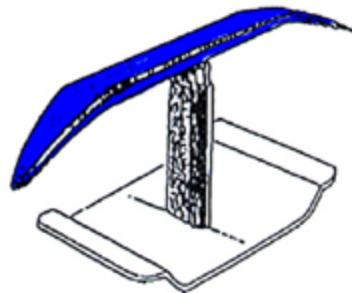
翼型パンタグラフ

非常に高い速度で現行の新幹線のパンタグラフを使用すると、そこから発生する風切り音が問題となります。

飛行機の翼のような滑らかな形状を持ち、発生する風切り音の非常に小さなパンタグラフが翼型パンタグラフです。



現行パンタグラフ



翼型パンタグラフ

Pantógrafo con forma de ala y miembros del comité de Dinámica Aérea | Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Pantógrafo con forma de ala llamado "Wingraph" (Wing-shaped Pantograph) | Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

eficiente del fluido sufrirá algún cambio en su condición y formará turbulencias. Aquí, las partículas en el fluido se mueven de una manera muy irregular, y no en la misma dirección que el fluido como un todo. El propósito de las franjas es anticiparse a este cambio, haciéndolo manejable y más eficiente: remolinos pequeños en vez de grandes e indomables.

A diferencia del ala de un avión, la base del pantógrafo del Shinkansen tenía una orientación vertical y era obtusa en el corte transversal. Lo que el equipo de JR West descubrió en la prueba del flujo de aire fue una línea vertical de turbulencia encima de la curva del cilindro base, donde el suave flujo laminar, inducido por el borde aerodinámico, comenzaba a romperse. Era ahí donde situarían su generador de vórtice (VG), una forma de frimbia o franja hecha por el ser humano, con inspiración en el búho y sus plumas.

Aunque ya sabían dónde colocar las estructuras tipo peine, aún no sabían cómo ordenar los pequeños generadores de vórtices, y volvieron a probar alternativas para el problema del flujo del aire: diferentes cortes transversales (convexos, hemisféricos, triangulares, encajonados, cóncavos) y diferentes orientaciones (horizontal, vertical, escalonada). Incluso intentaron llenar la superficie con hoyuelos como una pelota de golf, y se dieron cuenta de que esto aumentaba el ruido. Seleccionaron un corte transversal triangular, acomodado en dos líneas verticales de pares en forma de v, en lados opuestos de la línea de mayor turbulencia. Fue finalmente Yajima, ingeniero aeronáutico y ornitólogo, el que propuso dicha disposición o ajuste.

La solución

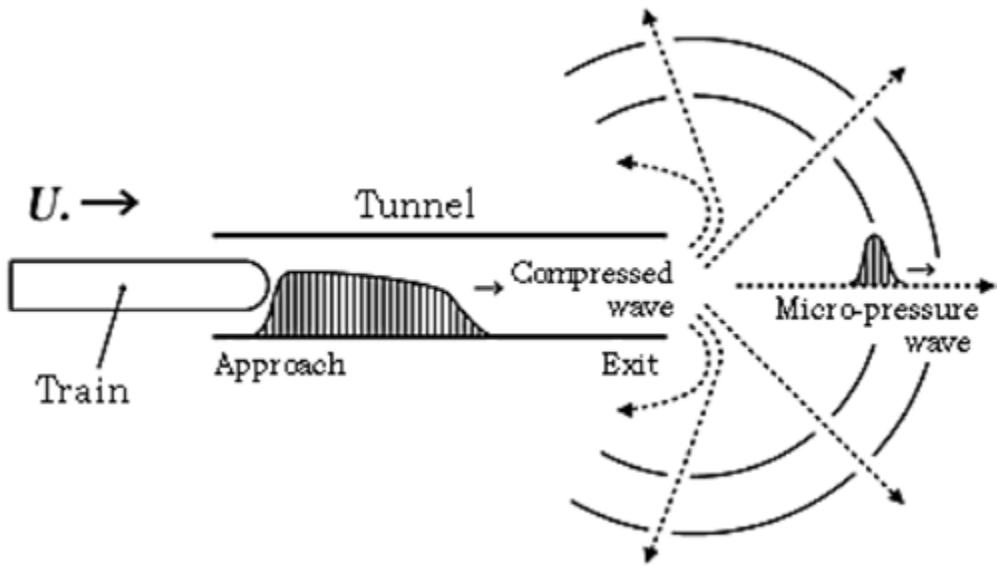
Una vez satisfechos de haber suavizado el flujo del aire alrededor del pilar, en marzo de 1994 el equipo instaló el nuevo “alágrafo” (wing-graph) en el tren de prueba WIN350 EMU en la línea principal, como prueba final de campo. Se colocaron conjuntos de micrófonos a intervalos a lo largo de la línea y el tren circuló a las más altas velocidades.

Fue todo un éxito. Ahora, el tren podía circular a 320 km/hr con 73 dB(A) y cumplir con el estándar de ruido de 75 dB(A). Más aun estas mejoras generaron beneficios adicionales: un pequeño incremento en la eficiencia en el uso del combustible, y mayor comodidad para

tir de cada organismo y dibujarse en un archivo CAD, o incluso se puede fotografiar e importar directamente al programa para dibujar sobre la imagen. Este archivo se podría entonces utilizar en un programa de simulación. Aunque no existe una base de datos maestra de figuras aerodinámicas de la naturaleza, un ingeniero podría, reunir una variedad de figuras aerodinámicas a partir de una búsqueda en Google y suplementar esta colección con figuras naturales que haya visto a través de su propia investigación.

Al cominezo de la etapa conceptual, se puede trabajar en Project Falcon de Autodesk incluso con un borrador (sketch). Esta herramienta para la fase conceptual de los proyectos mide el flujo de aire externo exclusivamente utilizando modelos Autodesk Alias u otros archivos 3D. Falcon tiene la capacidad de dar al diseñador retroalimentación en tiempo real sobre las fuerzas resultantes como la sustentación y el arrastre. Esta herramienta también es interactiva, lo que permite al diseñador cambiar parámetros tales como la velocidad y el ángulo de ataque.

Una vez que se ha establecido una geometría básica prometedoras, los prototipos digitales se pueden desarrollar en un programa de Dinámica Computacional de Flui-



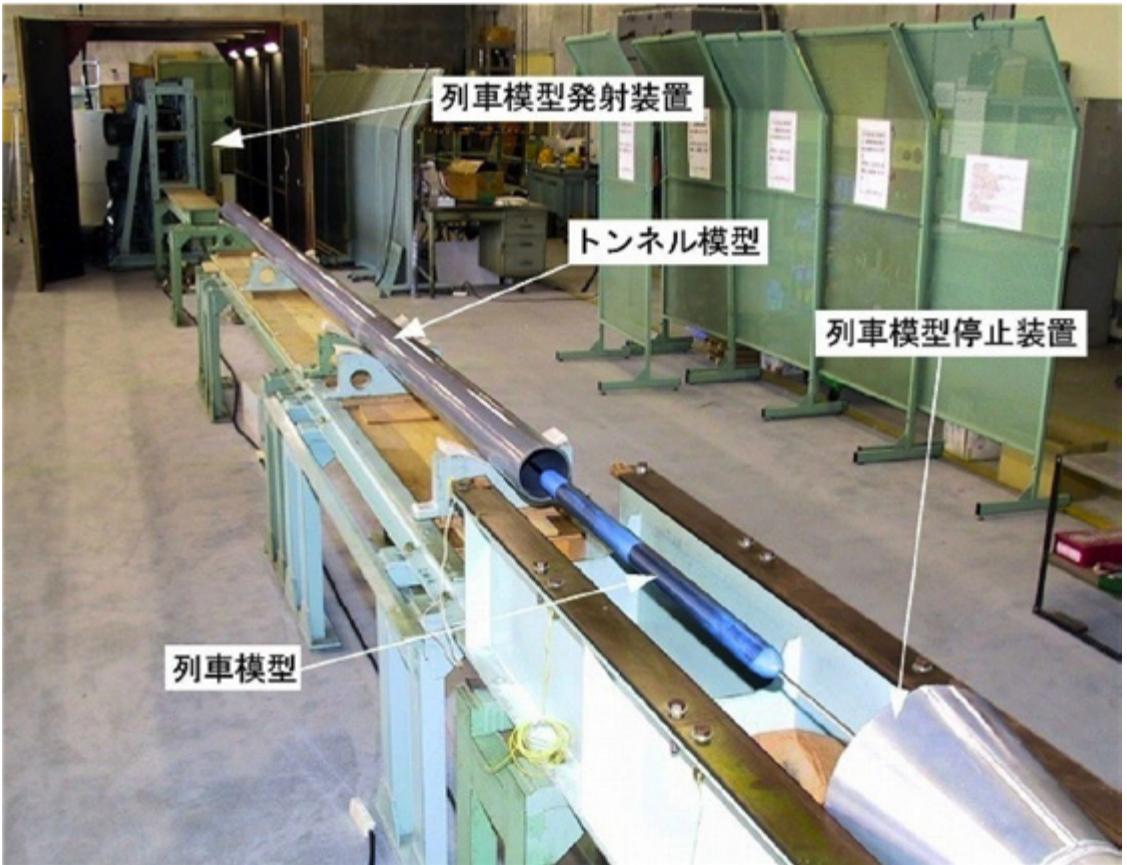
Mecanismo de generación de ondas de micro presión dentro de un túnel

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Martín Pescador Ruddy (*Halcyon cromanda*). | Ueno Zoo,

Tokyo, Japan

Photo: Wikimedia Commons



Balas de prueba de los modelos de tren
 Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Dispositivo de experimentación para el disparo de los modelos de tren
 Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

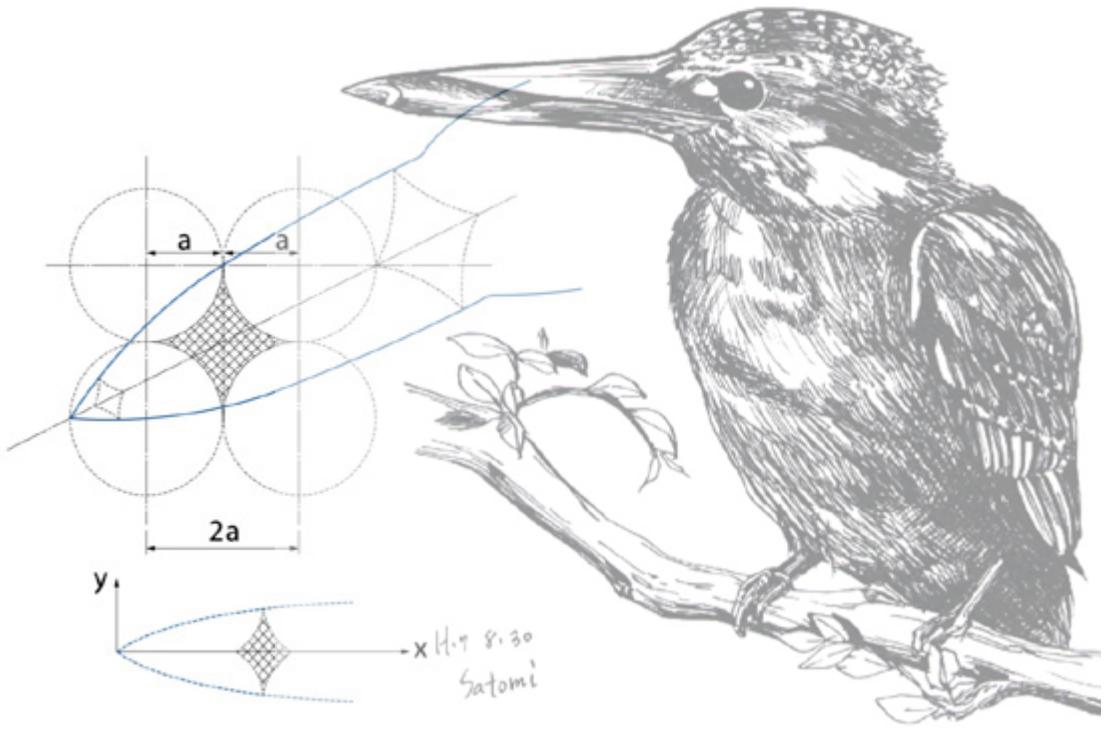


図7 カワセミ（翡翠） クチバシと頭部形状



Diagrama del proyecto: Análisis del pico del martín pescador. Una forma parabolóide giratoria con área de superficie por sección que cambia a una asa constante.

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Cráneo de Martín Pescador por el Sr. Ueda Mitsuhiro

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Dibujo de Martín Pescador (Nakatsu, Satomi)

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

los pasajeros dentro del tren. Cuando el ruido del tren cayó por debajo del nivel de los 75 dB(A), las quejas del público se redujeron dramáticamente.

El equipo de JR West solucionó el problema del ruido aerodinámico del pantógrafo mediante una combinación de enfoques estándares de ingeniería e innovación bioinspirada. Empezaron por reducir la fuente del ruido limitando el número de pantógrafos a dos por cada 400 metros de tren. Usaron técnicas de diseño tradicionales para darle una nueva forma a las cubiertas del pantógrafo con el fin de reducir la turbulencia a un nivel aceptable. Finalmente, para eliminar el ruido remanente incorporaron, en una forma rediseñada, un mecanismo que se encuentra en la naturaleza. Para aplicar esta lección a su problema, observaron meticulosamente cómo un organismo (las alas del búho) empleaba un fenómeno natural (generación de vórtices), y tradujeron sus principios en requisitos para solucionar su desafío de diseño. Durante el proceso de diseño, que estuvo siempre orientado al problema, probaron con mucha tenacidad los prototipos bajo un amplio rango de condiciones.

El problema del túnel

El problema de la explosión sónica era mucho más complejo que el del ruido del pantógrafo. Cada vez que el tren entraba en un túnel a gran velocidad, generaba ondas de presión atmosférica que llegaban a la salida del túnel a la velocidad del sonido. Como un pistón en un cilindro, el tren expulsaba el aire por el otro lado del túnel. La presión emitida a la salida del túnel era sólo de 0,001 de la presión atmosférica, y a tal fenómeno se le llamó Onda de Micropresión del Túnel. El aire salía en ondas de baja frecuencia (por debajo de los 20 Hz) que producían vibraciones aerodinámicas y una enorme explosión. Había quejas de vecinos que vivían hasta 400 metros de la salida del túnel, por lo que el equipo no podía probar el tren a velocidades mayores a los 350 km/hr.

El problema era particularmente difícil porque se relacionaba tanto con la geometría del túnel como con la velocidad del tren. La micropresión de la onda era proporcional al índice del corte transversal del tren con el del túnel. Además, el incremento por cada unidad de velocidad incrementaba la presión por tres.

dos (CDF, por sus siglas en inglés), como Autodesk Simulation CFD. El programa es una herramienta de análisis exhaustivo de fluidos y es compatible con muchos otros programas como Autodesk Inventor, SolidWorks, Pro/Engineer, UG y NX. En este programa se puede simular un problema como la generación de vórtices para cientos de condiciones y se pueden comparar las variaciones para encontrar la mejor solución; la herramienta del programa Autodesk Inventor Fusion podría permitir al diseñador editar y crear nuevos diseños. También se podría cuantificar el rendimiento de cada variación, registrando números de Reynolds y turbulencias, por ejemplo. Para determinar los cambios en la forma, también se podrían agregar al análisis, factores como los métodos de fabricación, materiales y costes.

La simulación CFD podría representar algo más que los efectos de la forma del tren con el fin de solucionar el problema. En el caso de las explosiones sónicas, se podría modelar el túnel, otro tren que vaya pasando y las salidas para observar los efectos de diferentes configuraciones en el flujo de aire, y por tanto en las turbulencias y en el ruido. Aunque Autodesk no ofrece una opción de simulación acústica, los di-



Composición de caída para buceo de un martín pescador pinto (*Ceryle rudis*)

Foto: Dr. Stephen Nawrocki, 2009 | Flickr cc

No podían hacer nada con respecto a la geometría de túnel: los túneles del Shinkansen japonés promedian los 64 metros cuadrados (comparados con los más de 80 metros cuadrados de los túneles europeos típicos) y no se podían reconstruir o remodelar con facilidad. Aunque se habían diseñado e instalado unos toldos especiales en algunas entradas de túnel, este esfuerzo era caro, lento con resultados marginales. De igual manera, el ancho de las vías tendría que “darse por hecho”, lo que limitaría cualquier cambio en el cuerpo del tren. La anchura del tren Shinkansen, poco menos de 3,4 metros, es la más amplia del mundo y permite sentar a cinco pasajeros de segunda clase en una fila. Tendrían que encontrar la manera de rediseñar la forma del tren para ir más rápido sin crear la explosión. La clave estaba en evitar que creciera la onda de presión reduciendo el área de corte transversal del tren y rediseñando su morro.

La inspiración: el martín pescador

Una charla con un ingeniero novel motivó a Nakatsu a volver a buscar la respuesta en la Naturaleza. El joven ingeniero había observado que el tren de prueba parecía “encogerse” al entrar al túnel. Nakatsu pensó que esto podía deberse a un cambio súbito en la resistencia del aire, de un cielo abierto a un túnel cerrado, y se preguntó si habría un organismo adaptado a esas condiciones.

De sus experiencias observando aves, Nakatsu recordó al martín pescador, un pájaro que se zambulle a gran velocidad de un fluido (aire) a otro que es 800 veces más denso (agua) casi sin salpicar. Pensó que valía la pena estudiar más de cerca a este animal, y supuso que era la forma de su pico lo que le permitía entrar tan limpiamente al agua.

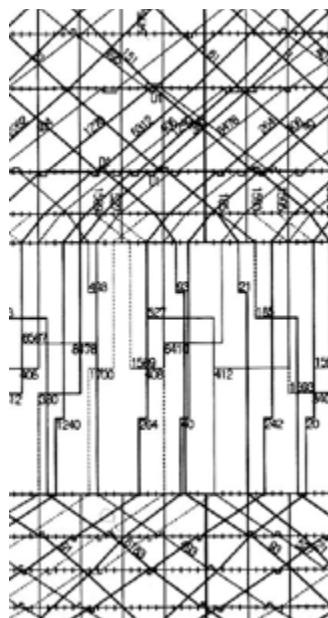
El proceso de diseño

El tren que en ese momento estaba en servicio, el Shinkansen Serie 300, tenía un morro más o menos parecido a un cono con forma de cuña, que había reemplazado a los trenes anteriores con morro en forma de bala. Esto se comparó con nuevas alternativas mediante el uso de modelos a escala.

señadores podrían predecir niveles de ruido relativos usando sustitutos como los números de Reynolds.

Para entonces, el diseñador ya habría probado cientos, en vez de docenas, de configuraciones en una fracción del tiempo y del coste y estaría listo para hacer pruebas físicas con las opciones más prometedoras. ¡Que venga el túnel de viento!.

Queremos agradecer a Carolyn Rohrer – Gerente de Relaciones Públicas, en el área de Sostenibilidad de la empresa Autodesk, por su coordinación y apoyo para hacer posibles las entrevistas con el Sr. Nakatsu y el Sr. Mihelcic.



Horarios de Shinkansen

Foto: kerim, 2005 | Flickr cc



Trenes de las Series N700, 700, 500, 300, 100 y 0 | Depósito de Hakata JR-Oeste, 2011

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

Todas las compañías Shinkansen intentaban resolver el problema de la explosión sónica y RTRI emprendió un intenso esfuerzo de investigación. Descubrieron que el morro ideal era o una cuña o un cuerpo parabólico rotativo con una sección que cambiaría de área en una proporción constante.

Al igual que ocurrió con el búho, el equipo de JR West obtuvo un ejemplar disecado natural y analizó sus dimensiones y materiales. Lo que Nakatsu encontró fue que el pico del martín pescador era consistentemente redondo en la sección transversal y lo describió como “una gragea circular rodeada de cuatro círculos”. El pico del martín pescador también se puede describir como un cuerpo parabólico rotatorio. Tanto el pico superior como el inferior tienen cortes transversales triangulares con los lados curvos. Juntos forman un diamante aplastado, la misma figura que se formaría en el intersticio de cuatro círculos perfectos dispuestos juntos.

Conociendo estos parámetros, RTRI se puso a probar varias formas de morro en un modelo a escala del túnel y a medir las ondas de presión que se generaban con cada una de estas formas. Dispararon balas de varias formas en un conducto tubular, desde la punta de bala más tradicional hasta formas más afiladas, incluyendo la del pico del martín pescador. De manera simultánea, estas mismas formas se probaron en simulaciones en un superordenador de investigación espacial. Entonces se seleccionó un morro de tren con forma muy similar al pico del martín pescador.

Todas las pruebas confirmaban lo que se podía observar en la vida real: la forma del pico del martín pescador era, sin duda, la más eficiente

de todas las probadas, mejorando todas las alternativas por un margen amplio. Se construyeron prototipos refinados, que luego se hicieron a escala real para probarlos en los rieles.

En ese momento Nakatsu se convenció de que la Naturaleza tenía mucho que enseñar acerca de formas eficientes. Su inspiración inicial había sido confirmada por los resultados tanto de las pruebas con instrumentos de gran escala, como en el análisis de supercomputación. En el 2004 hubo una impresionante demostración de la cualidad aerodinámica del pico del martín pescador, cuando la cadena televisiva TV Asahi transmitió un programa mostrando las diferencias en la cantidad de agua salpicada cuando un cono simple y un cuerpo parabólico rotacional se dejaban caer en el agua.

La solución

El diseño de la nueva Serie 500 comprendía un morro alargado de 15 metros (comparado con los 6 metros de la Serie 300) y un cuerpo más redondeado. El cuerpo del tren de la Serie 300 también se rediseñó; se hicieron ajustes en las dimensiones superior e inferior con respecto al ancho básico requerido, reduciendo así el área de sección de 11,4 metros cuadrados a 10,2 metros cuadrados.

El diseño redujo el efecto de explosión sónica y permitió al tren correr a 300 km/hr sin sobrepasar el estándar de nivel de ruido de 75 dB(A). También generó otros beneficios de inmediato. El nuevo Shinkansen 500 era más rápido, silencioso y potente, con un 30% menos de resistencia al aire que su predecesor. El consumo de energía se redujo proporcionalmente. El registro



Eiji Nakatsu a un lado del tren de la Serie 500 en la estación de Hakata

Imagen cortesía de Nakatsu, Eiji

energético en un trayecto real (máxima velocidad de 270 km/hr) mostró una reducción del 13% con respecto al consumo de la Serie 300.

El 22 de marzo de 1997, JR West puso al tren eléctrico Shinkansen Serie 500 en operación comercial. El tren podía alcanzar una velocidad máxima de 300 km/hr, un record mundial de velocidad en ese momento, y cumplir con los rigurosos estándares de ruido. Tal como la empresa se lo había propuesto, la duración del recorrido entre Shin-Osaka y Hakata se había acortado de 2 horas y 32 minutos en el tren convencional “Nozomi” de la Serie 300, a 2 horas y 17 minutos. En noviembre de ese año se ofreció el servicio extendido a Tokio en trenes Serie 500, con tres viajes ida/vuelta al día, que se incrementaron a cinco en marzo de 1998 y a siete en 1999. El más rápido de estos trenes pudo recorrer los 1.069 km de distancia en 4 horas y 49 minutos.

Para Nakatsu la pequeña nota en el periódico de Osaka supuso el inicio de una gran fascinación con las lecciones que la Naturaleza tiene que enseñarnos. “... me asombraron las maravillosas funciones que han desarrollado las cosas vivientes. Aprendí de primera mano que la verdad puede encontrarse en la manera en que la vida se esfuerza para persistir y mantenerse en este mundo. Desde entonces, ‘aprender de la Naturaleza’ se ha convertido en un tema recurrente para mí”. Que él cayera en esta cuenta resultaría excepcionalmente favorable para todos nosotros. x

Eiji Nakatsu fue el Gerente General del Departamento de Desarrollo Técnico de Japan Railway West de 1989 a 1992, y Gerente General del Departamento de Pruebas y Operaciones de JR West de 1992 a 1995. De marzo de 1992 a junio de 1995 supervisó todas las carreras del tren de prueba WIN350. Actualmente es asesor técnico para el Japan Railway Technical Service (JARTS) y vice Director Ejecutivo del Kinki Environmental Citizen’s Supporting Center.



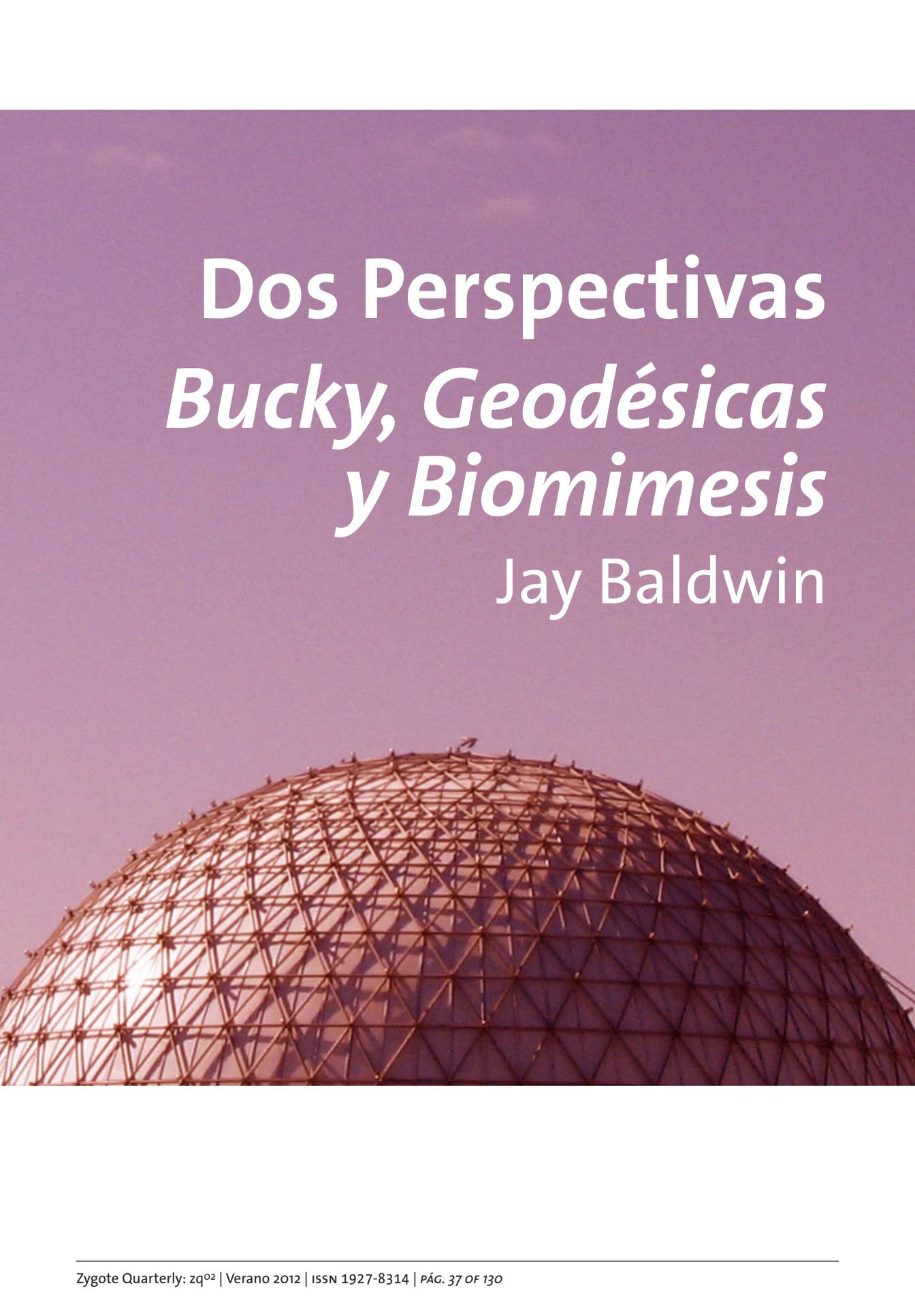


Vuelo de Búho nival #2 | Foto: {ErinKfoto} aka redcargurl, 2012 | Flickr cc



Estructura Geodésica

Foto: 416style, 2006 | Flickr cc



Dos Perspectivas *Bucky, Geodésicas y Biomimesis* Jay Baldwin

Bucky, Geodésicas y Biomimesis

“Biomimesis”, palabra acuñada por Janine Benyus en su libro de 1997 que lleva ese nombre, se ha convertido en un término vagamente definido. Creo que las definiciones simplificadas y muchos ejemplos posteriores por parte de otros escritores son demasiado restrictivas. Prefiero pensar en el término de manera incluyente, pues es muy pronto para encasillar en exclusiones rígidas a un principio recientemente aceptado. Estas exclusiones abren la puerta a discusiones “bizantinas”. Por tanto, considero al avión 747 de la empresa Boeing como un ejemplo útil de biomimesis.

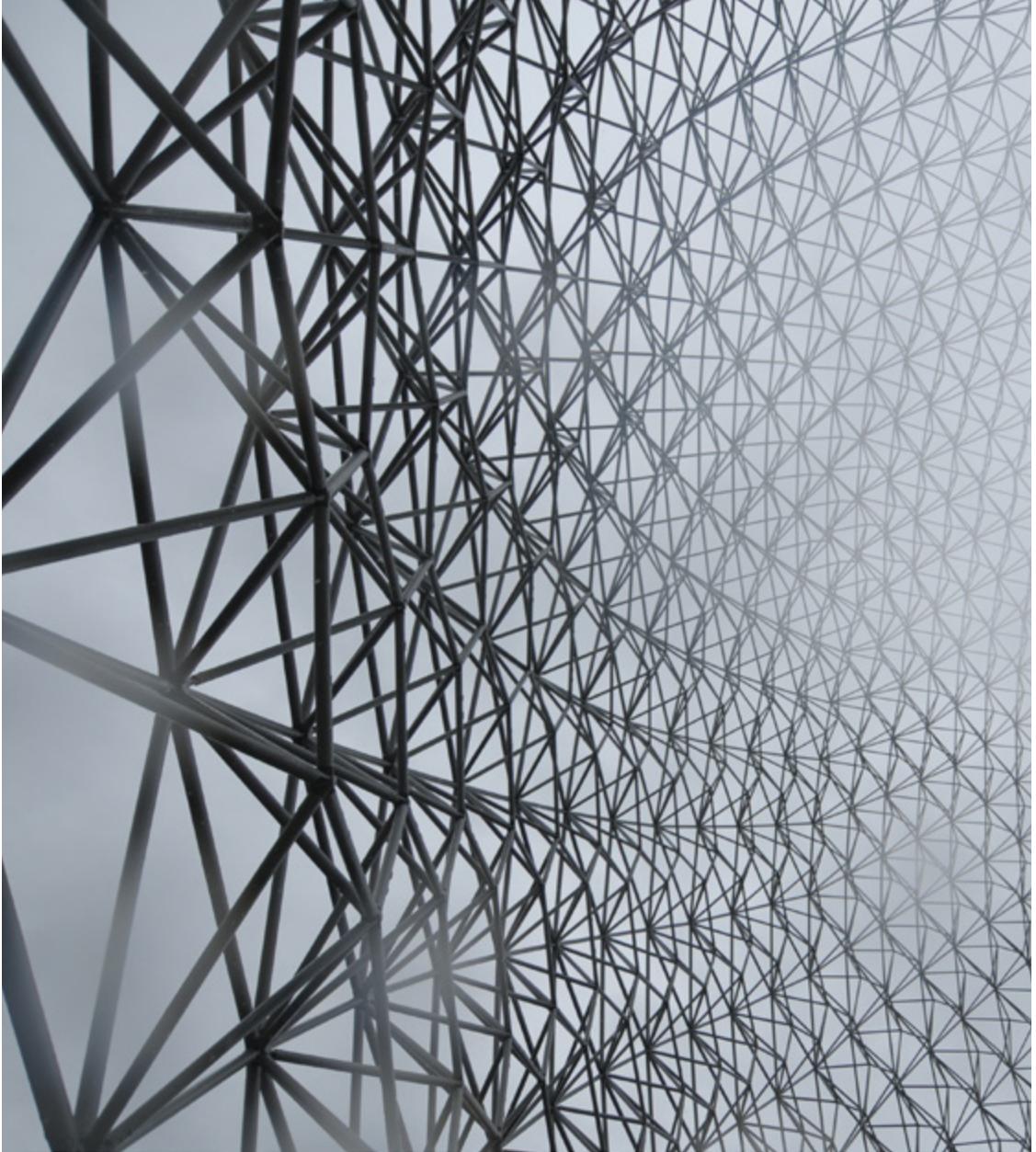
Mientras buscaban un modelo para el diseño del 747, los diseñadores de Boeing midieron la eficiencia de algunas aves. Aunque no era su intención imitar a los colibríes haciendo que el 747 batiera sus enormes alas como un ave, la relación resistencia-sustentación de este avión (conocida como “*finesse*”) es casi la misma que la de un colibrí. En vuelo, ambos consumen alrededor del 3% a 4% de su peso de despegue por hora. (Cómo un colibrí puede cruzar el Golfo de México sin reabastecer combustible continúa siendo un misterio)

Sinergia

Buckminster (Bucky) Fuller, nos enseñó que “la evolución da muchos primeros pasos”, y que la Naturaleza siempre ha evolucionado formas de vida que sean una solución óptima para las con-

diciones ambientales en las cuales se desarrollan. Para utilizar su lenguaje, todas las formas de vida son sinérgicas. Bucky definió sinergia como la condición en la que analizar las partes o subconjuntos de las mismas no ofrece ningún indicio acerca de la funcionalidad de la totalidad. Uno de sus ejemplos favoritos de sinergia era la resistencia a la tracción del acero al cromo-molibdeno, comúnmente especificado por diseñadores de bicicletas de carreras. La resistencia a la tensión del cromo-molibdeno es mucho mayor que la suma del mismo tipo de resistencia de cada uno de los metales incluidos en dicha aleación. Bucky también señaló que la metalurgia que produce estas ventajas es invisible para los seres humanos sin la ayuda de instrumentos. Sugirió además que probablemente las computadoras no serían capaces de detectar, mucho menos predecir, la sinergia, porque aún no había manera de programarlas para hacerlo. Por tanto, la sinergia sigue siendo, esencialmente, impredecible.

Los diseñadores humanos por lo general confían en las compensaciones, la negociaciones y el compromiso de informar sus decisiones de diseño. Peor aún, a menudo emplean (y lamentablemente a menudo enseñan) la evaluación comparativa o “benchmarking”: una táctica mediante la cual se copia lo más posible un diseño exitoso en el mercado, pero sin llegar a incurrir en una demanda legal. Normalmente se hace un pequeño cambio, para poder entonces afirmar que el resultado es algo “nuevo”. Pero estos di-



Estructura geodésica del proyecto Biósfera

Foto: To3, 2011 | Wikimedia Commons



Formas geodésicas en la naturaleza: Ojos de Libélula

Foto: kaibara87, 2010 | Flickr cc



Estructuras geodésicas en la naturaleza: Hembra de araña saltadora (ojos)

Foto: Thomas Shahan, 2009 | Flickr cc



Bucky + Geodésica de plástico y madera con diámetro de 9.1 metros (los marines volaron la cúpula a una velocidad de 50 nudos sin daños), 1954

Foto: dodeckahedron, 2007 | Flickr cc

seños, tan profundamente inspirados por el pasado, no son nuevos para nada. De hecho, el uso del *benchmarking* garantiza que la evolución se retrasará artificialmente, que la verdadera innovación se dará lentamente si es que llega a darse, y que todo avance será mínimo. Considero que este tipo de tácticas y términos son políticos, más que biomiméticos. En la Naturaleza no hay política, pero por supuesto algunas veces se vota “EN CONTRA” cuando se ignoran las leyes de la biología, la química o la física.

Debido a que la naturaleza no reconoce mercados, todas las formas de vida se han desarrollado a lo largo del tiempo para ser optimizadas y que puedan tener el mejor rendimiento posible, considerando todos los aspectos de su existencia como parte de un sistema. Es decir, un pelícano es el mejor pelícano posible en este momento. Conforme las condiciones cambien, un pelícano mejorado pronto se convertiría en el pelícano, o en una nueva forma de vida que tome el lugar del pelícano actual.

Hay que tener en cuenta que no me refiero sólo a la eficiencia mecánica. Cuando un insecto pone miles de huevos con poca esperanza de que muchos sobrevivan, está siendo, no obstante, “eficiente” si consideramos que la estrategia de poner muchos huevos es la única manera de evitar la extinción de la especie. A través del tiempo (algunas veces mucho tiempo) el gran número de estrategias entrelazadas de muchos millones de formas de vida ha dado como resultado las poblaciones relativamente estables y el enorme número de variedades que vemos hoy día. Cada miembro se encuentra en un estado de cambio lento que sutilmente ajusta el balance del sistema en el que está insertado. Las interacciones

aseguran que la coevolución sea algo común: los cambios evolutivos en los seres provocan cambios en su entorno y en otros seres asociados conforme el sistema se ajusta para lograr un equilibrio dinámico que garantiza su continuidad.

Geodésico

A diferencia de muchos biólogos, Bucky insistió en que su “geometría energética-sinérgica” era ‘natural’ en el sentido de que ya estaba resuelta y definida, como un principio matemático que la Naturaleza utiliza para darle una ventaja óptima al sistema. Aunque Bucky no se adjudicó la invención de las geodésicas, sí afirmó haber sido el primero en reconocer la ventaja de ésta.

La palabra geodésico es un término de navegación que describe la línea más directa y energéticamente eficiente entre dos puntos en la superficie de una esfera. Un domo geodésico hecho de tubería tiene un tubo (puntal) que conecta dos puntos de la superficie del domo, lo cual tiene el efecto de triangular el domo en todas las direcciones. Esta característica confiere al domo su fortaleza superior.

¿En dónde utiliza la naturaleza las estructuras geodésicas? Tus ojos son estructuras geodésicas, así como los testículos y los senos. Si examinas un globo común o el huevo de una gallina o los huesos de un pájaro bajo un microscopio electrónico de barrido, verás el ensamblaje familiar de triángulos formando una red con aperturas triangulares lo suficientemente pequeñas para contener moléculas de aire y así como una variedad de componentes. Aunque nunca lo pudo comprobar, Bucky supuso que los átomos eran



Verano de 1949, del archivo del proyecto de investigación del Black Mountain College



| Archivo del Estado de Carolina del Norte

estructuras geodésicas. ¿Qué otra cosa podrían ser? Lo que sí comprobó fue que la naturaleza no puede utilizar Pi, porque el área de un círculo, calculada usando Pi por radio al cuadrado, es un número irracional.

Realidad Irracional

El mismo problema surge cuando calculamos la superficie del área y el volumen cúbico de los domos. Bucky se preguntaba “¿Cómo puede haber una realidad irracional? ¿Acaso la naturaleza hace burbujas falsas?” Llegó a demostrar que los cálculos de 90 grados, en ejes tridimensionales x, y, z, que se usan comúnmente en física y matemáticas son inevitablemente inexactos, tanto en la realidad física como en la teoría. La Naturaleza trabaja a 60 grados, una teoría radical que ya es aceptada por muchos de los mejores geómetras.

Las matemáticas geodésicas incluyen el tiempo como una cuarta dimensión. El cálculo no sirve para calcular estructuras geodésicas; en cambio, las geometrías esféricas y el análisis de vectores finitos sí. Como no soy matemático, cuando se necesitan cálculos geodésicos de resistencia pido que alguien más los haga por mí, utilizando cálculos matemáticos de vectoriales finitas y así no correr el riesgo de cometer un error por ser un procedimiento que no utilizo lo suficientemente frecuente como para ser confiable.

Por lo general, los organismos biológicos utilizan la energía de la manera más eficiente posible, y el diseño geodésico organiza sus elementos de la forma más eficiente en términos energéticos. La mayoría de los domos de Bucky usan la geometría del icosaedro, un sólido relacionado con la esfera que consiste en veinte triángulos

equiláteros idénticos que se unen en nodos pentagonales. Es una figura que se autoorganiza, y representa otro ejemplo de minimización del gasto energético. Por lo tanto, asumiendo que el diseñador selecciona materiales apropiados en las dimensiones adecuadas, el domo geodésico bien diseñado permite el uso más eficiente de materiales.

Una Máquina de Refrigeración

Un domo geodésico—hasta ahora el sistema estructural más fuerte conocido— es también la única estructura conocida cuya fuerza aumenta con su tamaño. En sí, no hay límite para su diámetro y altura. Bucky calculaba domos con diámetros de varias millas, (1 milla = 1,6 km) insistiendo que eran perfectamente factibles. Una de sus propuestas más notorias fue un domo de 3 millas de diámetro sobre la ciudad de Manhattan. Dicho domo recuperaría su costo al eliminar los gastos asociados con quitar la nieve de las calles, además de que reduciría la sensación térmica por efecto del viento en invierno. Con un diseño adecuado de las rejillas de ventilación, el domo podría funcionar como una “máquina de enfriamiento” capaz de enfriarse lo suficiente durante el verano como para eliminar la necesidad de que cada edificio individual tuviera un sistema de aire acondicionado. Por supuesto que la combustión no se permitiría dentro del domo; los vehículos que necesitaran circular dentro de ella tendrían que ser eléctricos, gracias a lo cual mejoraría la calidad del aire. El sol proveería la calefacción necesaria.

La calidad del aire también sería mejor debido a que los espacios en forma de domo (que no necesitan ser geodésicos para que ocurra este

fenómeno) no se estratifican térmicamente: la temperatura del aire en el punto más alto sería la misma que la del suelo y en todo el espacio interior. (Me mostré escéptico cuando Bucky hizo esta afirmación, pero al observar la misma lectura en 19 termómetros de laboratorio colgados del vértice del domo comprobé que él tenía la razón). No se necesitan ventiladores, ya que el aire circula constantemente y de manera natural en el interior de los domos, moviéndose en un patrón toroidal semejante a un anillo de humo o a una explosión nuclear. La distribución uniforme de la temperatura reduce la necesidad de calentar las partes inferiores de las construcciones rectangulares convencionales en las cuales el aire caliente tiende a elevarse lo más lejos posible y permanecer ahí hasta estancarse. La circulación natural del aire en los domos genera muchas menos corrientes. En un invernadero, el movimiento natural del aire lleva dióxido de carbono fresco a las plantas, lo que las ayuda a crecer más fuertes y más rápido.

Los domos con dimensiones más grandes requieren aumentar su frecuencia, es decir, incrementar el número de triángulos dividiendo los triángulos grandes con componentes pesados en más y más triángulos pequeños con componentes delgados y con la fuerza suficiente para manejar las cargas que deben soportar. Este tipo de construcción produce domos omnitriangulados, o triangulados en todas direcciones. Esta disposición distribuye casi al instante y de manera uniforme alrededor del domo las fuerzas aplicadas. La distribución de cargas locales por todo el domo protege a los componentes individuales contra concentraciones de tensión peligrosas. Entonces, los daños estructurales causados por terremotos dejan de ser una amenaza.

La mayoría de los domos geodésicos utilizan una geometría pentagonal. Los pentágonos contienen muchos ejemplos de “la proporción aurea”, el mismo sistema proporcional que se piensa fue utilizado en la construcción del Partenón hace 2,400 años y que se presenta en muchas espirales naturales de Fibonacci, como por ejemplo las que se ven en las cabezas del girasol. Desde tiempos inmemoriales, esas proporciones han sido profundamente agradables a los ojos y a las mentes de los seres humanos.

La discusión anterior muestra que el uso humano de las geometrías de la Naturaleza y de sus estrategias para la eficiencia energética son ciertamente un ejemplo de biomimesis. Bucky Fuller no utilizó el término “biomimesis”, (no se había reconocido en su época), pero ciertamente buscó entender y utilizar los principios empleados por el universo. Sus domos son sólo un ejemplo de lo que se puede hacer cuando las formas y materiales naturales se usan de la manera más eficiente y elegante. x



Verano de 1949, del archivo del proyecto de investigación del Black Mountain College | Archivo del Estado de Carolina del Norte



Flor femenina de Alerce

Foto: Bushman. K, 2010 | Flickr cc



Personas

Entrevista con

Thomas Knittel



Patio del Proyecto Haiti

Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK



Entrevista con Thomas Knittel

Thomas Knittel es vicepresidente en el estudio de HOK en Seattle y fue director de diseño y director estratégico de diseño sostenible en el estudio de HOK en Nueva York. Entre sus proyectos internacionales anteriores están la construcción LEED Platinum KAUST (King Abdullah University of Science and Technology) en Arabia Saudita, el Commonwealth Medical College en Scranton, Pensilvania, un centro de uso mixto en Wuhan, China, y un centro comercial bioinspirado en Sao Paulo, Brasil.

Thomas dona su tiempo como líder de diseño en HOK para el proyecto Haití, para el desarrollo de un orfanato y un centro infantil en Puerto Príncipe financiado por el U.S. Green Building Council. Su trabajo explora la intersección de la biología, la ecología y el mundo construido, incluidos el informe *Genius of the Biome*, obra reciente producto de la colaboración entre Biomimicry 3.8 y HOK. Ha recibido más de 29 premios, incluyendo el Premio a la Excelencia de Diseño GSA (GSA Design Excellence Award) y un premio AIA a los Diez Mejores Proyectos Verdes (AIA Top Ten Green Projects) por la construcción KAUST. Thomas es Master en Estudios de Diseño de Harvard Graduate School of Design.

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

Sigue siendo una nueva frontera. El hecho de que Cooper Hewitt haya otorgado un reconocimiento a Janine Benyus es una muy buena señal de que la biomimesis está en camino hacia el éxito.

¿Cuáles consideras que son los mayores retos?

La forma en la que hacemos las cosas. La naturaleza construye de abajo hacia arriba, y nosotros

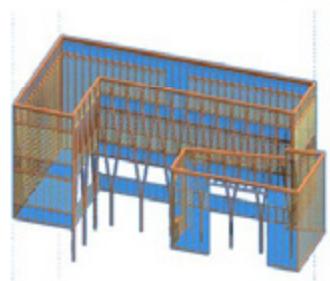
construimos de arriba hacia abajo. Un diseñador tiene una idea de lo que algo debería ser, y luego busca las piezas. Aunque es simplificar demasiado las cosas, podemos decir que en los sistemas emergentes puede operar el azar, principalmente cuando éstos buscan refinarse.

¿Cómo podemos disminuir la velocidad de las obsolescencias planeadas o no planeadas, lo que en términos biológicos son callejones sin salida, y en lugar de eso crear soluciones que alberguen inteligencia a lo largo del tiempo?

Cambiar la forma en la que hacemos las cosas es el mayor reto, porque “calentar, golpear y tratar” (actuales métodos industriales) son aún los más rápidos y baratos. En un mundo perfecto seríamos capaces de formar todo lo que necesitamos a partir de un grupo de materiales inocuos, desde platos hasta defensas para coches, fabricados en agua a temperatura ambiente. Los gradientes estructurales se darán en las instancias en que las partes necesiten flexibilidad o dureza o resistencia a la torsión.

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

Nos hemos acostumbrado a entender las cosas a escala humana, lo cual es natural. El nuevo horizonte está en enfocarnos en las dimensiones de las escalas desconocidas para nosotros, desde lo nano hasta lo macro.



Proyecto Haiti

Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK



Visualización aérea del Proyecto Haití | Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK



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

Mi interés nació hace cerca de diez años, cuando empecé a trabajar con ecólogos paisajistas en el contexto de la planificación urbana. Después me integré a HOK y en 1997 comencé a trabajar con el Biomimicry Guild. El año pasado terminé el programa de Especialidad en Biomimesis, del Biomimicry 3.8, lo cual ha sido un balance interesante entre la práctica y la educación.

¿Cuál es tu mejor definición de lo que hacemos?

Dejar a un lado lo convencional es maravilloso para las mentes curiosas.

¿Con qué criterio podríamos evaluar los trabajos?

¡Esperaba que tú me lo dijeras! Siempre he creído que un buen diseño necesita operar en niveles múltiples. Las soluciones bioinspiradas que no nos inspiren no sobrevivirán.

¿En qué estás trabajando en este momento?

Estoy terminando un orfanato y un centro para la familia en Haití que fue destruido durante el terremoto en 2010. Nuestro equipo de HOK ha estado trabajando pro bono, lo cual es extremadamente gratificante pero muy difícil de hacer. Es un proyecto del US Green Building Council, (Consejo Norteamericano de Construcción Eficiente) quien aceptó el reto y nos invitó para diseñar en su más alto nivel de certificación, LEED Platinum. De hecho el proyecto va un paso más allá, debido al objetivo y a la necesidad. El agua se abastece por medio de tuberías y

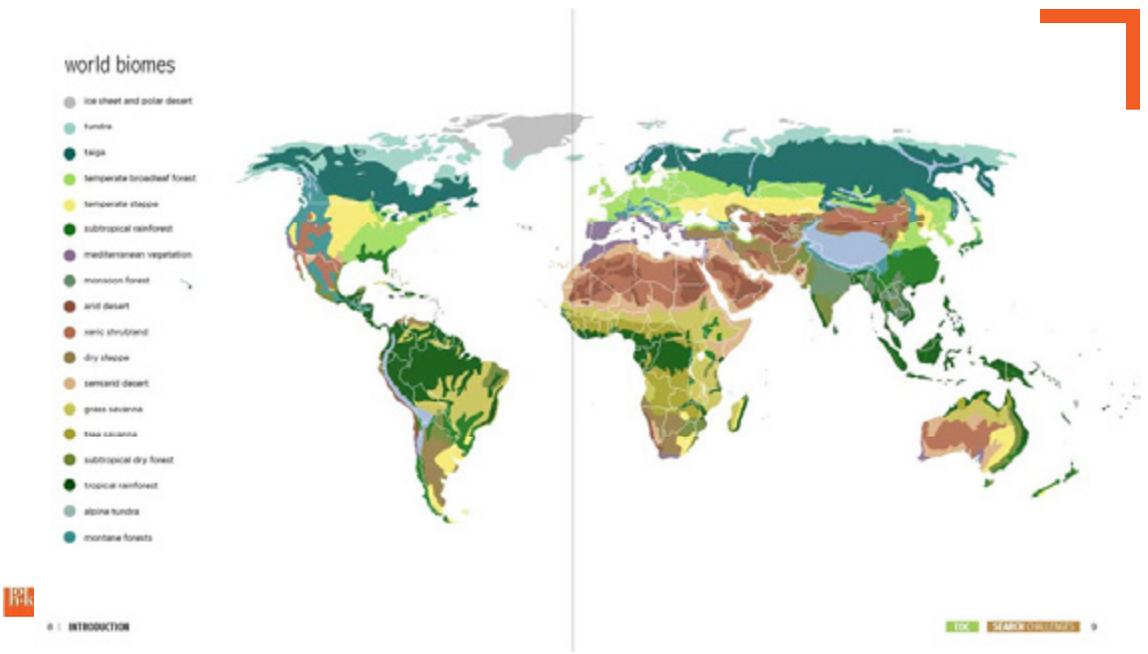
la electricidad se produce en generadores diesel en Puerto Príncipe. Cumplimos con las mejores prácticas y códigos de normas internacionales de construcción. La bioinspiración se manifiesta en el segundo revestimiento variable del edificio, formando una capa aislante para evitar el paso del calor y aprovechar la ventilación natural. Hay una estructura de soporte ramificada de madera, con vista al patio, cuyo diseño se basa en patrones naturales, contemplados por Da Vinci y Fuller, y más recientemente, por la Ley Constructal de Bejan. Admito que nuestra solución no es pura, pero es útil desde un punto de vista funcional y metafórico. ¿Qué mejor lugar para mostrar la filiación materno-filial?

¿Cómo te iniciaste en la biomimesis/diseño bioinspirado?

Antes de entrar a la escuela de arquitectura estaba construyendo modelos de tensegridad con cuerdas y varillas, y dibujando vainas como modelos arquitectónicos, así que supongo que he vuelto al origen.

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

Christine Ortiz de MIT (Massachusetts Institute of Technology) ha creado asombrosas animaciones que exploran el rango de movimiento de los peces acorazados, como el pez espinoso. Sus aplicaciones potenciales son realmente fascinantes.



El “Genio del Bioma” es recurso de diseño y una herramienta de innovación. Coautores Biomimicry 3.8 y HOK.

Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK

¿Cuál es tu obra biomimética favorita?

Siendo egoísta, el proyecto que yo diseñé en Brasil. Después de dos años de trabajo, no se va a construir por razones económicas.

¿Cuál es el libro más reciente que has disfrutado?

Design In Nature de Adrián Bejan.

¿A quién admiras? ¿Por qué...?

A Janine Benyus por inspirar a la gente.

¿Cuál es tu lema o cita favorita?

“El mejor artista no concibe nada que el mármol mismo no contenga dentro de sí.” – Miguel Ángel. Me gusta la idea de las posibilidades ilimitadas.

¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

Que no haya diferencia entre el trabajo y el placer.

Si no fueras arquitecto, ¿quién o qué serías?

Si tuviera que empezar de nuevo sería un científico bioinspirado porque ahí es donde van a suceder las cosas. x



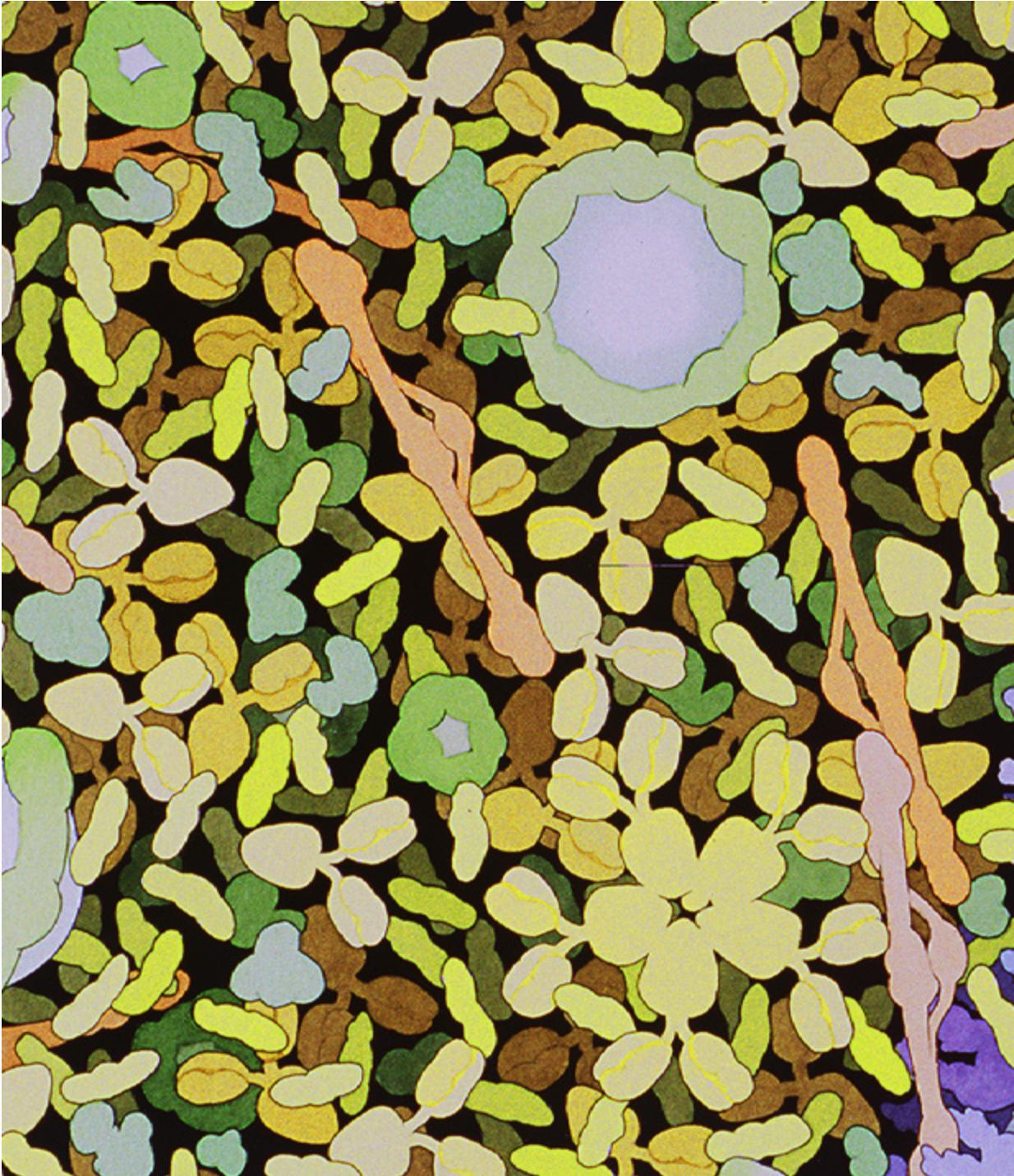
Proyecto Haití (detalle)

Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK



Detalle del patio del Proyecto Haití

Imagen cortesía de Thomas Knittel and HOK



Sangre: Esta ilustración muestra una sección transversal a través de la sangre, con el suero de la sangre de la izquierda y un glóbulo rojo a la derecha. En el suero, observe los anticuerpos en forma de Y, las largas moléculas de fibrinógeno delgadas (en color rojo claro) y muchas pequeñas proteínas de albúmina. Los objetos de gran tamaño con forma de OVNI, son las lipoproteínas de baja densidad y la proteína de seis brazos es el complemento C1. El glóbulo rojo está lleno de hemoglobina, en rojo. La pared celular, en color púrpura, se apoya en la superficie interior por cadenas largas de espectina conectados en uno de sus extremos a un pequeños segmentos de filamentos de actina.



Portafolio
David Goodsell

David S. Goodsell es profesor asociado en el Departamento de Biología Molecular del Scripps Research Institute en La Jolla, California.

¿Cuéntanos sobre tus antecedentes y sobre cómo te iniciaste en el campo de la ilustración?

He dibujado y pintado desde que era niño. Mi abuelo era acuarelista, pintó paisajes hermosos y audaces. Él me inició cuando yo aún estaba en primaria – me compró mi primer juego de pinturas y una paleta que sigo utilizando en cada pintura. Empecé con ilustraciones científicas en la escuela de graduados. Tuve la fortuna de tener a Richard Dickerson como asesor. Él tenía una larga trayectoria combinando arte y ciencia, principalmente en sus colaboraciones con Irving Geis. En su laboratorio pude desarrollar nuevas técnicas para usar diseño por ordenador para visualizar las estructuras de ADN que estábamos resolviendo. Fue una época emocionante, justo cuando surgió el diseño por ordenador y todo mundo estaba tratando de encontrar maneras efectivas de utilizar la nueva tecnología.

¿Qué tipo de técnicas utilizas en tu trabajo? ¿Cuáles son tus herramientas, tanto hardware como software?

Mi estilo actual combina gráficos computarizados y acuarelas pintadas a mano. Para las estructuras moleculares individuales uso un programa que desarrollé como estudiante de postdoctorado con Art Olson, que representa las estructuras moleculares en un estilo de dibujo animado, con contornos y colores brillantes, pero sin muchos de los relieves altamente procesados que a menudo se utilizan en los gráficos por ordenador.

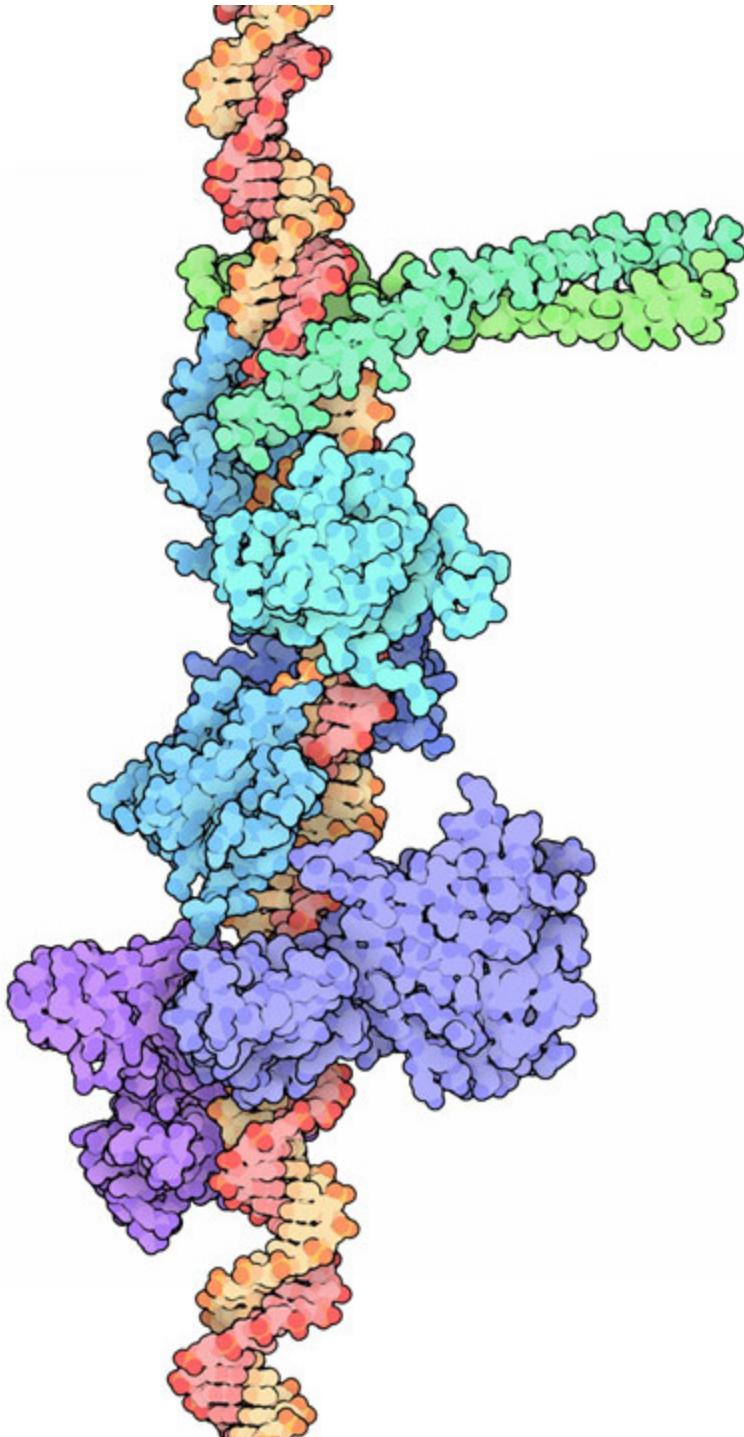
Para escenas más complejas, como los entornos celulares, utilizo acuarelas, para crear una pintura basada en las estructuras atómicas y la mayor cantidad de información biológica que pueda encontrar sobre el tema.

¿Cómo ha cambiado tu estilo/arte desde que empezaste?

¡Bastante! Cuando empecé en la escuela de graduados, me dejaba seducir mucho por las herramientas, usando todo lo que había disponible. Desarrollé todo tipo de enfoques para la síntesis de imágenes de modelos atómicos y datos 3D, utilizando métodos de renderización elaborados (y computacionalmente costosos). Sin embargo, en los últimos 10 años he moderado mi estilo y he tratado de desarrollar un enfoque que sea claro y comprensible, pero también atractivo y más personal.

¿Cómo influye en tu vida tu trabajo como artista y científico? Por ejemplo, ¿sientes que percibes las cosas a tu alrededor de forma diferente?

Soy un fascinado por las ciencias, y por supuesto que no veo el mundo como una persona común. Por ejemplo, cuando veo una flor, inmediatamente trato de clasificarla y analizar su simetría. Y al mismo tiempo, mi artista interior está tratando de decidir cómo la encuadraría en una imagen. Supongo que esto de estar constantemente tratando de desentrañar esas conexiones, le pone mas textura al mundo.



Potenciosoma: Un conjunto de factores de transcripción (azules y verdes) están unidos a un segmento de ADN (rojo y naranja) para formar un potenciosoma que controla la expresión del gen del interferón-beta, una importante proteína para la lucha contra las infecciones virales. Esta ilustración, y las que están en las páginas 64 a 73, han sido tomadas de la serie La Molécula del Mes mes en el Banco de Datos de Proteínas RCSB (<http://www.pdb.org>). La ilustración fue creada usando los archivos 1tzk, 2pio, 2o6g y 2o6i del PDB.

¿Cómo influye tu arte en tu ciencia y viceversa?

Tengo la fortuna de estar haciendo bastante divulgación científica en estos días, con el RCSB Protein Data Bank, con TSRI (The Scripps Research Institute), y con colaboradores de Milwaukee School of Engineering. Gran parte de mi trabajo se centra en torno al uso de imágenes (y textos) para acercar el mundo de la ciencia a estudiantes y legos CHECK!!!. En este trabajo hay un diálogo constante entre el arte y la ciencia. El arte es una forma de hacer accesibles temas científicos complejos. Por otro lado, la ciencia ofrece un conjunto maravillosamente atractivo de fronteras para el arte: mis ilustraciones necesitan ser precisas y fieles a la ciencia.

¿En qué estás trabajando en este momento? ¿Algún proyecto emocionante que nos quieras contar?

Estoy trabajando en una fascinante colaboración con el Center for Biomolecular Modeling en MSOE, financiada por una beca de NSF. Este proyecto reúne a un investigador y a un grupo de estudiantes, y juntos diseñamos materiales educativos para presentar un tema biológico en particular. Yo colaboro con la creación de pinturas sobre los temas. He hecho dos hasta el momento: una de la gemación de vesículas pinocíticas y otra que acabo de terminar sobre la señalización en las células que rodean los vasos sanguíneos. También me encanta mi trabajo con el RCSB PDB. Cada mes aprendo sobre un tema nuevo, y luego creo historias y pinturas acerca del mismo. Poder trabajar en este proyecto es verdaderamente un sueño hecho realidad.

¿Cuáles son algunas (3 a 5) de tus páginas web favoritas y por qué?

Internet ha revolucionado la forma en la que hago mi arte científico, pues me permite hacer mis dibujos cada vez más precisos gracias a la enorme cantidad de datos experimentales que puedo encontrar ahí. A la cabeza de la lista de mis sitios favoritos están el RCSB Protein Data Bank, PubMed, UniPro, y (me da un poco de vergüenza admitirlo) Wikipedia.

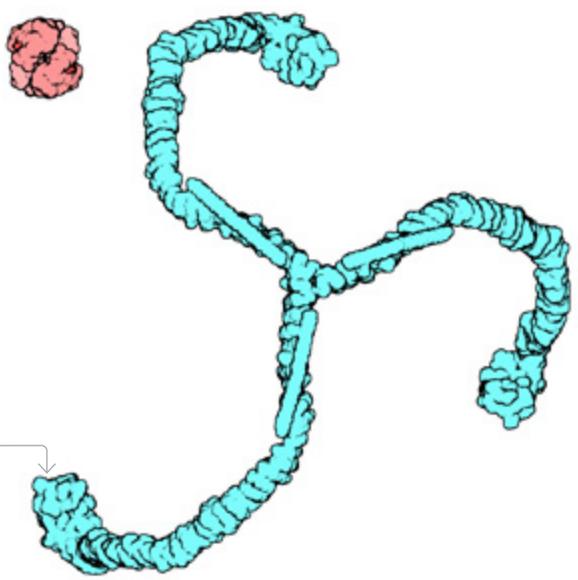
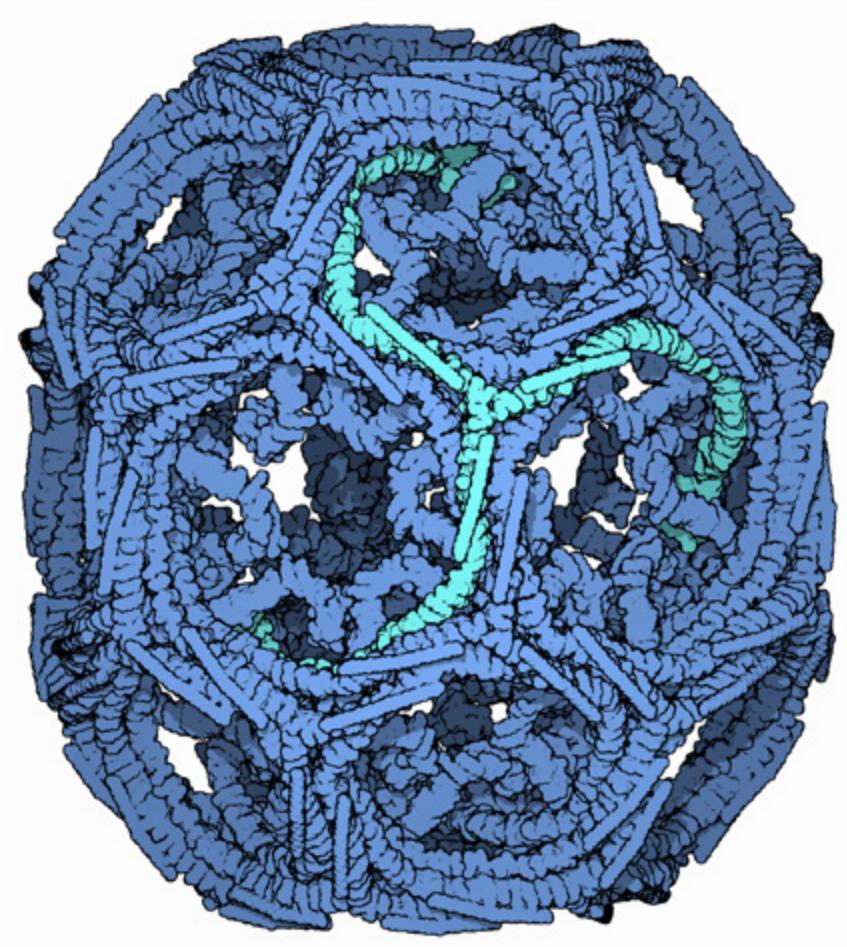
¿Quién o qué te inspira creativamente? ¿Qué te “alimenta” más?

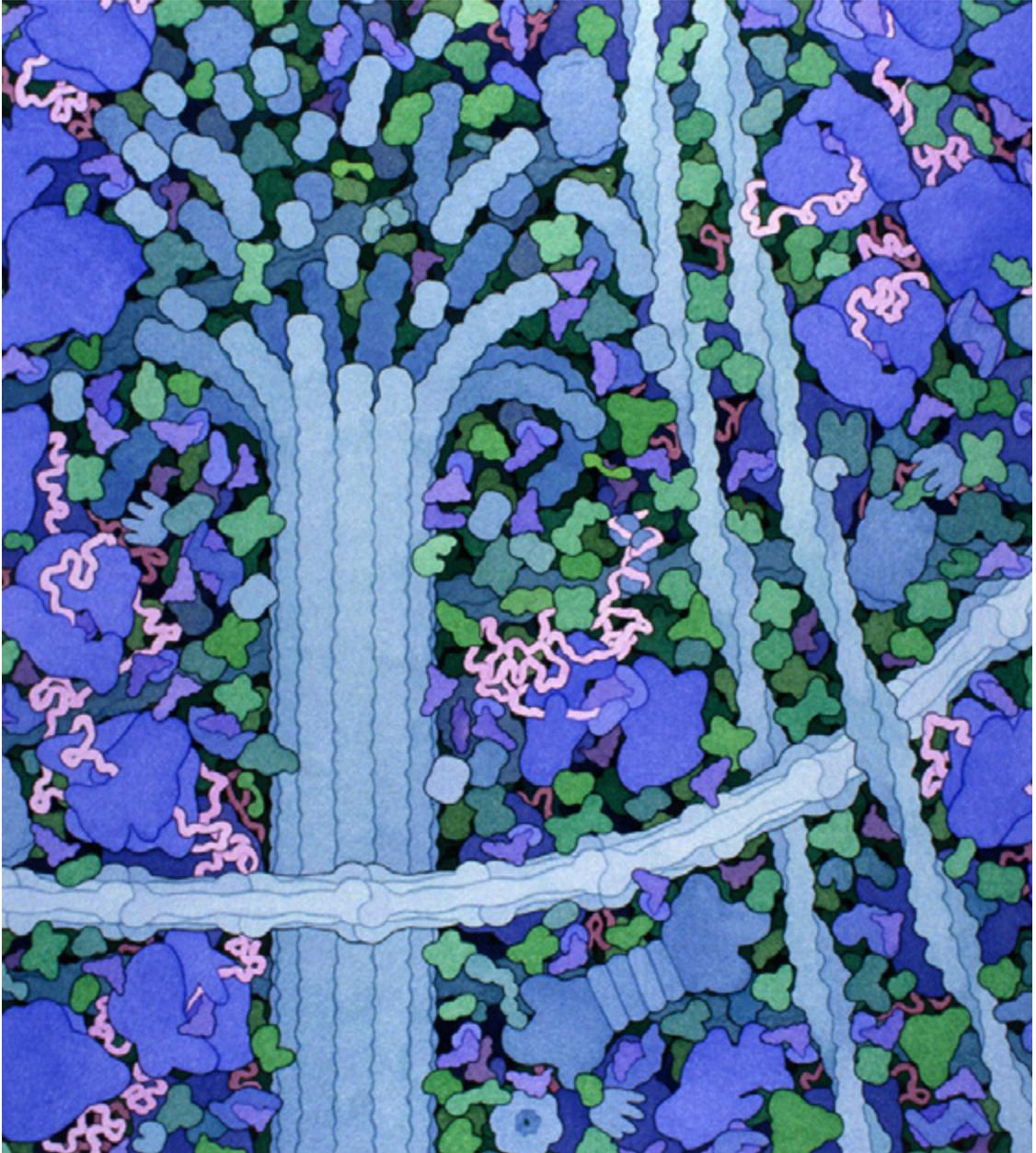
¡Tantas cosas! Algunas de mis actividades favoritas cuando quiero inspirarme son: visitar una galería de arte cuando estoy de visita en otros lugares, salir de la ciudad e irme de excursión. Además hay algunas conferencias que reúnen a artistas y científicos, como la *Visualization in Science and Education Gordon Conference*, la *Image and Meaning* de Felice Frankel, y más recientemente *VizBi*. Todas estas son una forma increíble de conocer personas creativas y compartir ideas.

¿Cuál es tu lema o cita favorita?

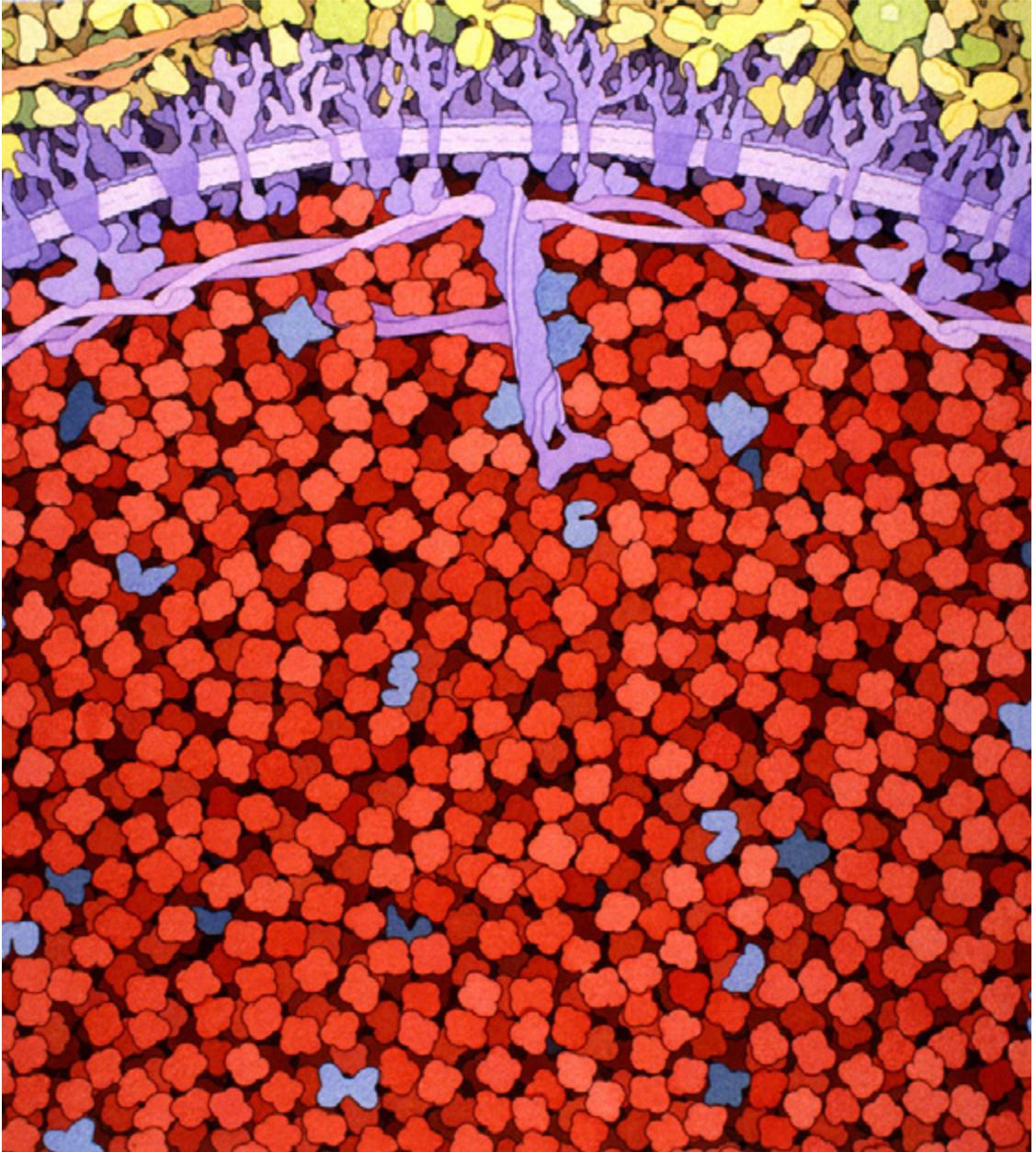
“Lo importante es crear. Ninguna otra cosa importa: la creación lo es todo” – Pablo Picasso ×

Proteínas estructurales | Clatrina: Clatrina es un caso perfecto de diseño donde la forma sigue a la función. Los brazos largos y curvos se entrelazan para formar una estructura en forma de jaula esférica que da forma a las vesículas redondeadas para el tráfico intracelular. Una molécula de hemoglobina (rojo) se muestra para la comparación de tamaño. La ilustración fue creada usando los archivos 1xi4 y 2dhh del PDB.

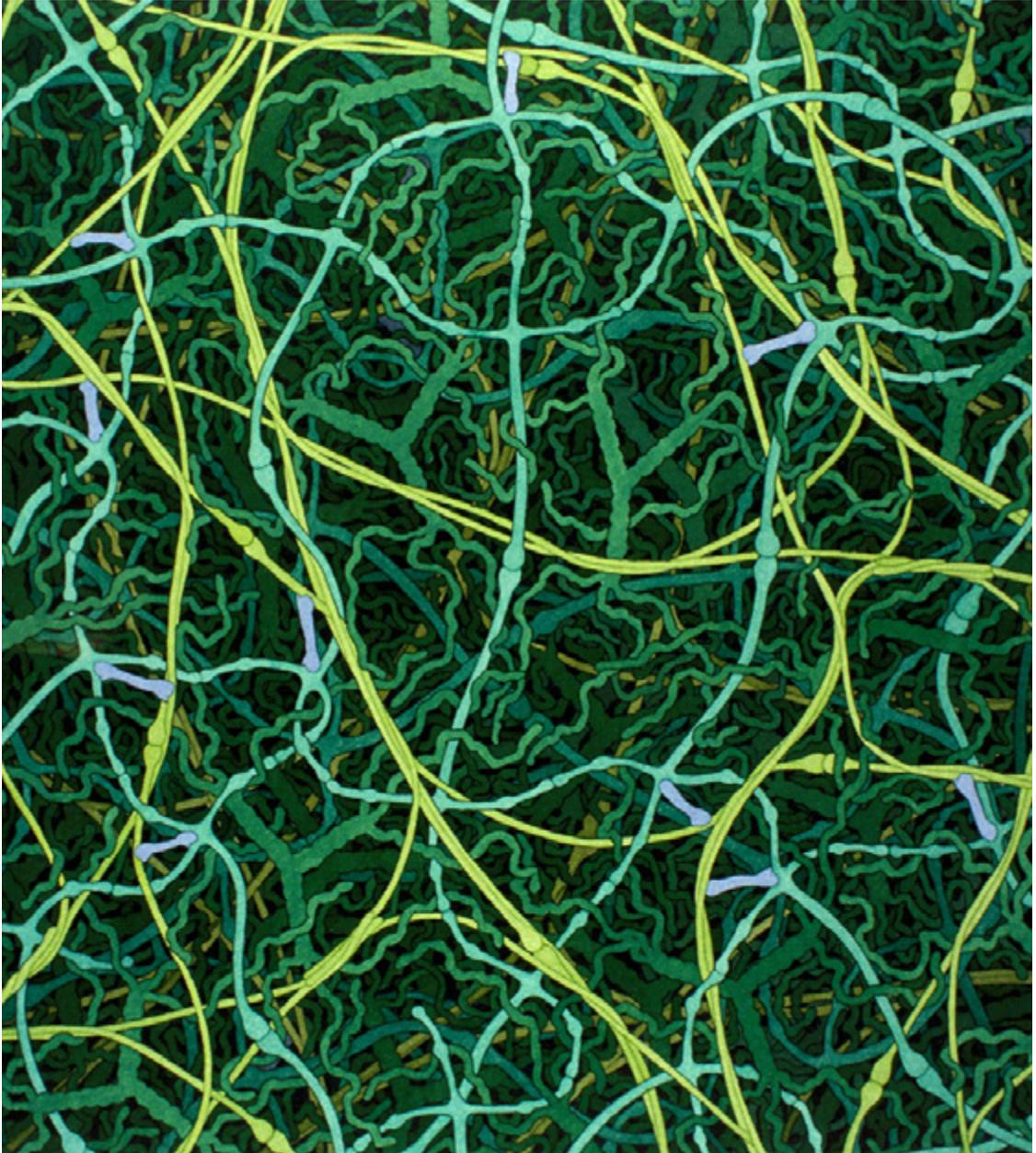




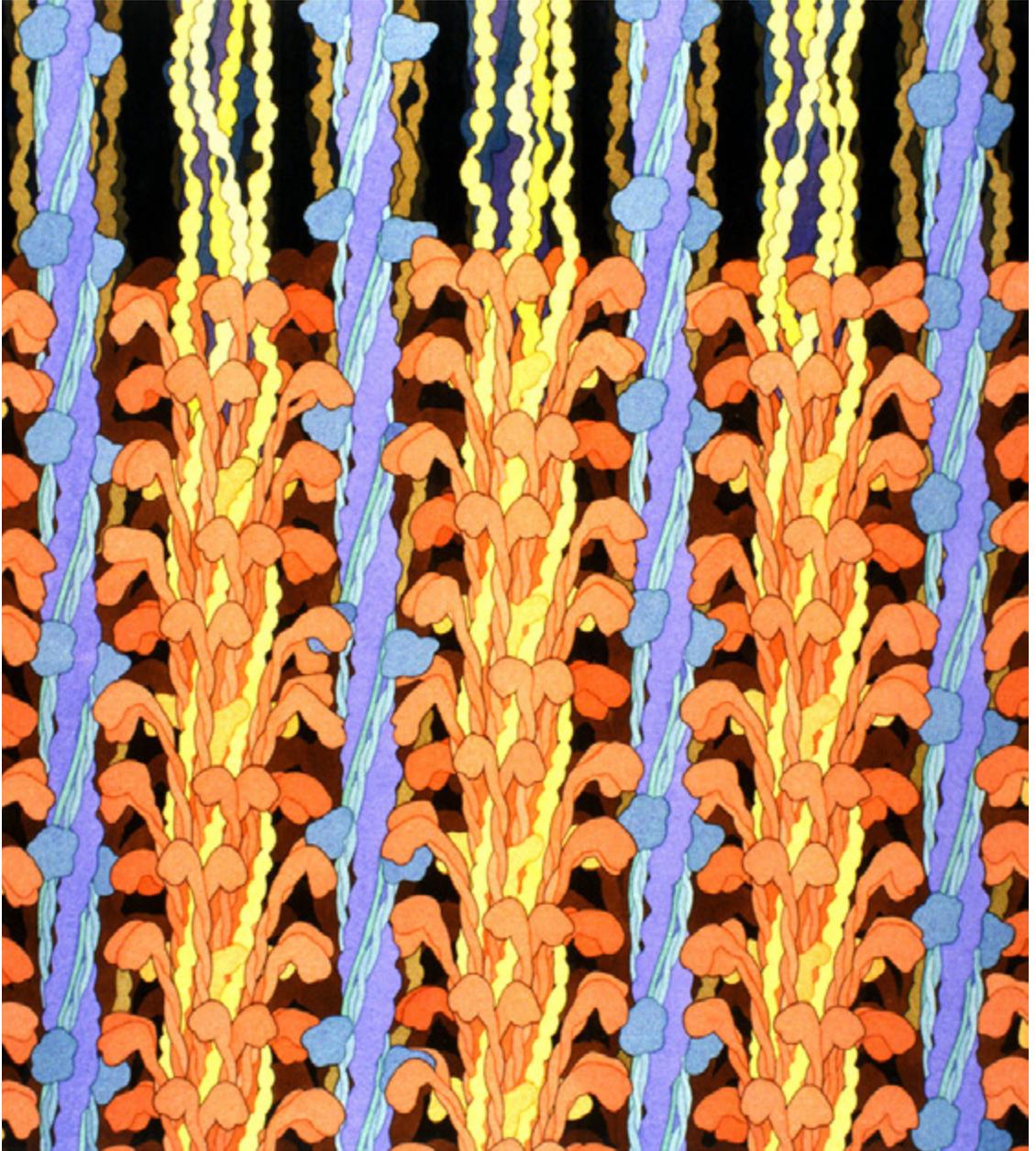
Citoplasma celular: La ilustración muestra una pequeña porción de citoplasma, se puede observar tres tipos diferentes de filamentos que conforman el citoesqueleto: un Microtúbulo (filamento de forma más grande), un filamento intermedio (filamento con forma de nudos) y dos filamentos de Actina (filamentos más pequeños). Las grandes proteína azules son ribosomas, siempre atareadas en su tarea de sintetizar proteínas. La proteína alargada en la parte baja de la imagen es un proteosoma.



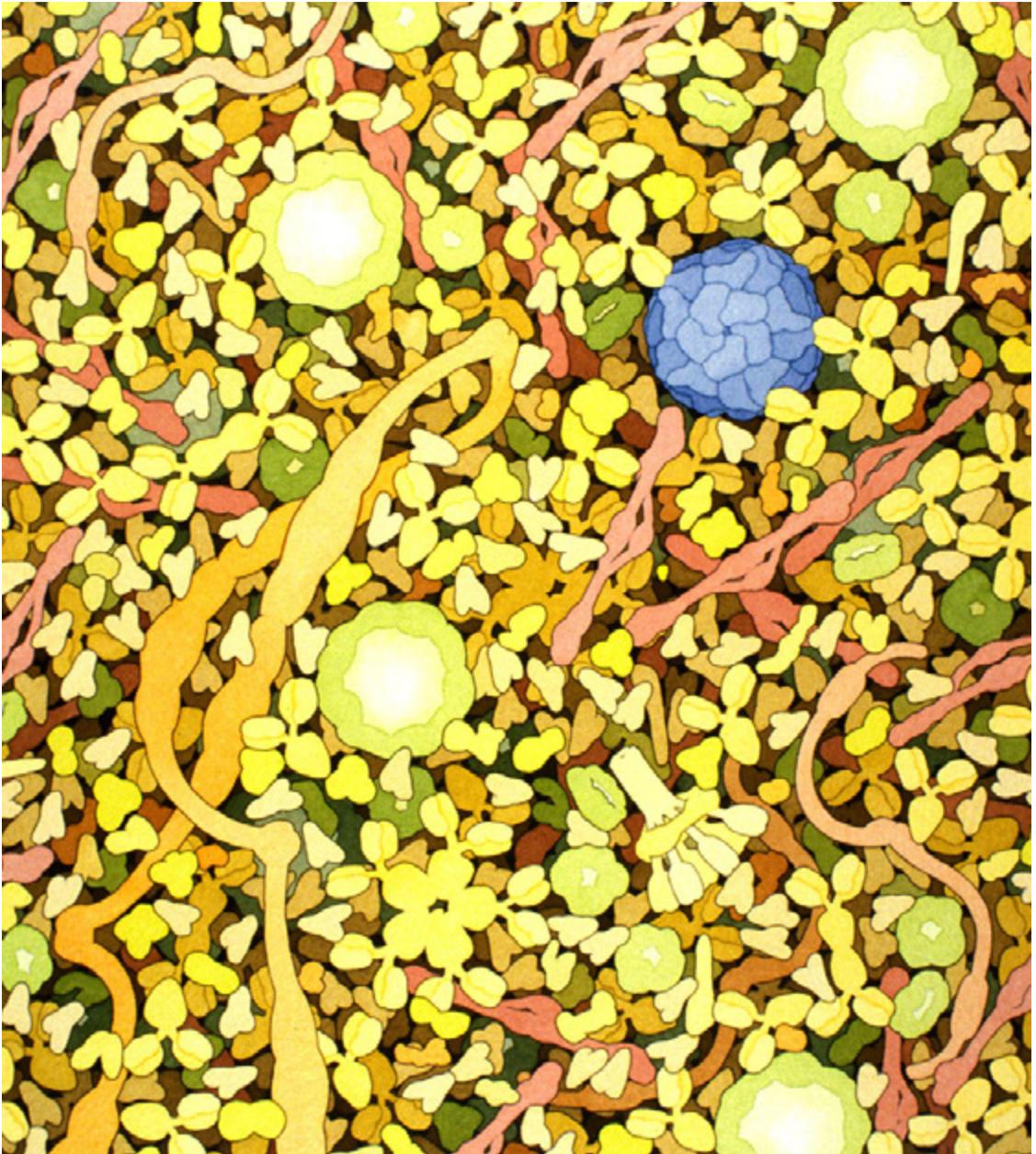
Gobulo rojo sanguíneo: Un fragmento de glóbulo rojo se muestra en la ilustración, con la membrana celular en la parte de arriba y moléculas de hemoglobina (color rojo) en la parte de abajo.



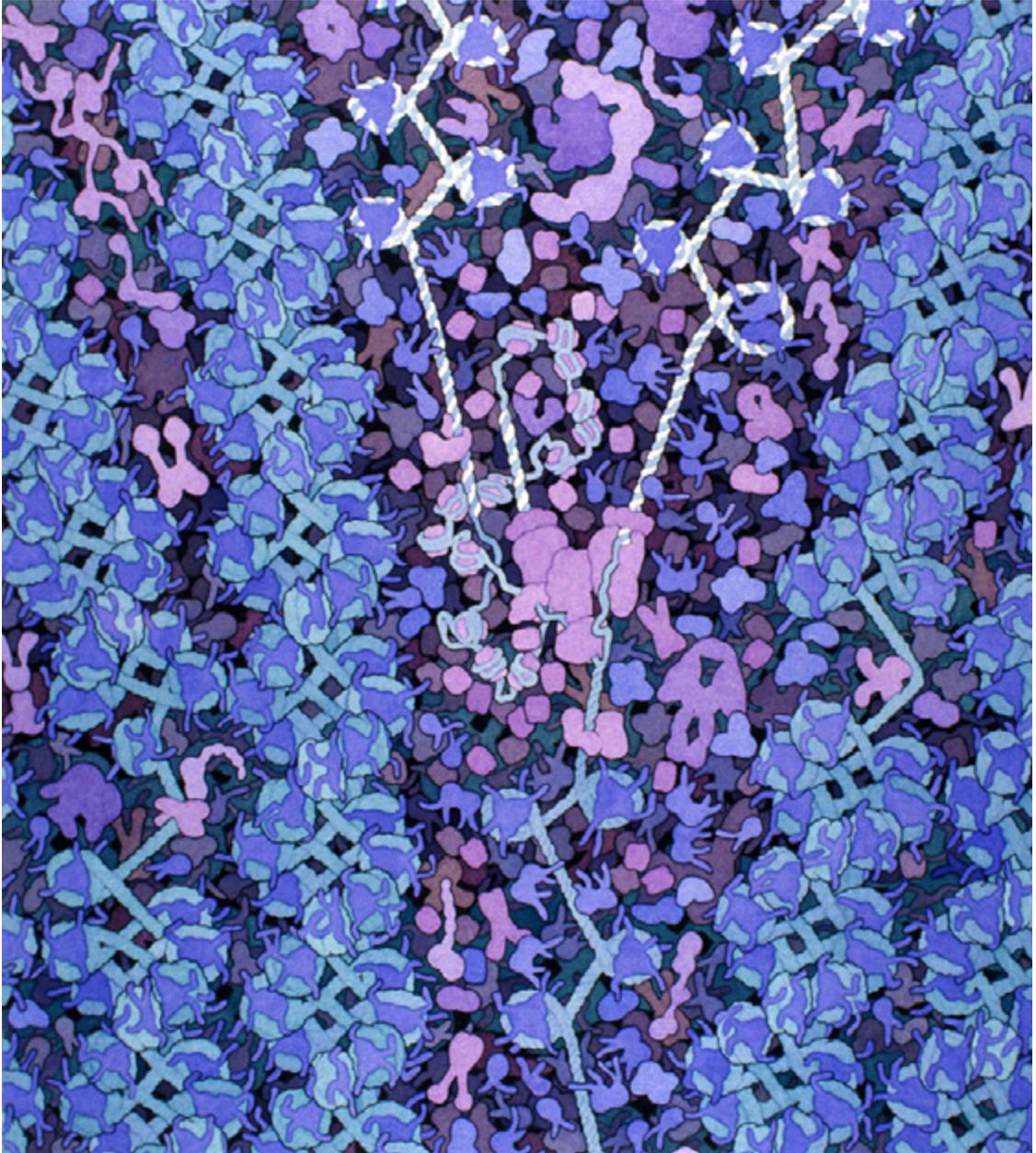
Membrana basal: En esta ilustración se muestra un fragmento de la membrana basal, una estructura que genera el soporte entre los tejidos en tu cuerpo. Esta compuesta de una red de filamentos de colágeno (de color verde-amarillo), laminina (de color verde-azul y en forma de cruce conector) y los proteoglicanos (de color verde y con tres brazos).



Músculo: Parte del sarcomero del músculo es mostrado en esta imagen, con los filamentos de actina en color azul y los filamentos de miosina en rojo. Las largas fibras de color amarillo son las grandes proteínas de titina.



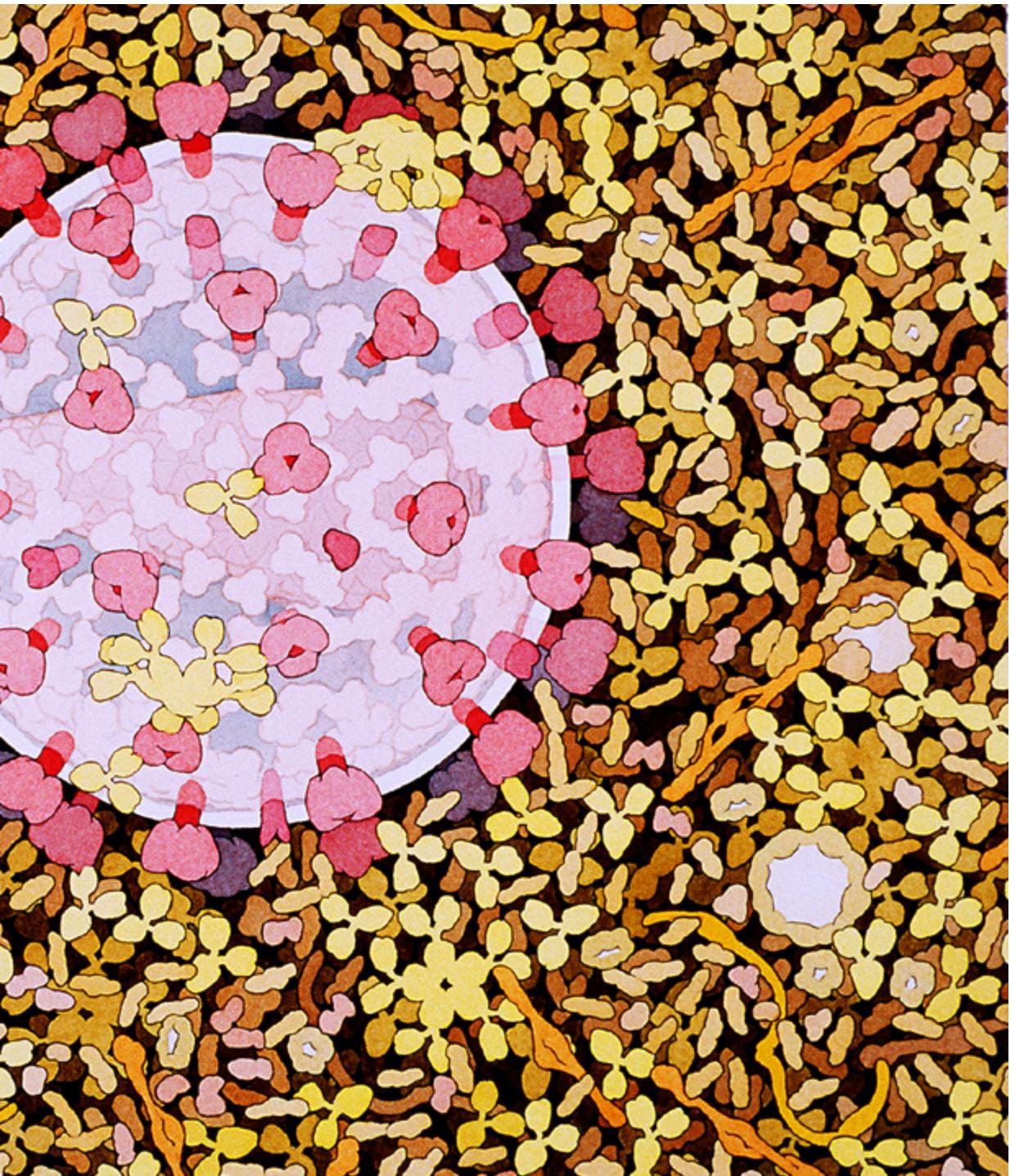
Suero de la sangre: En la imagen se muestra el suero sanguíneo lleno de anticuerpos con forma de Y, lipoproteínas de baja densidad de forma circular y muchas pequeñas moléculas de albúmina. La larga estructura fibrosa en la esquina inferior izquierda es el factor de Von Willebrand y las largas moléculas de color rojo son fibrógenos, ambos están involucrados en la coagulación sanguínea. Los cuerpos de color azul son poliovirus.

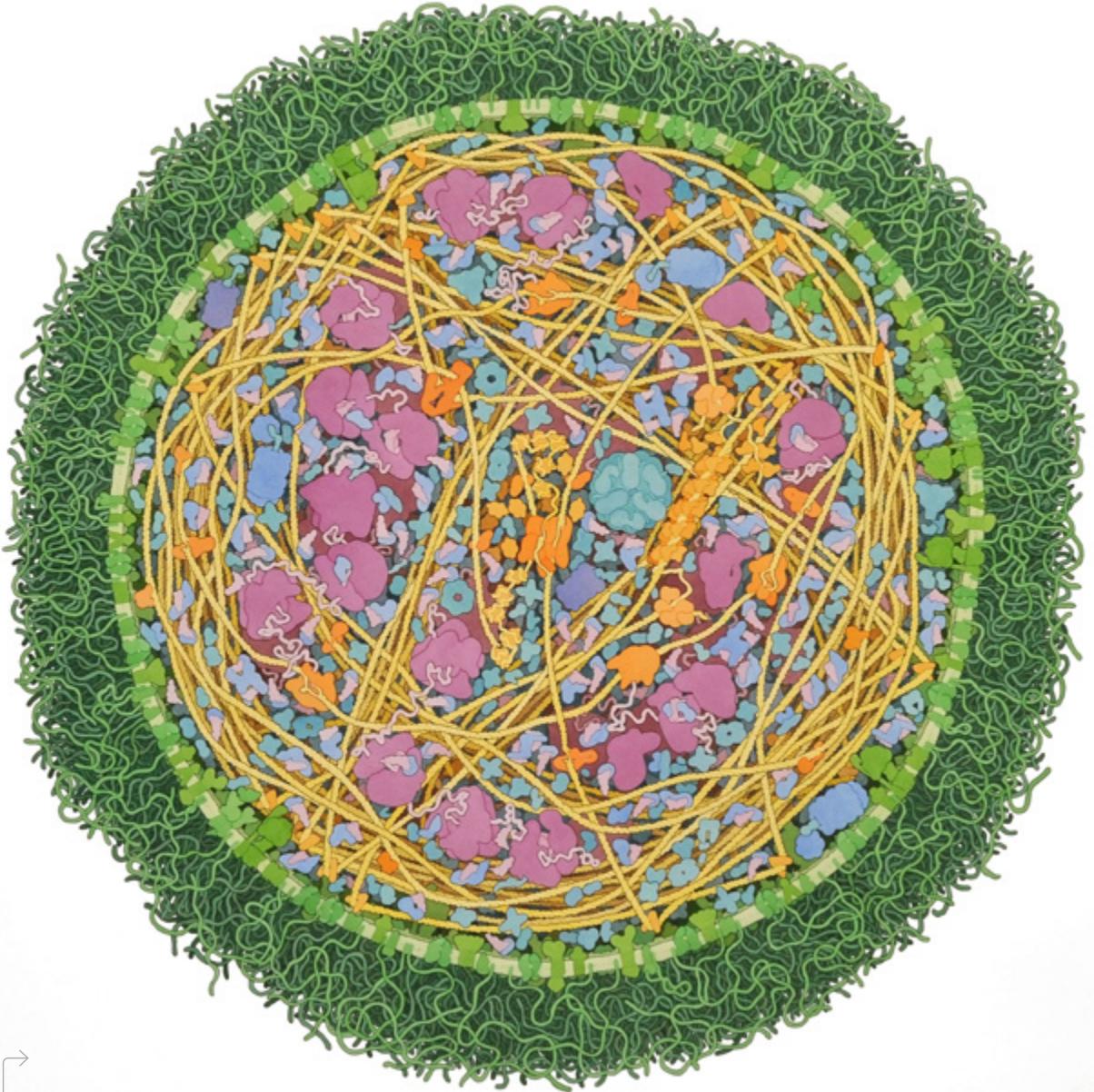


Núcleo: Esta imagen muestra el ADN siendo replicado en el núcleo celular. La ADN polimerasa, de color púrpura, se encuentra en el centro con una hebra de ADN entrando por la parte de abajo y saliendo en forma de dos hebras por la parte de arriba. Las nuevas hebras se muestran en color blanco. Las fibras de cromatina se muestran a cada lado del tenedor de replicación.

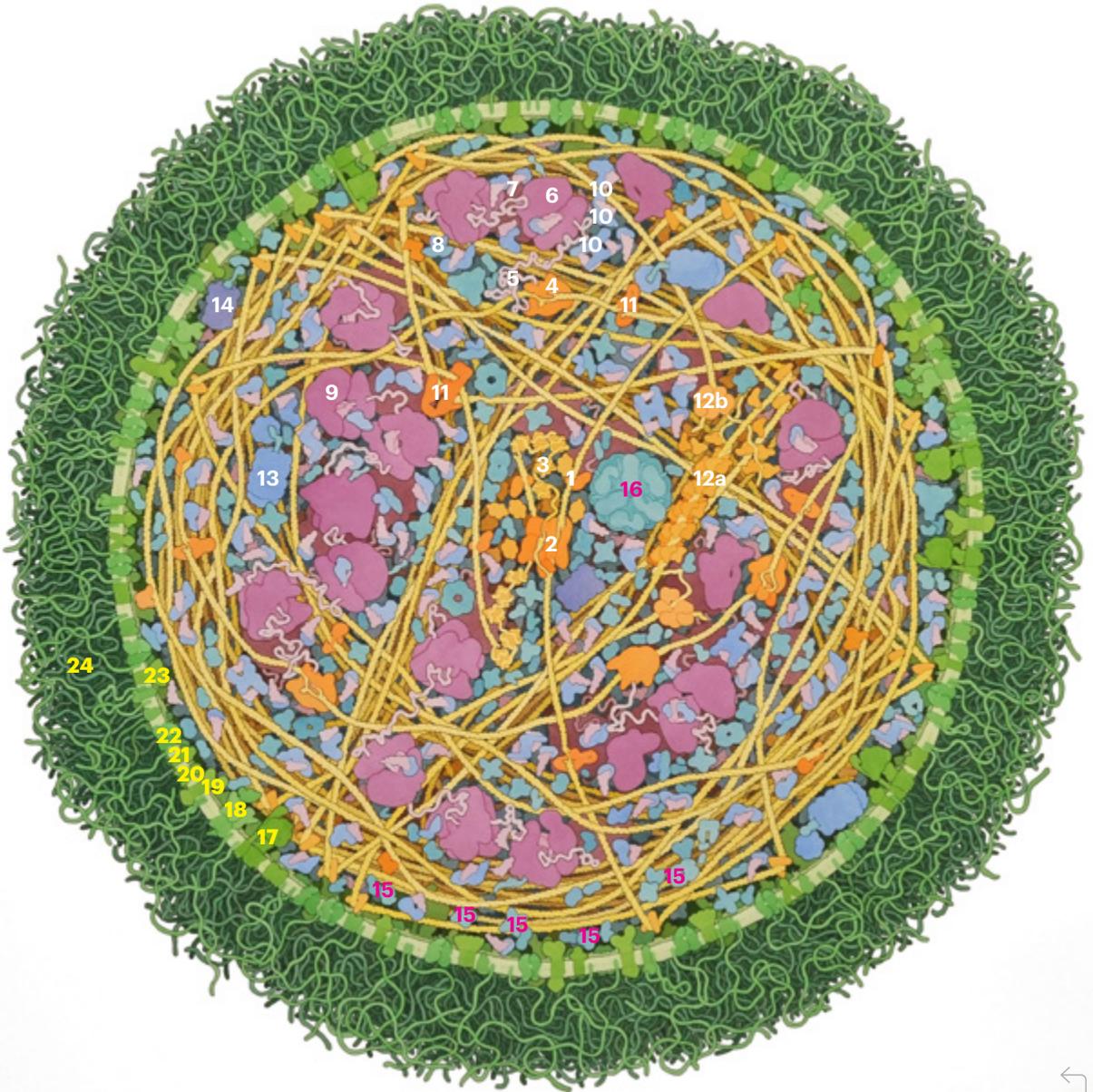


VIH en el suero sanguíneo: En esta ilustración se muestra un Virus de Inmunodeficiencia Humana (el gran objeto esférico en color rojo) bajo el ataque del sistema inmune. Pequeños anticuerpos con forma de “Y” se encuentran adheridos a su superficie.

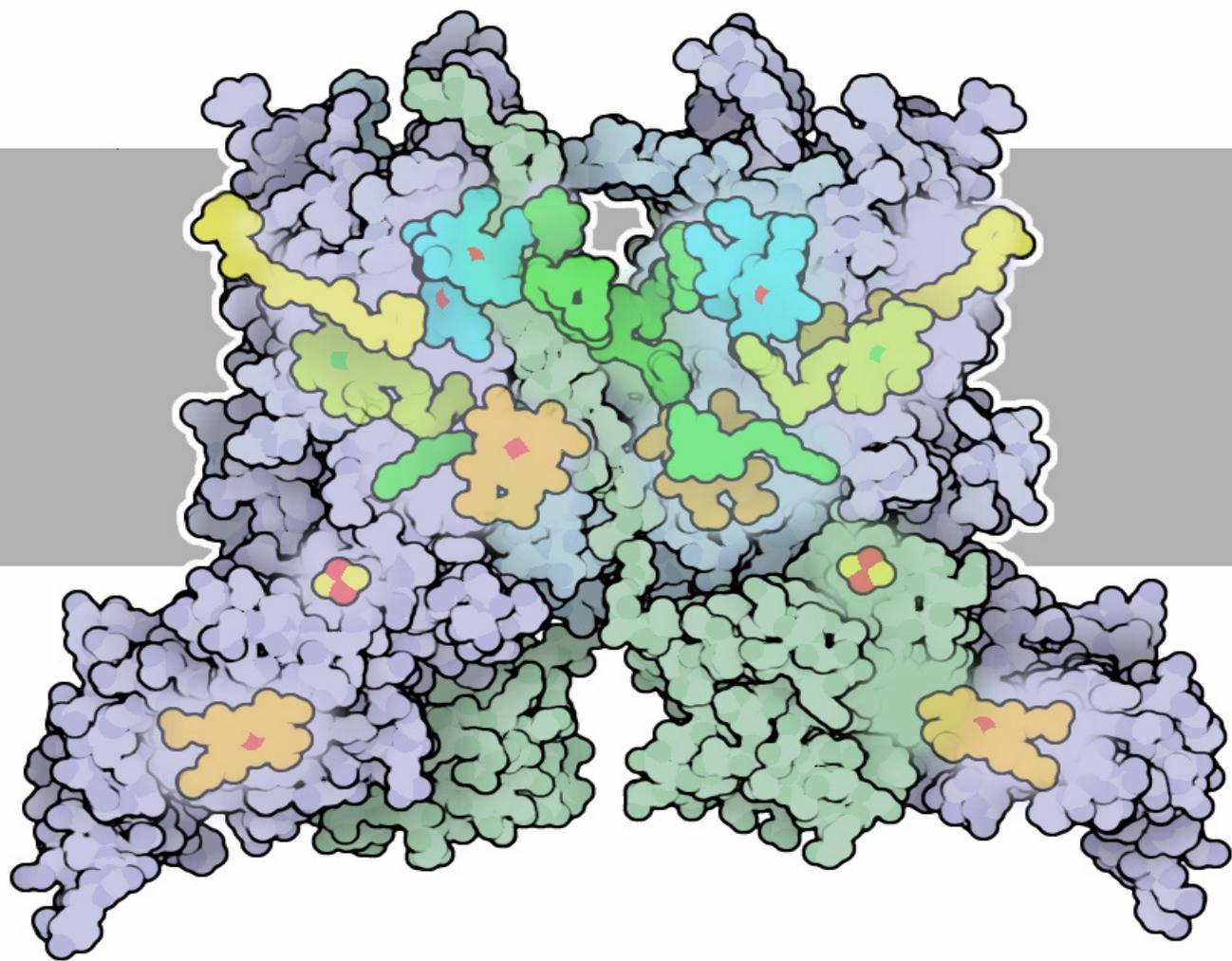


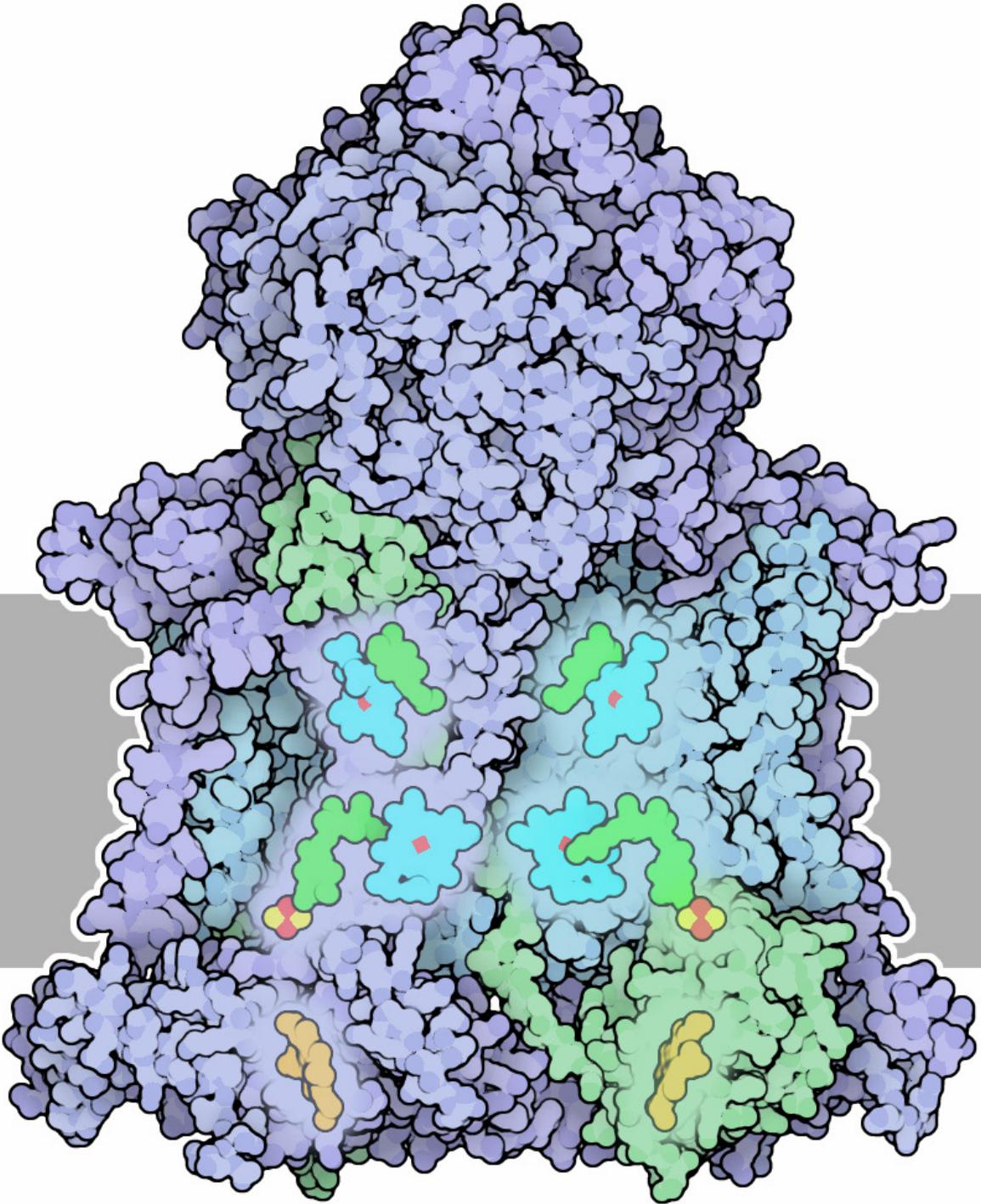


Microplasma mycoides: Los Microplasma son unas de las más sencillas células en la Tierra. Esta ilustración muestra un corte transversal de una célula entera, donde se muestran todas las moléculas al interior. Pequeñas moléculas como las de ATP, glucosa y agua han sido omitidas por claridad en la imagen.

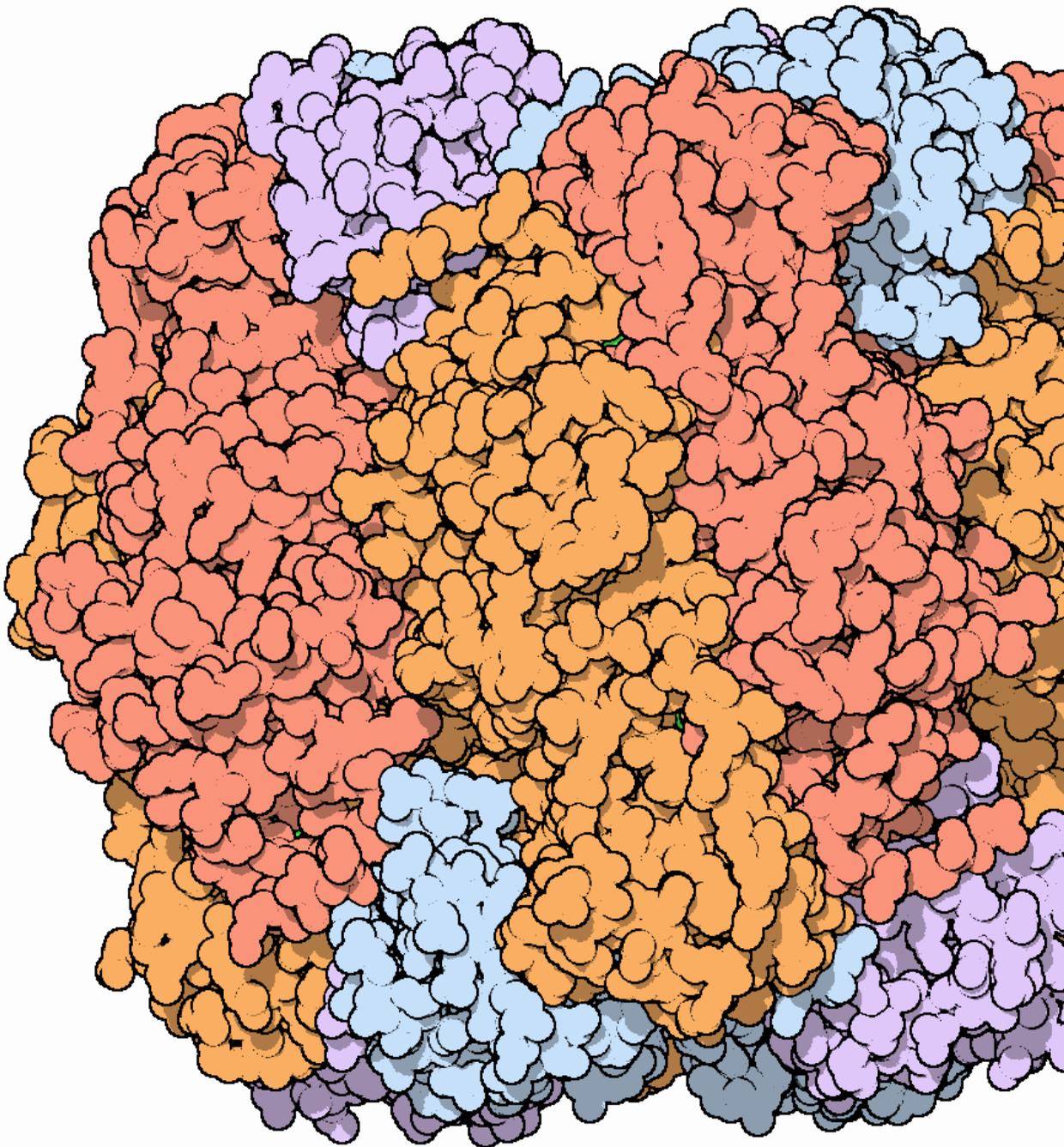


La síntesis de proteínas (etiquetas en blanco): 1. ADN, 2. ADN polimerasa, 3. proteína de unión de ADN monocatenario (protege porciones de una sola hebra durante la replicación), 4. ARN polimerasa, 5. El ARN mensajero, 6. Ribosoma, 7. ARN de transferencia (en rosa) y el factor de elongación Tu (en azul), 8. Factor de elongación Tu y Ts, 9. Factor de Elongación G, 10. Aminoacil-tRNA sintetasas, 11. Las topoisomerases, 12. Sistema Rec para la reparación del ADN: a) RecA, b) RecBC, 13. Chaperonina GroEL (ayuda plegamiento de proteínas nuevas), 14. Proteasoma ClpA (destruye las proteínas viejas) | Enzimas para la producción de energía (etiquetas en fucsia): 15. Enzima glucolíticas, 16. Complejo de la Piruvato deshidrogenasa | proteínas de membrana (etiquetas en amarillo): 17. ATP sintasa, 18. Proteínas secretoras, 19. Bomba de sodio, 20. Transportador de zinc, 21. Transportador de magnesio, 22. Transportador ABC, 23. Transportador de magnesio, 24. Lipoglycan

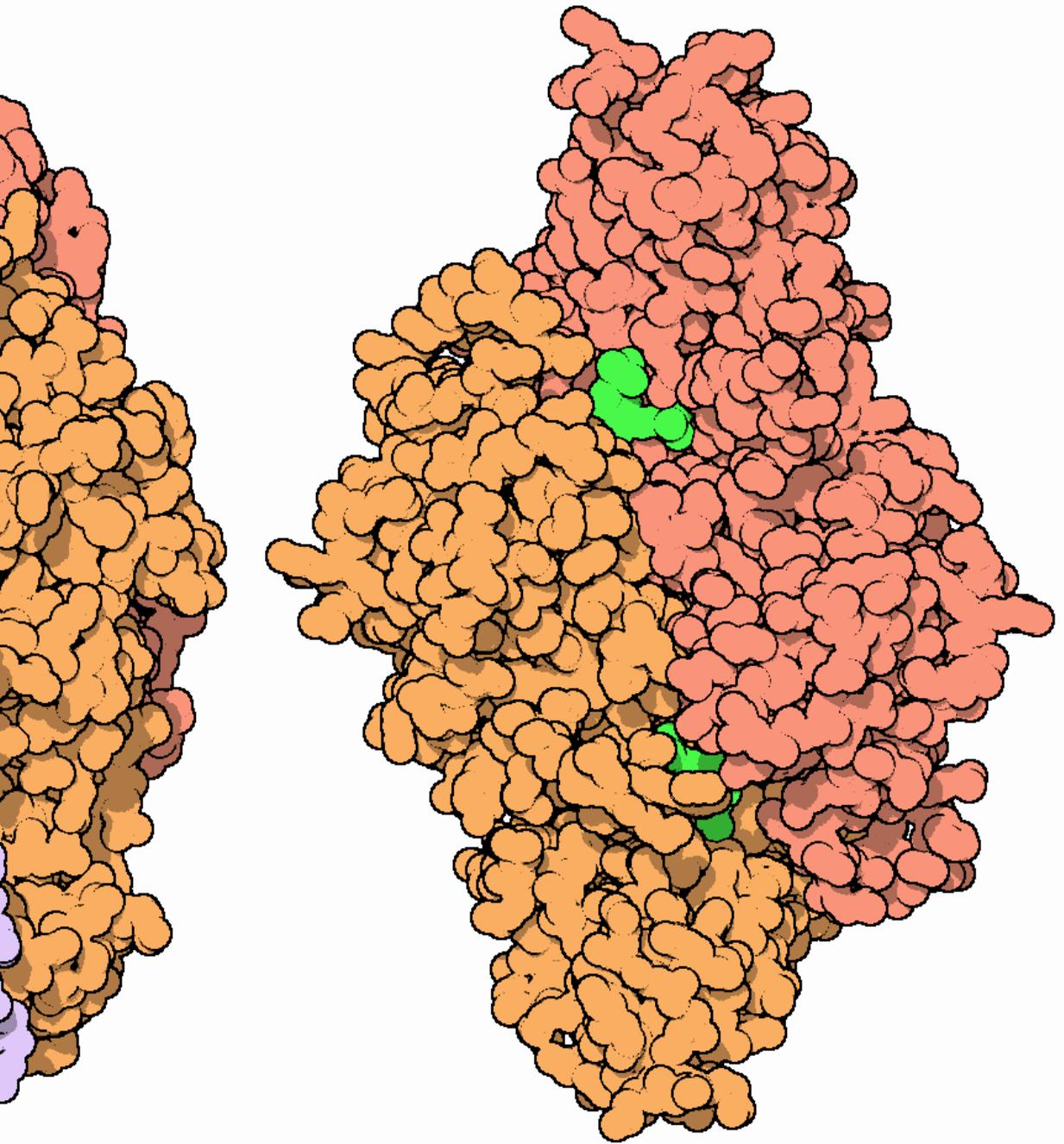


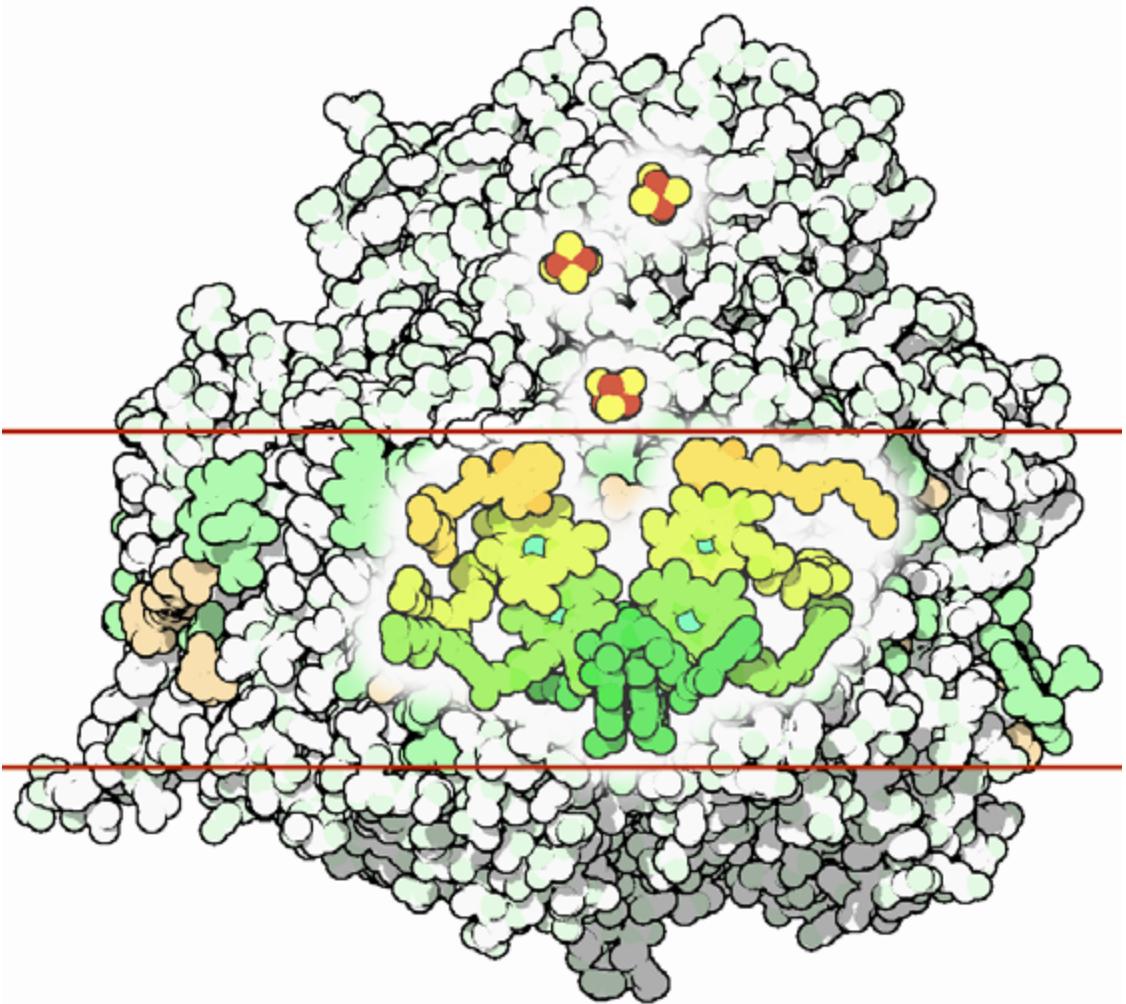


Fotosíntesis | Citocromo bc₁: Proteínas para cadenas de transporte de electrones. Éstas dos proteínas son bombas de protones accionadas por un flujo de electrones. Citocromo b₆f (del lado izquierdo) es accionado por electrones provenientes de la fotosíntesis y el Citocromo bc₁ por electrones provenientes del alimento. La ilustración fue creada utilizando estructuras atómicas provenientes de los archivos 1vf5 y 3h1j del PDB.

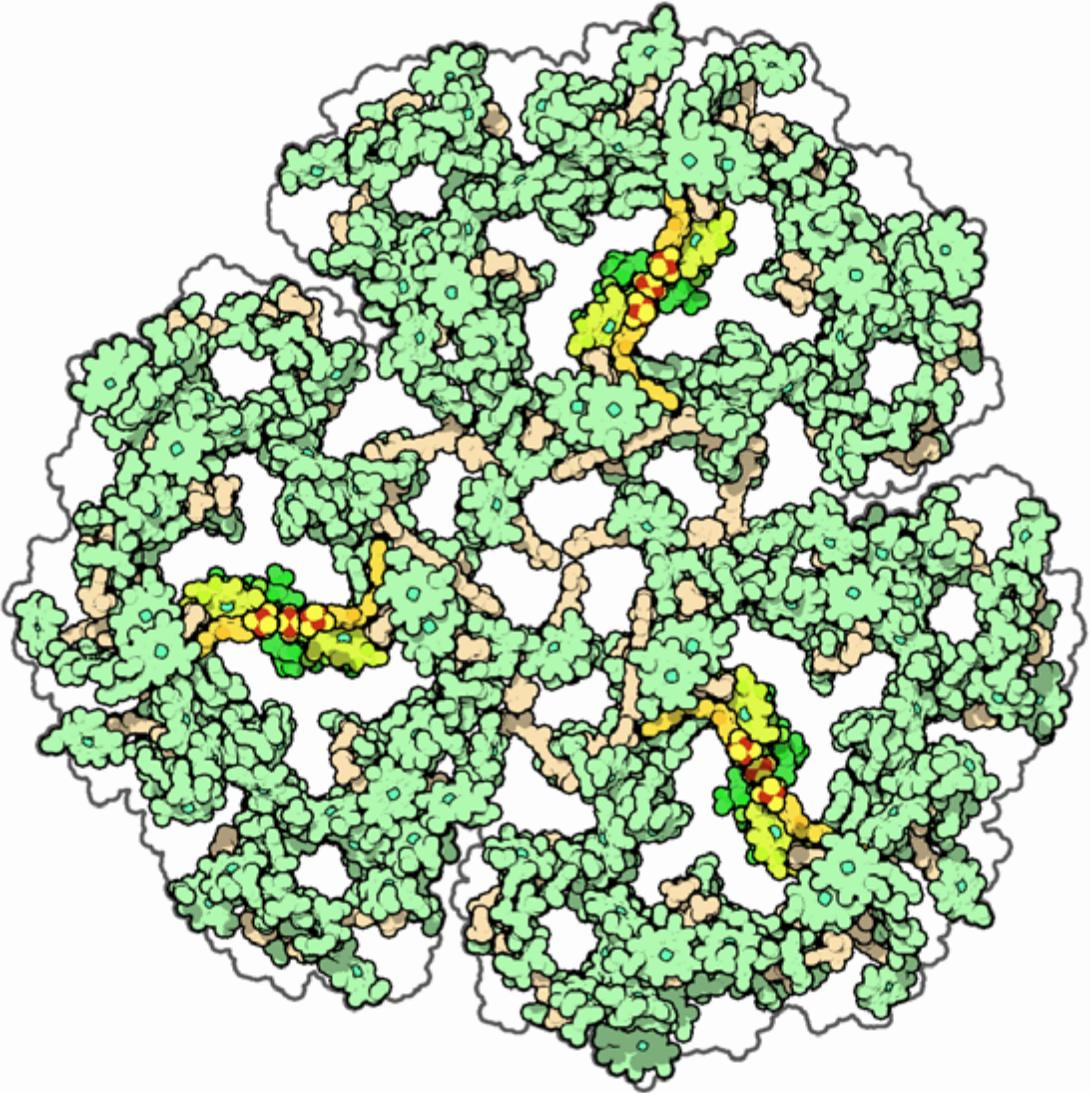


Fotosíntesis | Rubisco: La proteína Rubisco es la más abundante proteína en la Tierra. Ésta proteína actúa en un paso fundamental para la fijación del carbono durante la fotosíntesis. Dos formas son mostradas en esta ilustración, una con forma de hojas de espinaca (izquierda, archivo 1rcx del PDB) y una más pequeña con forma de bacteria (del lado izquierdo, archivo grub del PDB).

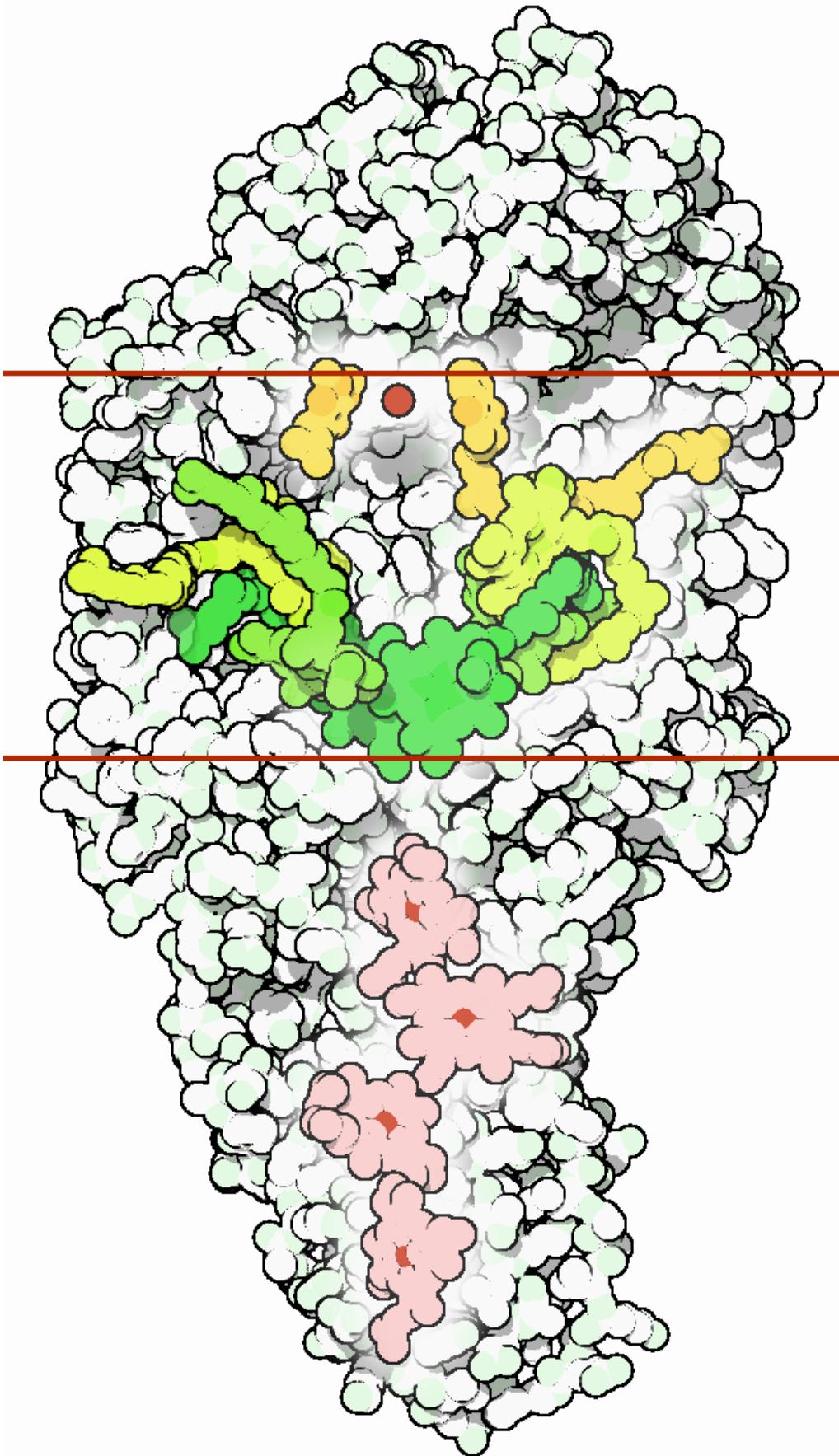


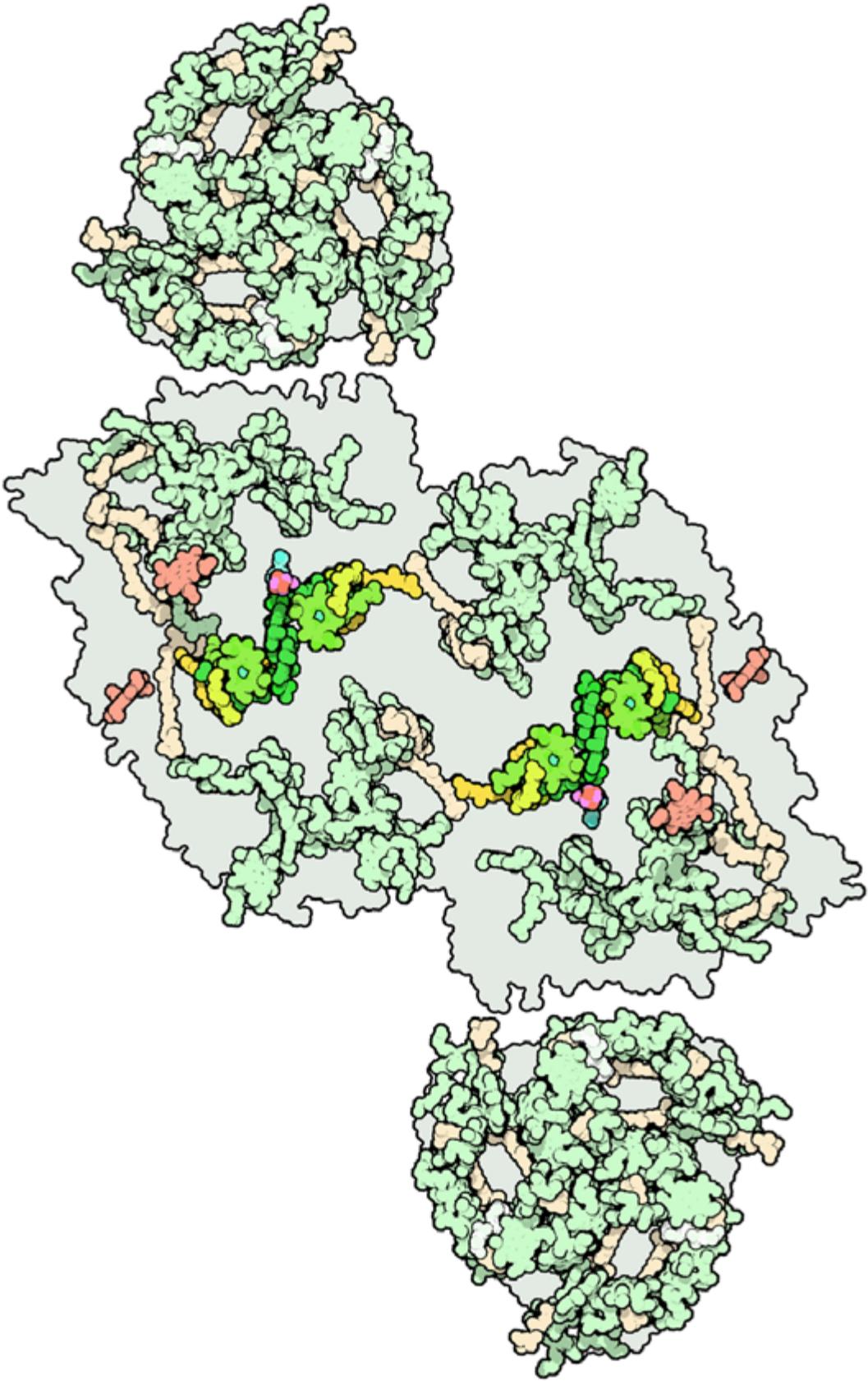


Páginas 80 a 83 | Fotosistemas: Plantas, algas, y otros organismos fotosintéticos capturan la luz solar utilizando los fotosistemas, éstos transforman la energía de la luz en un flujo de electrones. El fotosistema 1 de las plantas se muestra en estas dos páginas, se puede observar muchos factores que colectan la luz y que controlan el flujo de energía. En la siguientes



dos páginas se muestra el fotosistema 2, se puede observar dos proteínas con formas triangulares que “cosechan” luz que ayudan a colectar la luz, y una pequeña reacción fotosintética realizada al centro de una bacteria. La ilustración fue hecha utilizando los archivos 1jbo, 1s5l, 1rwt y 1prc del PDB.







Insecto

Foto: -RobW-, 2009 | Flickr cc

A close-up photograph of a fly's head and antenna, showing the intricate details of its compound eye and the fine hairs on its antenna. The background is a soft, out-of-focus orange and yellow.

Opinión
*Biomimesis: Diez
Suposiciones que
me Cuestiono*
Nikolay Bogatyrev

Nikolay Bogatyrev es experto en la herramienta TRIZ y consultor con más de 20 años de experiencia en Reino Unido y Rusia. Imparte clases sobre la TRIZ en la Universidad de Bath a futuros ingenieros y administradores. Empezó a utilizar la TRIZ cuando estudiaba su doctorado en la Novosibirsk State University y quedó fascinado con el poder de este sistema: en unos cuantos años vendió 28 patentes de equipos nuevos para laboratorios e investigación.

Nikolay tiene un doctorado en Biología, pero se interesa principalmente en un enfoque de ingeniería y en la arquitectura y diseño ecológicamente sólidos. Tiene más de 80 publicaciones que van desde artículos de divulgación en ciencia hasta investigaciones y libros. Al aplicar la herramienta TRIZ a la ecología y agricultura, Nikolay desarrolló un conjunto de reglas para la ecoingeniería y las publicó en el libro *Ecological Engineering of Survival (La Ingeniería Ecológica de la Supervivencia)*. Desde 2002 Nikolay trabaja en la Universidad de Bath (Departamento de Ingeniería Mecánica).

Utiliza la TRIZ en la biomimética como una herramienta para la transferencia sistemática de mecanismos y efectos de la biología a la tecnología.

La naturaleza viva es confiable, adaptable y sostenible. Esto se ha probado a lo largo de miles de años de evolución y en la actualidad esta sabiduría se aplica con éxito en la biomimética, el campo de vanguardia de la ingeniería..

Aunque la biomimética es una rama relativamente joven de la ingeniería, quienes deseen rastrear sus raíces encontrarán muchos intentos, a lo largo del tiempo, de copiar a la naturaleza. Por ejemplo, Leonardo Da Vinci observaba animales y plantas y predijo la posibilidad de

convertir principios biológicos en tecnológicos. Tiempo después, se hizo más énfasis en la necesidad de incrementar la capacidad funcional de los dispositivos de ingeniería. Hoy día, los conceptos de sostenibilidad e ingeniería amigable con el medioambiente también impulsan las ideas biomiméticas, ya que nos enfrentamos con el problema de la destrucción de la biosfera de nuestro planeta.

En años recientes hemos observado el crecimiento en la popularidad de la biomimética. Esto sucede como una respuesta a los angustiosos cambios a los que se enfrenta la sociedad actual: crisis ecológica, cambio climático, y niveles de contaminación que amenazan la salud del medioambiente. Parece que los enfoques de la ingeniería convencional no resultan necesariamente ni tan efectivos ni tan eficientes como esperábamos. Esto es especialmente evidente si consideramos su impacto global en nuestras vidas. Estos problemas han empezado a atraer la atención de gobiernos, medios de comunicación, arquitectos, diseñadores, ingenieros y del público en general. No cabe duda de que los libros de ciencia ficción, el cine, los video juegos y otros medios de comunicación han despertado el interés del público en copiar a la naturaleza, y parece que lo han convertido en moda.

La biomimética toma ideas de los sistemas biológicos y los transfiere a la aplicación tecnológica. Por consiguiente, esta profesión se encuentra en una posición mediadora entre la biología y la tecnología. Claramente existe la necesidad de transferir conocimientos entre estos dos dominios y estas dos culturas. Los ingenieros y científicos que colaboran en proyectos de corte biomimético enfrentan serias diferencias entre sus respectivas metodologías (los científicos des-



Cristales de cafeína

Foto: Annie Cavanagh, Wellcome images, 2012 | Flickr cc

criben y modelan, mientras que los ingenieros prescriben y producen) y culturas (los biólogos estudian la vida, los ingenieros diseñan, construyen y mantienen máquinas).

Históricamente estos dos campos, la biología y la ingeniería, estaban muy distantes uno del otro; sin embargo, en el enfoque de la biomimética se requiere que estas dos perspectivas estén lo más cerca posible la una de la otra. Idealmente, ambas deben estar presentes en la mente de la persona que participa en proyectos de biomimética. No obstante, esto no se logra con facilidad, ya que requiere un gran cambio en nuestro sistema educativo. La educación en el campo de la biomimética no está tan ampliamente difundida como nos gustaría: existen pocos profesores que sean profesionales calificados tanto en la biología como en la ingeniería.

Por lo general los docentes tienden a mantener la conversación dentro de la biología o de la ingeniería. Además, para obtener una educación profunda en el tema (¡no hay que confundir capacitación con educación formal!), en vez del equivalente a una “comida rápida intelectual” considero que se debe invertir el doble de tiempo y el doble de esfuerzo para convertirse en un ingeniero profesional y en un biólogo profesional. Esto no es fácil en el ambiente actual de recortes presupuestarios y menos inscripciones en las universidades. Por esto creo que en proyectos de biomimética destaca la participación de profesionales que son excelentes ingenieros con un nivel básico de conocimiento sobre biología o viceversa, biólogos altamente calificados con un entendimiento superficial de lo que se requiere en el mundo de la ingeniería para hacer un desarrollo tecnológico.

Finalmente, existe una gran parte del público que muestra mucho interés en la biomimética, pero que no cuenta con educación ni en ingeniería ni en biología. Este sector del público cree sinceramente en las promesas de la ciencia ficción, lo cual es comprensible. Las páginas de las publicaciones de ciencia popular están llenas de fotos llamativas, hermosas leyendas urbanas y mitos casi creíbles. Muchos de éstos no tienen nada que ver ni con la ingeniería ni con biología. Sin embargo, muchas personas tienen la esperanza de ver los milagros que ofrece esta original tendencia de la ciencia y la tecnología.

Por todo lo anterior, la biomimética sigue siendo una disciplina meramente empírica. No tiene una metodología científica propia, y por tanto, usa simples métodos de prueba y error e inspiración. A menudo los prototipos vivientes del diseño biomimético se eligen por accidente y con frecuencia sus funciones se malinterpretan. Por lo general, los “modelos” biológicos se encuentran después de que se ha desarrollado el dispositivo y la idea de diseño biomimético se usa principalmente para propósitos de mercadotecnia y publicidad. Esto, en mi opinión, no es una mala práctica, siempre y cuando no se confunda con ciencia e ingeniería. Con frecuencia el resultado es que la analogía entre sistemas bio y techno es superficial, trivial y no ayuda a resolver el reto de la innovación tecnológica. Muy a menudo se debe a la falta de educación en biología.

Así pues, veamos algunos de estos supuestos populares que comúnmente se consideran como el fundamento de la investigación y desarrollo biomiméticos. Analicemos si son lo suficientemente sólidos para desempeñar el papel de guías científicas o metodológicas para el diseño biomimético.



Pétalo de rosa

Foto: Annie Cavanagh, Wellcome images, 2012 | Flickr cc

1. La biomimética se refiere a emular e imitar a la naturaleza.

Podríamos alegar sobre cómo copiar y qué imitar, pero no tendría sentido porque copiar algo directa y exactamente es inútil, costoso, ineficiente y posiblemente peligroso. Y aquí explico por qué pienso así.

Una copia es siempre peor que el original. Teniendo un objeto original, ¿por qué necesitaríamos una copia, si por definición las copias siempre son peores?

En realidad no necesitamos la copia completa. Si es que vamos a producir un diente artificial a través de la biomimética, ¿acaso necesitamos también las caries y el dolor?

La vida es polifuncional y está adaptada para realizar todas las funciones, no sólo la que necesitamos copiar. No necesitamos que nuestras aspiradoras defiendan su territorio o migren cada invierno a climas más cálidos.

2. La vida siempre es perfecta. Otro supuesto popular: la naturaleza siempre es sabia.

No siempre y no en todas partes. Qué tal las millones de especies que se han extinguido a lo largo de la historia de nuestro planeta y aquellas que están desapareciendo ahora. Algunas de ellas estaban condenadas por su morfología, otras debido a peculiaridades de comportamiento, y otras tantas debido a razones fisiológicas. Si consideras las imperfecciones del cuerpo humano te darás cuenta de que los arquetipos naturales no son tan comunes. Por tanto, la frase ¡Nadie es perfecto! es idónea. Creo que la razón del origen y desarrollo de la tecnología en sí (herramientas, transporte, agricultura, medicina, etc.) es

la necesidad de compensar la deficiencia de nuestra personificación de la naturaleza viva. Por cierto, la tecnología no es una característica única de los humanos; muchos animales también compensan sus debilidades al construir nidos, madrigueras, refugios, o al acumular alimentos para ellos mismos o para sus crías y al usar varios objetos como herramientas para satisfacer sus necesidades diarias.

3. La naturaleza viva usa únicamente la energía que necesita.

La mayoría de los organismos, sin embargo, acumulan y depositan cantidades excesivas de alimento y/o sustancias estructurales. A menudo los roedores no pueden consumir toda la comida acumulada en sus reservas de granos. Las ardillas esconden sus alimentos (nueces, semillas, piñas, etc.) y a menudo olvidan estos lugares con la comida escondida. La apicultura sería imposible si las abejas acumularan únicamente la cantidad exacta de miel requerida para sus propias necesidades. Si consideramos el nivel de ecosistema de los sistemas vivos, podemos citar como ejemplo un estanque que gradualmente se va llenando de sedimentos por el exceso de materia orgánica que no puede ser procesada por los organismos que lo habitan.

4. La naturaleza viva recicla todo.

Si esto fuera cierto, ¿por qué vemos excesos tan enormes que ya no pueden ser procesados, consumidos o digeridos y tienen que ser depositados como carbón, turba, petróleo, o piedra caliza? Uno puede argumentar que al final esos depósitos también van a ser reciclados, pero sucederá en la escala de tiempo y mecanismos geológicos (no biológicos),



Hoja de lavanda

Foto: Annie Cavanagh, Wellcome images, 2012 | Flickr cc

mientras que nosotros estamos considerando los sistemas vivos y la escala de tiempo correspondientes a la vida humana – decenas y cientos de años, no millones o miles de millones.

5. La naturaleza viva premia la cooperación.

Ruego al lector que recuerde la competencia, parasitismo, canibalismo, comensalismo y amensalismo que existen de la mano con el mutualismo (simbiosis) y que inclusive pueden transitar con facilidad de una relación a otra. Por ejemplo, el líquen es la simbiosis de un hongo y un alga. Cuando las condiciones ambientales se deterioran, el hongo digiere al alga, cambiando así de una relación de mutualismo a una de canibalismo.

6. La vida depende de la diversidad.

Los ecosistemas del norte, al igual que algunos ecosistemas de pastizales, tienen un nivel muy bajo de diversidad. En África vemos una gran diversidad de especies de antílopes de la sabana, pero en un ambiente similar de la pradera de Norte América esa misma función herbívora la desempeña una sola especie, el bisonte.

Mientras que los prototipos vivos son extremadamente complejos, normalmente necesitamos mínima complejidad, simplicidad y confiabilidad máxima, facilidad de operación y predictibilidad. No es fácil garantizar tales características al copiar un prototipo biológico.

7. La naturaleza funciona con la energía del sol o luz solar.

Aunque esto es esencialmente indiscutible, yo agregaría que las quimiobacterias viven de la energía de sustancias químicas que están en la profundidad del suelo o del océano. Entonces los sistemas biomiméticos parecen utilizar cualquier tipo de energía o cualquier oportunidad de extraer energía de cualquier fuente o proceso disponible.

8. La biomimética nos dará sostenibilidad.

Esto no es necesariamente cierto, en mi opinión. Un árbol natural es sostenible dentro del contexto del ecosistema del bosque. Si producimos madera artificial imitando la estructura de las fibras naturales y su disposición espacial y ese material está hecho de fibras de carbón y resina epóxica, tendríamos el producto biomimético perfecto, pero el proceso de manufactura y el reciclaje al final de su vida útil serían todo, menos sostenibles.

9. La naturaleza viva amolda la forma a la función.

Creo que esto a veces es verdad, pero no de manera universal. Muy a menudo la misma función la desempeñan formas suficientemente diferentes. Recuerda las formas de los nadadores veloces, ballenas y delfines: logran el mismo efecto con formas radicalmente diferentes en la parte anterior de los animales. Existen otros casos que pueden ser aún más difíciles de probar: las hienas hembras paren a sus crías a través de una estructura única, una vía extremadamente angosta que pasa a través del clítoris. Éste es un ejemplo asombroso de la total descoordinación de tamaños, formas y funciones.

10. La naturaleza viva optimiza en vez de maximizar.

Yo creo que esto depende del tipo de sistema biológico. El número de elefantes bebés siempre es uno y el número de huevos que produce un pez puede alcanzar cantidades de seis dígitos. El número de espermatozoides, de granos de polen y semillas, el tamaño de los colmillos de un mamut, la masa de un dinosaurio, también parecen estar más allá de lo óptimo. Así que aparentemente la naturaleza viva hace de todo: optimizar, minimizar y maximizar de acuerdo a las circunstancias y a los medios disponibles.

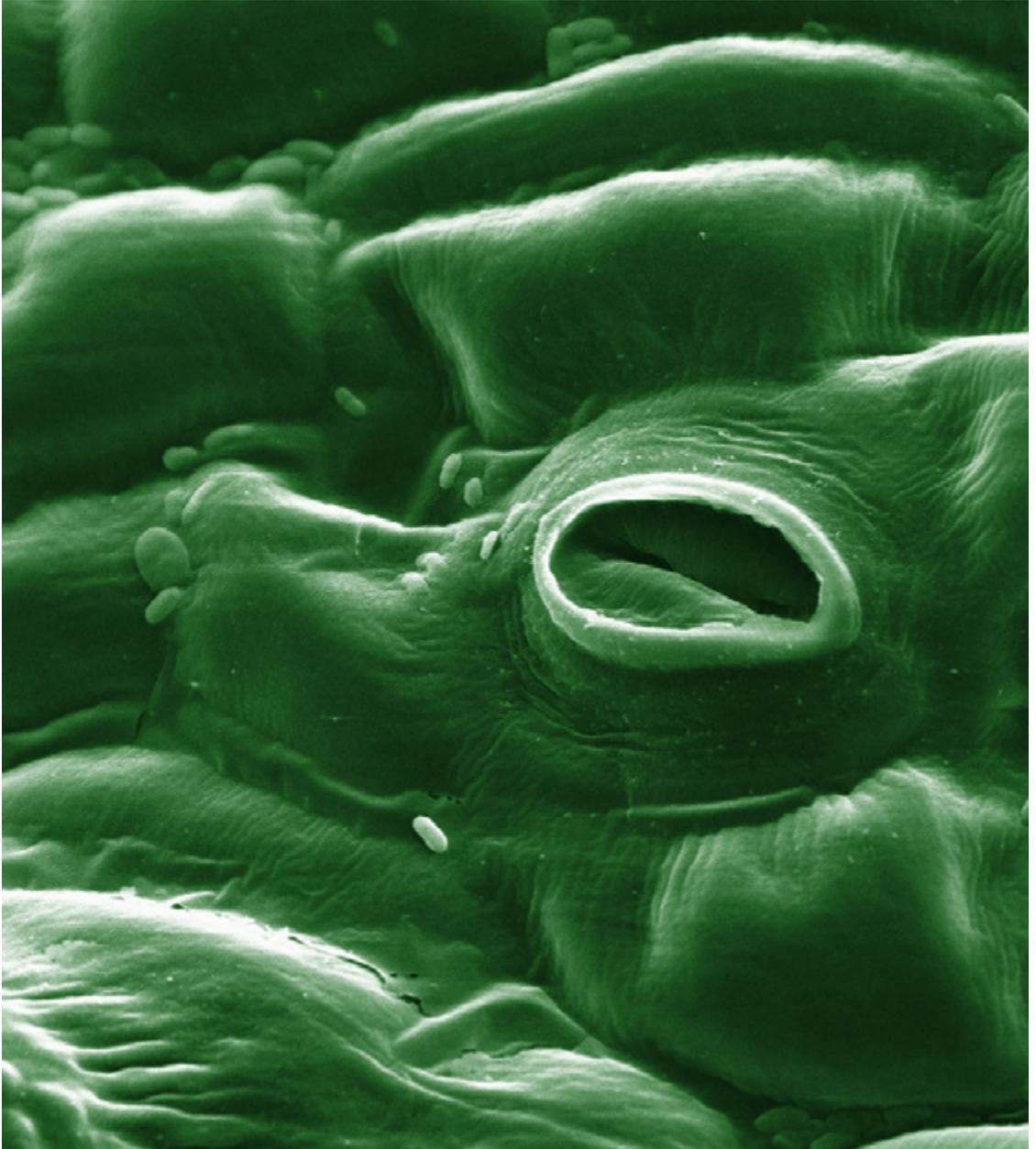
Quiero ser claro: Estoy completamente convencido de que todos los principios previamente mencionados existen en la naturaleza, pero al mismo tiempo lo contrario también es cierto y común en la vida. Estos principios representan tan solo una minúscula faceta de las diversas estrategias que la Vida como fenómeno posee.

Existe una característica principal de la naturaleza viva que se ha omitido en esta lista: La vida puede poseer características total y radicalmente diferentes. Puede ser efectiva e ineficiente, grande y pequeña, inteligente y atontada, rápida y lenta, adaptable y conservadora. El biólogo de profesión podría fácilmente completar el espacio que une a estos dos extremos con un amplio rango de ejemplos intermedios. De hecho, sería una lista muy larga. Esta asombrosa capacidad multiestratégica de la Vida como fenómeno es la característica que le ha permitido sobrevivir durante miles de millones de años a pesar de los cambios y catástrofes en la historia de nuestro planeta. x



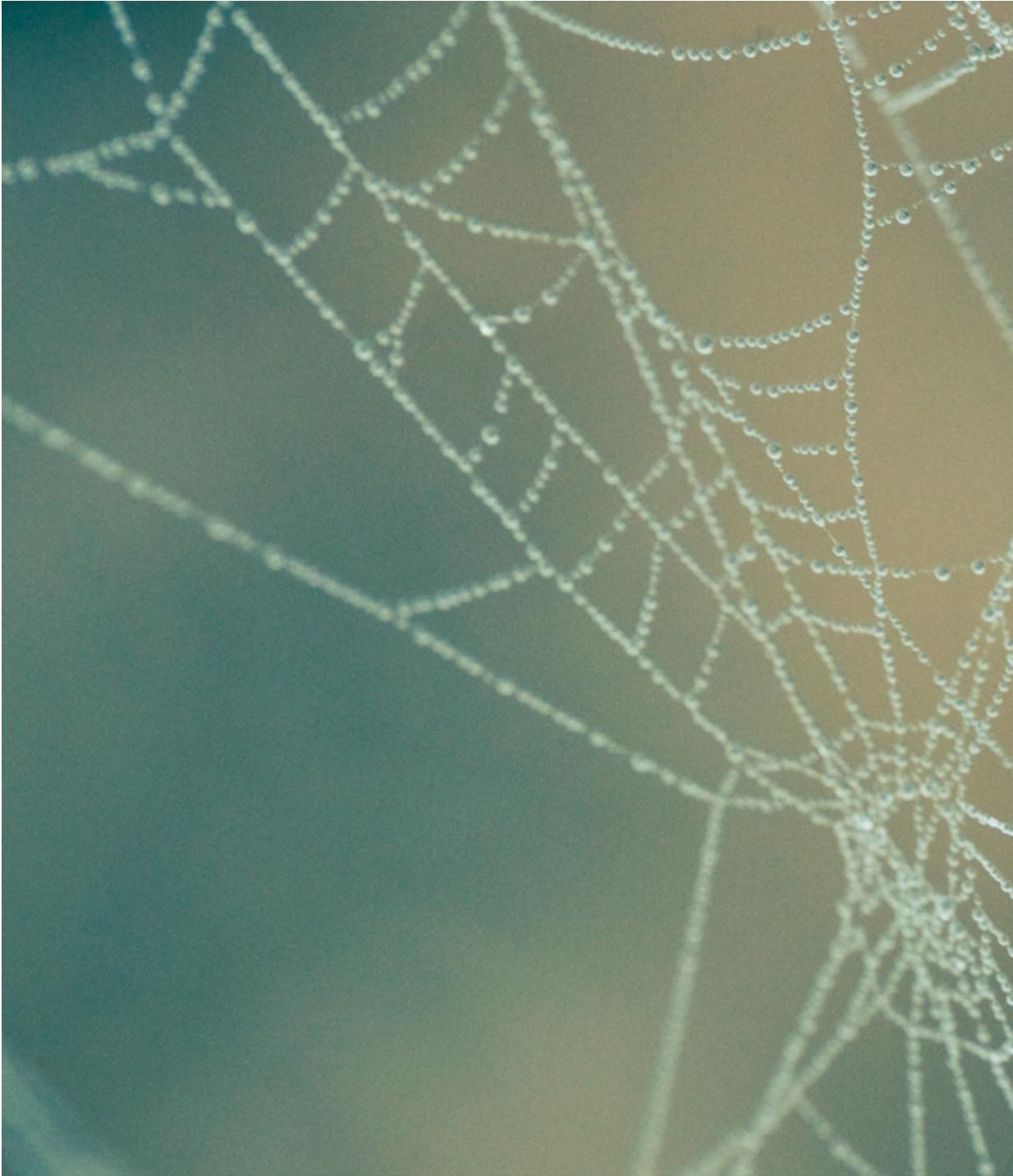
Matricaria Estoma

Foto: Annie Cavanagh, Wellcome images, 2012 | Flickr cc



Hoja de tomate estoma

Foto: Photohound, 2007 | Wikimedia Commons



Del álbum: Square Nature

Foto: m4tik, 2011 | Flickr cc



Herramientas
*El Diccionario
de Sinónimos*
Ingeniería-Biología
Jacquelyn Nagel

¿Cuál es tu herramienta?

Jacquelyn: El Diccionario de Sinónimos Ingeniería-Biología (E2B) es una herramienta de diseño que facilita el trabajo que se realiza en varios campos profesionales a la vez, y permite a los ingenieros sin conocimientos avanzados de biología aprovechar el ingenio de la naturaleza para sus diseños [1,2]. Los términos biológicos en el diccionario se correlacionan con el campo de la ingeniería emparejándolos con una función semejante o con un término fluido de Base Funcional, un léxico de modelaje ingenieril. Los términos biológicos se mapean en un léxico de modelaje ingenieril que enmarca la información biológica en un contexto familiar para los ingenieros.

¿Por qué es necesaria tu herramienta?

Jacquelyn: Aunque muchas soluciones inspiradas en la biología son innovadoras y útiles, la mayor parte de la inspiración que proviene de la naturaleza ha sucedido por observaciones al azar, mediante el estudio dedicado de una entidad biológica como gecko, o consultando a un biólogo. Esto pone en evidencia un problema fundamental a la hora de trabajar en la intersección de los campos de la ingeniería y de la biología. Entre los retos a los que los ingenieros pueden enfrentarse cuando ejecutan la biomimesis están:

- Diferencias de terminología
- Entendimiento del funcionamiento u operación de un sistema biológico
- Descubrimiento de soluciones biológicas relevantes

- Abstracción de principios/soluciones biológicas como fuente de inspiración

El esfuerzo y tiempo requerido para convertirse en un ingeniero diseñador competente deja poca oportunidad para aprender sobre los sistemas biológicos (y a la inversa también). Mi intención es quitar el elemento del azar, reducir la cantidad de tiempo y esfuerzo requerido para desarrollar soluciones biológicamente inspiradas, y cerrar la enorme brecha que parece haber entre los campos de la ingeniería y de la biología. Espero lograrlo a través del desarrollo de herramientas de diseño. Una herramienta específica que pretende abordar estos retos es el Diccionario de Sinónimos Ingeniería -Biología (E2B) [1,2], gráficamente representado en la Figura 1.

Las tres metas clave del Diccionario E2B son (1) aligerar la carga cuando se trabaja con conocimiento del campo de la biología ofreciendo un vínculo entre la terminología de la ingeniería y de la biología; (2) apoyar a los diseñadores para establecer conexiones entre los dos campos y (3) facilitar el diseño bioinspirado a lo largo de muchos pasos en el proceso de diseño de ingeniería.

¿Para quién es tu herramienta?

Jacquelyn: El Diccionario E2B es específicamente para ingenieros que desean diseñar usando información y principios del campo de la biología, pero creo que también puede ser útil para otros diseñadores.

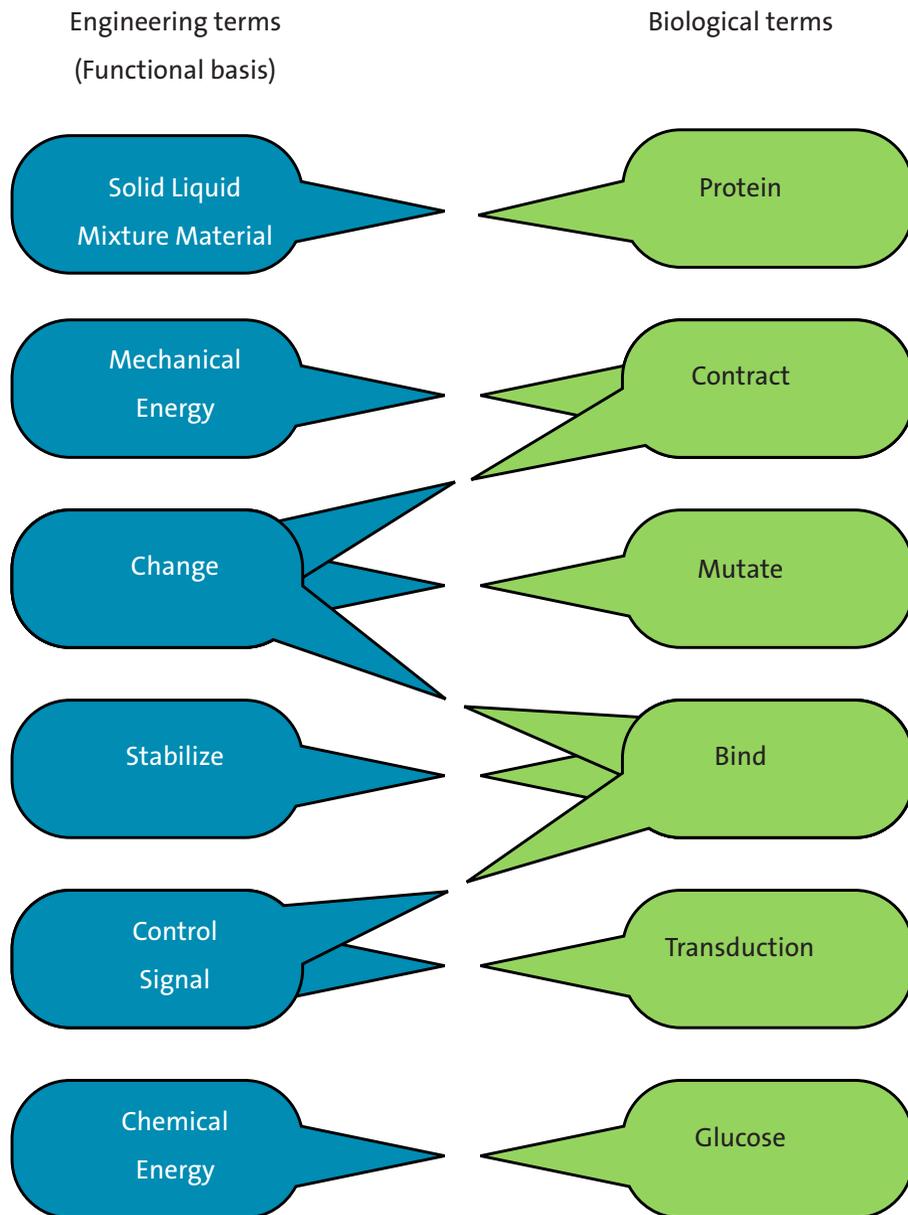


Figura 1: Representación gráfica de los sinónimos de la Ingeniería a la biología.

¿En qué fase de desarrollo está tu herramienta?

Jacquelyn: Es una herramienta en constante desarrollo y podría considerarse como un prototipo alfa en las últimas fases de prueba. Su uso todavía es un proceso manual, pero hasta ahora la herramienta ha aportado mejoras en numerosas vías, en el proceso de generación de conceptos [1.9.10].

Los siguientes pasos incluyen implementar el diccionario como una base de datos y ampliar los términos incluidos. Un diseñador podría explorar la base de datos e identificar asociaciones entre los campos, además de permitir que otra información se vincule con los términos. La implementación digital también permitiría la integración con herramientas de diseño computacionales. Yo espero que ampliar la terminología incluida haga la herramienta más útil tanto para diseñadores principiantes como expertos.

¿Cómo se puede usar?

Jacquelyn: Las aplicaciones del Diccionario E2B incluyen pero no se limitan a, (1) traducción de información biológica para incrementar su comprensión, (2) identificación de términos biológicos relevantes para usarse en ejercicios de lluvia de ideas o en búsquedas de inspiración biológica, (3) modelaje funcional de sistemas biológicos, (4) identificación de analogías entre los campos y (5) facilitación del diálogo entre grupos de ingenieros y biólogos. Todas estas actividades de diseño llevan al desarrollo de conceptos que es una aplicación predominante de esta herramienta de diseño. Un punto adicional es que muchas de estas aplicaciones capturan el sistema biológico mediante la abstracción, lo cual es muy

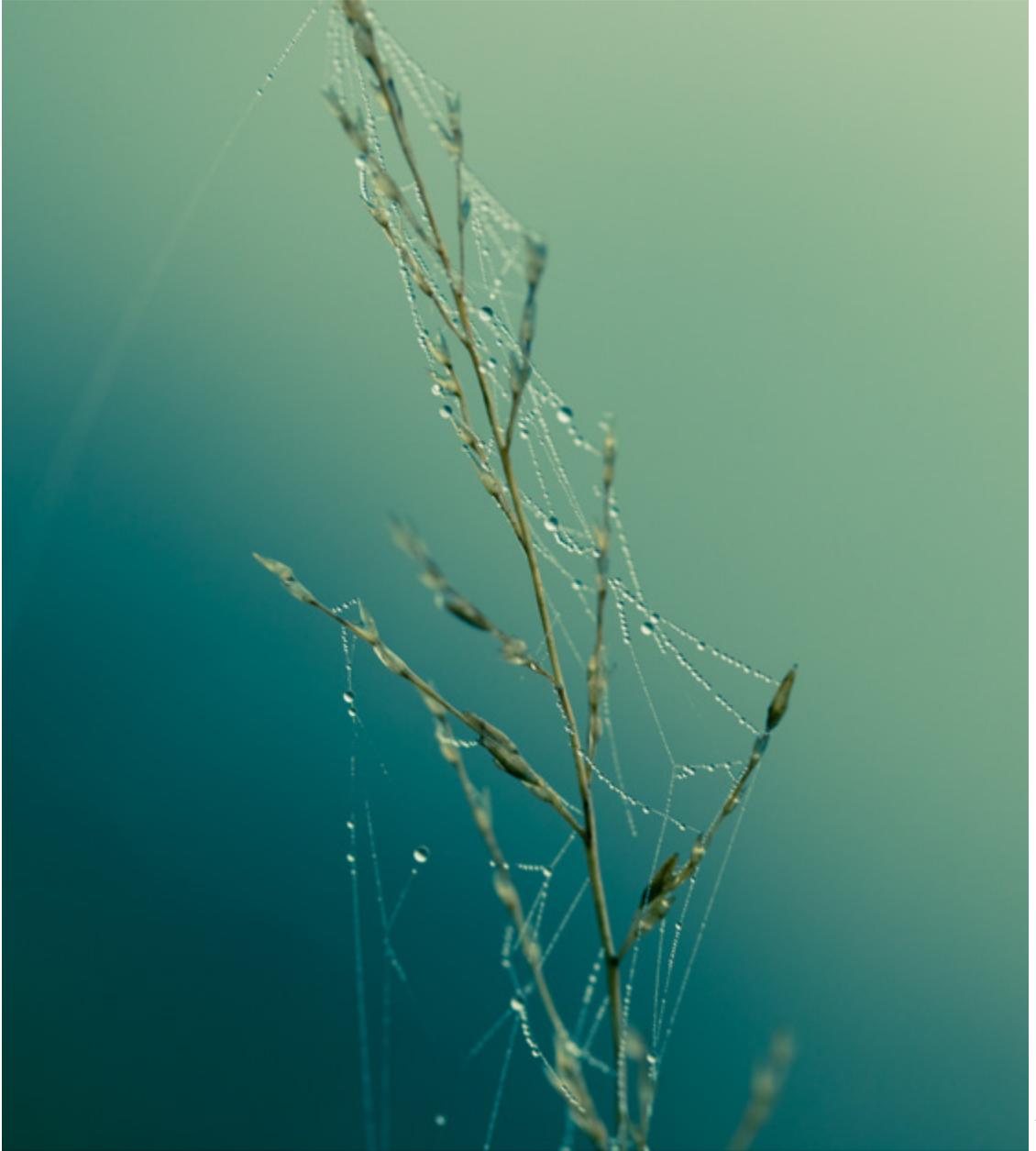
valioso a la hora de resolver problemas de diseño y puede ayudar a los diseñadores a aprender principios de diseño de la naturaleza.

¿Cuál es tu enfoque conceptual?

Jacquelyn: Como el nombre lo sugiere, mi enfoque es hacer una interfaz entre la información biológica y el diseño de ingeniería a través de la terminología, específicamente agrupando sinónimos y sus conceptos relacionados en una forma clasificada como en un diccionario. Vincular términos de biología con los de modelado ingenieril (usados para representaciones funcionales y abstracciones) ayuda a replantear la terminología biológica en el contexto de la ingeniería. Así, la información biológica está accesible para los ingenieros que pretenden diseñar con diferentes niveles de conocimiento biológico, pero con un entendimiento común de las metodologías de diseño de ingenieril.

El Diccionario E2B no incluye todos los términos de ingeniería y biología, sino más bien un conjunto representativo de términos de ingeniería y biología. Los términos de ingeniería comprenden el léxico de modelaje de Base Funcional [3] que tiene términos de función (una acción que se lleva a cabo en un flujo) y de flujo (tipo de energía, señal y material que viaja a través de un dispositivo). Para mapear la terminología entre los dos campos, el conjunto representativo de términos biológicos se agrupa con términos de ingeniería de acuerdo a la clasificación de Base Funcional.

El Diccionario E2B, sin embargo hace más que acomodar la terminología de un campo sobre la terminología del otro; sirve como intermediario



Del álbum: Square Nature

Foto: m4tik, 2011 | Flickr cc



Amanecer en las gotas de rocío sobre una tela de araña

Foto: Fotomatt28, 2006 | Flickr cc



entre los campos de la biología y la ingeniería. Más aún, esta herramienta de diseño incrementa la interacción entre los usuarios y el recurso de conocimiento [4] buscando incrementar la eficiencia de los diseñadores cuando trabajan simultáneamente con los campos de la ingeniería y la biología.

¿Cómo se usa?

Jacquelyn: Se puede acceder al Diccionario E2B a través del sitio de internet del Design Engineering Lab. Debido a que la herramienta aún se encuentra en forma manual, los hipervínculos que aparecen más adelante te llevan a la versión PDF de las tablas del Diccionario. La herramienta tiene dos formatos disponibles: 1) en orden del flujo y la función de ingeniería, y 2) en orden alfabético por término biológico. Ambas versiones están en formato PDF con la función de búsqueda habilitada. A través del siguiente hipervínculo se puede tener acceso a las tablas ordenadas por flujo y función de ingeniería:

http://designengineeringlab.org/delabsite/publications/conferences/E2B_thesaurus.pdf

El siguiente hipervínculo lleva a las tablas ordenadas alfabéticamente por término biológico:

http://designengineeringlab.org/delabsite/publications/conferences/E2B_Thesaurus_v2.pdf

Las dos versiones ayudan al diseñador de manera diferente. “Buscar términos biológicos que se correlacionan con términos de diseño ingenieril”, el primer formato, ayuda principalmente con la identificación de términos biológicos relevantes para usarlos en ejercicios de lluvia de ideas o en la búsqueda de inspiración biológica.

También apoya la identificación de analogías entre los dos campos y facilita el diálogo. “Buscar términos de ingeniería que se correlacionan con términos biológicos”, el segundo formato, ayuda principalmente en la traducción de información biológica, pero también apoya al modelaje funcional de los sistemas biológicos y a la identificación de analogías entre los dos campos, además de facilitar el diálogo. Más adelante se presentan ejemplos del uso de ambos formatos.

Cuando se aborda un problema de ingeniería, puede ser un reto encontrar sistemas biológicos relevantes e inspiradores. Los términos biológicos del Diccionario Ingeniería-Biología pueden ser útiles por que ofrecen más funciones para detonar ideas y palabras clave a considerar. Un acercamiento general a la identificación de sistemas biológicos relevantes que sirvan de inspiración para el diseño, funcionaría de la siguiente manera:

- Definir el problema o necesidad del diseño ingenieril.
- Marcar o definir los términos de función o flujo que están asociados con el problema o necesidad.
- Buscar los términos de ingeniería en la tabla del Diccionario E2B ordenada por flujo o función de ingeniería.
- Utilizar los términos biológicos correspondientes para hacer una lluvia de ideas o buscar los sistemas biológicos que realizan la función o incluyen el flujo. Éstas son fuentes fiables para la búsqueda:

- Bio Search – es una herramienta que funciona a través de internet y hace búsquedas de términos especificados en un libro de texto de biología básica.

- Design Repository (Catálogo de Diseño) - es una base de datos sobre conocimientos de diseño de productos y sistemas biológicos, indexada por forma y flujo de ingeniería.

- Ask Nature - es una fuente de inspiración en línea para la comunidad de biomimesis.

<http://www.asknature.org>

- Nota del diseñador: Yo busco todos los términos biológicos asociados con cada término de función y flujo de ingeniería para tener el mayor número de fuentes de inspiración.

- Se recomienda utilizar todos los sistemas biológicos relevantes identificados, o una lista compacta de los mismos, para las actividades de diseño.

Un ejemplo del uso del Diccionario E2B es cuando se usa para identificar sistemas biológicos como fuente de inspiración para el diseño ingenieril. Consideremos el diseño del sistema de frenado para un vehículo de pedales, como una bicicleta. Para definir las funciones y el flujo asociados con el problema de diseño el diseñador debe responder las siguientes preguntas: ¿Cuál es la función principal de “frenar”? o ¿Cuál es el propósito de “frenar”? Otra manera de describir frenar en términos de ingeniería es detener o simplemente parar. Buscar el término de ingeniería parar en el Diccionario E2B nos lleva al término biológico extinguir, detener, obstruir, sellar, y suspender. Este conjunto de términos



Red Social

Foto: aspheric.lens, 2008 | Flickr cc

biológicos ofrece un amplio rango de términos para apoyar las lluvias de ideas o la búsqueda para identificar el sistema biológico que aborde el problema de diseño. Ya con este conjunto de funciones más amplio, el diseñador necesita responder a lo siguiente ¿Qué sistemas biológicos extinguen? o ¿Qué extingue en la naturaleza? Contestar estas preguntas para cada término biológico nos lleva a un grupo de sistemas biológicos que se pueden utilizar para abordar el problema de diseño. De acuerdo a mi propio conocimiento de biología, los sistemas biológicos identificados en la lluvia de ideas son las cabras miotónicas (cabras que se desmayan), las telarañas, el pez globo y las válvulas del cuello de las jirafas. Los sistemas biológicos identificados mediante las técnicas de búsqueda incluyen: conchas de almeja, coágulos en la sangre y costros. A continuación, si los comprendiera totalmente yo usaría los sistemas biológicos identificados como inspiración para el diseño o para otras actividades.

Si no entendiera completamente los sistemas biológicos, traduciría la información al contexto de la ingeniería. Un reto común para un ingeniero sin entrenamiento en biología es leer la literatura sobre este tema. Traducir los términos biológicos desconocidos al contexto de la ingeniería ayuda a comprenderlos. Si se ha identificado un sistema biológico interesante, un acercamiento general para la traducción directa de la información biológica al contexto de la ingeniería procedería de la siguiente manera:

- Leer y analizar el sistema biológico.
- Señalar los términos biológicos que hagan la información difícil de entender.

- Buscar los términos biológicos en la tabla de términos biológicos por orden alfabético en el Diccionario E2B.
- Leer los términos de ingeniería correspondientes. Seleccionar un término de ingeniería para reemplazar el término biológico.
- Sustituir los términos biológicos señalados con los términos de ingeniería correspondientes.
- Leer el texto traducido. Traducir más o menos términos según sea necesario hasta que se logre la comprensión. *Nota del diseñador: También trato de crear un resumen del texto traducido usando los términos de ingeniería. Esto apoya el archivo de la información traducida y la comunicación con otros diseñadores.
- Usar la información traducida para actividades de diseño.

Éste es un ejemplo de traducción directa siguiendo los pasos señalados arriba. Consideremos el fenómeno biológico de la abscisión descrito en el siguiente pasaje:

“La caída de las hojas (abscisión) está regulada por la interacción de las hormonas etileno y auxina. El efecto de la auxina en el desprendimiento de las hojas viejas de su tallo es bastante diferente al efecto de la iniciación de la raíz. Este proceso, llamado abscisión, es la causa de la caída de hojas en el otoño. Las hojas consisten de una lámina y un peciolo que une la lámina de la hoja al tallo. La abscisión ocurre por la descomposición de una parte específica del peciolo, la zona de abscisión. ... La temporada de abscisión de las hojas



Tela de araña

Foto: luc.viatour, 2007 | Flickr cc

en la naturaleza aparentemente está en parte determinada por una disminución en el movimiento de la auxina, producida en la lámina de la hoja, a través del peciolo. - [5]

Dependiendo del conocimiento previo del diseñador, se pueden elegir varios términos biológicos para la traducción. Para cambiar el contexto del pasaje se seleccionaron los términos abscisión, hormona y auxina. Si se aplica la traducción directa, el extracto quedaría así:

La caída de las hojas (separación) está regulada por una interacción de los materiales de una mezcla líquido-líquido. El efecto de los materiales de la mezcla líquido-líquido en la separación de las hojas viejas de sus tallos es bastante diferente al efecto de la iniciación de la raíz. Este proceso, llamado separación, es la causa de la caída de las hojas en el otoño. Las hojas consisten de una lámina y un peciolo que une la lámina de la hoja al tallo. La separación ocurre por la descomposición de una parte específica del peciolo, la zona de separación. ... La temporada de separación de las hojas en la naturaleza aparentemente está, en parte determinada por una disminución en el movimiento de los materiales de la mezcla líquido - líquido, producidos en la lámina de la hoja, a través del peciolo.

De esta traducción el diseñador puede resumir abscisión así: Cuando un material líquido deja de fluir entre la planta y las hojas, ocurre una zona de separación y la hoja se separa de la planta. A continuación el diseñador puede usar la información traducida como inspiración para el diseño, y luego identificar o diseñar componentes que puedan ser usados para replicar el sistema de ingeniería derivado del sistema natural.

Además de las funciones de inspiración, lluvia de ideas, búsqueda y traducción, otros beneficios prácticos del Diccionario E2B incluyen: modelado funcional, formación de analogías, generación de conceptos y promoción del diálogo interdisciplinario.

¿Qué sigue de aquí?

Jacquelyn: El E2B está concebido como una herramienta de diseño que permitirá o mejorará la colaboración entre biólogos e ingenieros. El Diccionario de Sinónimos Ingeniería-Biología fomenta el descubrimiento y creación de soluciones de ingeniería biológicamente inspiradas a través de procesos de diseño de ingeniería discutidos en este artículo. Una vez que se han creado los diseños conceptuales, el siguiente paso es crear prototipos o modelos de prueba del concepto para determinar la viabilidad del diseño biológicamente inspirado. Si deseas obtener más antecedentes y detalles sobre el Diccionario de Sinónimos Ingeniería-Biología, puedes contactar a la autora.[1,2,11,12]

Datos de contacto de la autora:

Jacquelyn K.S. Nagel, Ph.D.

James Madison University

<https://jacquelynnagel.com>

Referencias

1. Nagel, J.K.S., Stone, R.B., McAdams, D.A. (2010) "An Engineering-to-Biology Thesaurus for Engineering Design." *ASME IDETC/CIE 2010 DTM-28233*, Montreal, Quebec, Canada.
2. Stroble, J.K., Stone, R.B., McAdams, D.A., Watkins, S.E. (2009) "An Engineering-to-Biology Thesaurus to Promote Collaboration, Creativity and Discovery." *Proceedings of the CIRP Design Conference 2009*, pp. 335-368, Cranfield, Bedfordshire, England.
3. Hirtz, J., R. Stone, D. McAdams, S. Szykman & K. Wood (2002). A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. *Research in Engineering Design*, Vol.13, No.2, 65-82
4. Lopez-Huertas, M.J., 1997, "Thesaurus Structure Design: A Conceptual Approach for Improved Interaction," *Journal of Documentation*, 53(2), pp. 139-177.
5. Purves, W.K., Sadava, D., Orians, G.H. and Heller, H.C. (2001) *Life, The Science of Biology*, 6 ed., Sunderland, MA, Sinauer Associates.
6. Stroble, J.K., Stone, R.B., McAdams, D.A., Goeke, M.S., Watkins, S.E. (2009) "Automated Retrieval of Biological Solutions to Engineering Problems." *Proceedings of the CIRP Design Conference 2009*, pp. 78-85, Cranfield, Bedfordshire, England.
7. Nagel, J.K.S., Stone, R.B., McAdams, D.A. (2010) "Function-Based Biology Inspired Concept Generation." Chapter 5 in *Biomimetics, Learning From Nature*, pp. 93-116, In-tech, Croatia. ISBN:978-953-307-025-4
8. Nagel, J.K.S., Stone, R.B., McAdams, D.A. (2010) "Exploring the Use of Category and Scale to Scope a Biological Functional Model." *ASME IDETC/CIE 2010, DTM-28873*, Montreal, Quebec, Canada.
9. Nagel, J.K.S., Nagel, R.L., Stone, R.B., McAdams, D.A. (2010) "Function-Based, Biologically-Inspired Concept Generation." *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, special issue *Biologically Inspired Design*, Vol. 24(4) pp. 521-535.
10. Nagel, J.K.S., Stone, R.B., 2012, "A Computational Approach to Biologically-inspired Design," Accepted on November 16, 2011 to *AIEDAM special issue DCC 2010*. To be published in Spring 2012, Vol. 26, No.2.
11. Nagel, J.K.S., Stone, R.B. (2011) "A Systematic Approach to Biologically-inspired Engineering Design." *ASME IDETC/CIE 2011, DTM-47398*, Washington, D.C., USA.
12. Nagel, J.K.S., "A Thesaurus for Bioinspired Engineering Design." Chapter in *Biologically Inspired Design: Computational Methods and Tools*, A. Goel, D.A. McAdams, R.B. Stone (eds.), Springer. Spring 2013.

The Design Engineering Lab website offers access to the tools and recourses referenced in this article. The URL is <http://designengineeringlab.org/>



Tensegridad

Foto: beckstei, 2012 | Flickr cc



Dos perspectivas
*Bucky y la Forma
de la Naturaleza*
Curt McNamara

Bucky y la Forma de la Naturaleza

Bucky

R. Buckminster Fuller fue uno de los primeros diseñadores de soluciones sostenibles, y ya en los años 30 inventó automóviles de alta eficiencia, duchas de bajo flujo y casas eficientes. También fue parte de una larga línea de pensadores que reconocían la belleza del diseño de la naturaleza y la baja efectividad de los diseños humanos comparados con los naturales. (1)

Dedicó su vida a la búsqueda de la geometría fundamental de la naturaleza. Publicó los resultados de su trabajo en dos volúmenes: *Sinergética I y II*. En los 90, Robert W. Gray transfirió ambos volúmenes a un sitio web y publicó un índice exhaustivo del contenido (2). Los volúmenes contienen información sobre la naturaleza de los sistemas, la forma fundamental del espacio y principios universales que Bucky afirmaba aplican a todo diseño.

Explorar este material puede parecer intimidante, dado el uso preciso que Fuller hace del lenguaje y la profundidad con que aborda los temas. Este artículo explora algunos aspectos de Sinergética que han sido utilizados para describir sistemas naturales y crear estructuras de alta eficiencia.

La cruzada principal de Fuller fue encontrar:

- El fundamento de las estructuras mínimas
- Los principios profundos del diseño con la naturaleza

- El sistema coordinado con que se combinan materiales en la naturaleza

Éstas fueron las respuestas que obtuvo:

- La tensegridad (interacción entre tensión y compresión) es el fundamento de las estructuras mínimas
- Los domos geodésicos son una expresión de tensegridad. Se pueden utilizar para cubrir espacios de manera eficiente y para describir las estructuras de sustancias como el C60 (buckminsterfullereno).
- Existe una estructura que puede llenar un espacio a partir de un solo punto y uniéndose a otros puntos. Se le conoce por varios nombres: 12 esferas alrededor de 1; el cuboctaedro con un punto interno; la Matriz Isotrópica de Vectores (IVM por sus siglas en inglés); el sistema molecular cúbico centrado en las caras.
- La ciencia consiste en principios generalizados (relaciones) que existen entre los elementos y no en los elementos mismos. Un ejemplo es la gravedad. Toda ciencia y estructura es una búsqueda de las relaciones más elegantes.

Mi artículo examina cómo estas ideas se han aplicado en el diseño y la biología, y sugiero qué trabajo se puede hacer en el futuro.



Sin título (Geodésica en la naturaleza)

Foto: Lon Fong, 2010 | Flickr cc



Tetra Classic: 1950s

Foto: Tetra Pak, 2010 | Flickr cc



Biomimesis

Las aplicaciones comunes de la biomimesis parecen oscilar desde superficies a estructuras y a sistemas (3), o de función o forma, a proceso y sistema (4). En cada nivel existen entidades y sistemas, estructurados de acuerdo a principios universales. En cada nivel estas entidades y sistemas se vinculan o entran en contacto entre sí.

Aunque pudiese parecer que cada uno de estos ámbitos es diferente y que para abordarlos se requieren habilidades distintas, Buckminster Fuller descubrió que no es así. Más bien, clarificó y reveló las bases de la forma del espacio, desde lo microscópico a lo macroscópico. Cabe mencionar que incluso los procesos pueden verse como un cambio de geometría, forma o conexión a través del tiempo.

¿Cuáles son los principios que descubrió y cómo podemos utilizarlos en la biomimesis?

La forma de la naturaleza

Para iniciar su investigación, buscó el sistema o estructura más simple. La forma mínima que encierra un volumen es un tetraedro, que consiste de cuatro puntos. Dos puntos definen una línea; tres puntos un triángulo y cuatro puntos un espacio. Por consiguiente, cuatro puntos definen el sistema mínimo. Esto es un fundamento de la sinérgica: todos los sistemas confinan espacio.

Menos de cuatro nodos o vértices, no constituye un sistema, lo cual parece confuso ya que existen sistemas que pueden ser descritos por palabras o ecuaciones que no parecen confinar un volumen. Sin embargo, una inspección cuidadosa revela que en toda descripción completa de

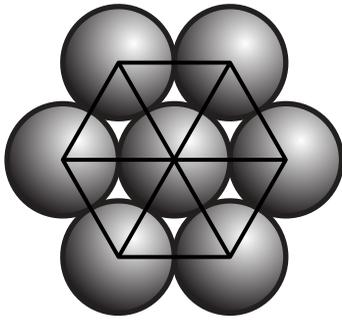
un sistema siempre hay al menos cuatro nodos acoplados. Incluso nuestros pensamientos existen dentro de un espacio físico (entre neuronas).

Contemplar el tetraedro como un conjunto de cuatro puntos nos lleva a otro fundamento: todas las figuras son el resultado de fuerzas acopladas. El tetraedro del que hablamos no son cuatro lados ni tampoco un bloque sólido. Son cuatro nodos enlazados por seis vínculos. Los nodos son los vértices del tetraedro donde se unen las fuerzas acopladas. ¿Qué son estas fuerzas acopladas?. Fuller se refiere a ellas como relaciones o vínculos; cada vínculo es un ejemplo de un principio universal.

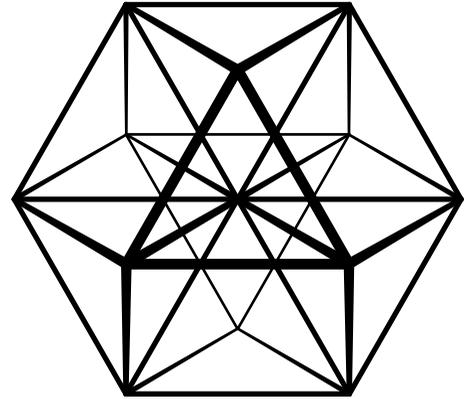
Un ejemplo es la fuerza de la gravedad. Si los nodos son partículas materiales, o un planeta y su satélite, la relación, que es la gravedad, existe entre ellos, y no en ninguno de ellos por sí solo. De manera similar, la fuerza electromotriz existe entre las cargas eléctricas, y no en ellas individualmente. Es posible confirmar que esto es cierto para todos los tipos de fuerza.

En la Teoría para Resolución de Problemas de Invención, más conocida como TRIZ por sus siglas en ruso, la progresión de fuerzas se denomina como MATCHEM, acrónimo en inglés de las siguientes fuerzas: mecánica (fricción); acústica (ondas); térmica (movimiento browniano); química (enlaces); eléctrica (potencial y corriente); y magnética (onda). Cada fuerza o campo es una relación que existe entre, y no en, las partes.

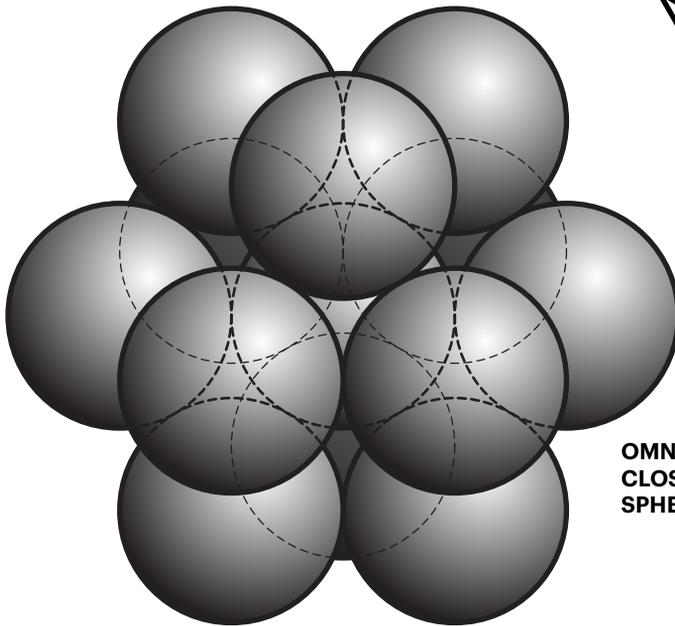
Las relaciones pueden representarse con vectores apuntando en la dirección del campo. Un vector describe magnitud y dirección para ilustrar las propiedades del campo. Se puede indicar la presencia de un vector con una línea, o con una trayectoria se puede mostrar donde había un



CLOSEST-PACKED SPHERES IN THE PLANE



Vector Equilibrium



OMNI DIRECTIONAL CLOSEST-PACKED SPHERES

Vector Equilibrio: Empaque omnidireccional más cercano alrededor de un núcleo: Triángulos pueden subdividirse en un número cada vez mayor de unidades similares. El número de subdivisiones modulares a lo largo de cualquiera de los bordes puede ser referido como la frecuencia de un triángulo dado. La frecuencia del arreglo triangular de las esferas en el plano esta determinado por el número de intervalos mas que por el número de esferas en un borde determinado. En el caso de empaques concéntricos o esferas alrededor de un núcleo central, la frecuencia de dicho sistema puede ser la subdivisión de los bordes o el número de capas concéntricas. Los empaques concéntricos en el plano dan lugar a matrices hexagonales y a empaques omnidireccionales más cercanos de un número igual de esferas al rededor de un núcleo que da lugar al vector de equilibrio.

Fuente del texto: <http://www.rwgrayprojects.com/synergetics/so4/figs> | Gráfico: Colin McDonald

vector. Es importante resaltar que en la sinérgica, los vectores, vínculos, líneas y campos no se unen o cruzan en un vértice de la estructura, sino que el vértice representa las interacciones que crean la estructura.

Relaciones y vértices

En la sinérgica, la naturaleza sólo permite un pequeño número de conexiones en un nodo: tres en el caso del tetraedro; cuatro en el caso del octaedro; y cinco en el caso del icosaedro. Las estructuras más complejas son combinaciones de éstos.

Límite

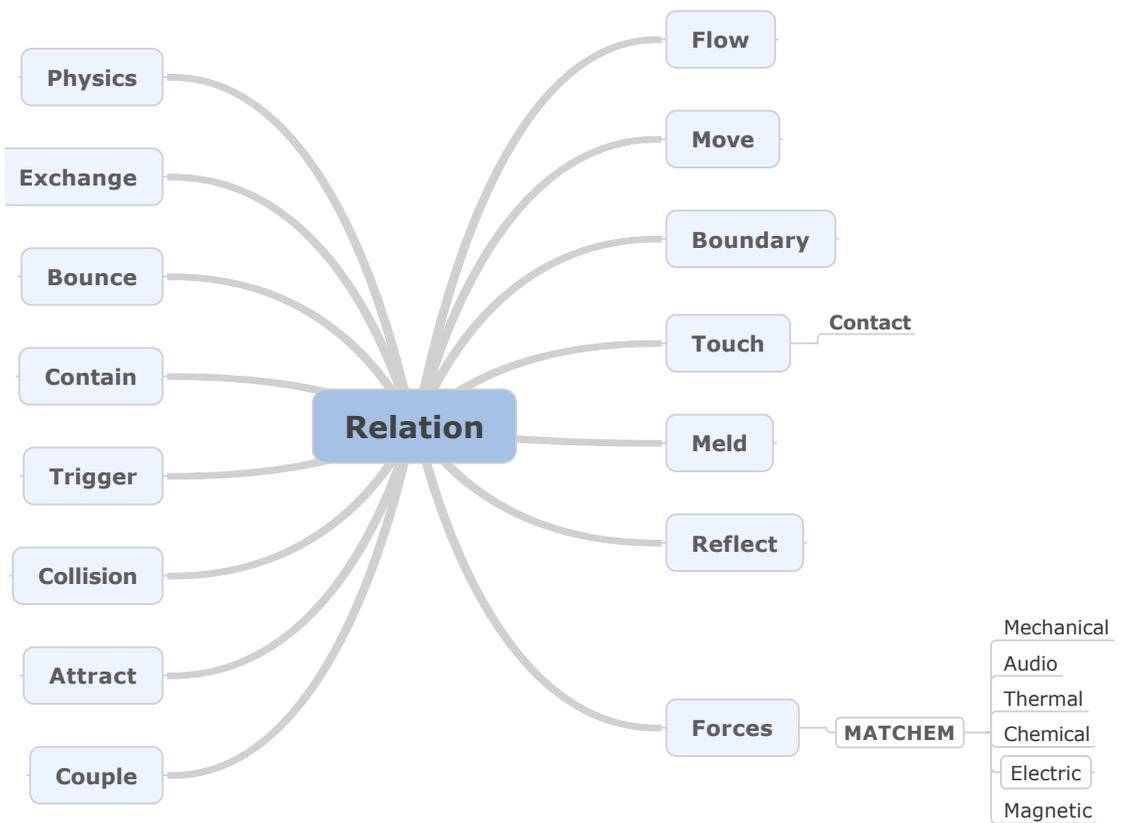
La superficie de un sistema es un límite. El límite separa el sistema (interior) del mundo (exterior). Los vínculos entre los elementos del límite son fuertes, y pueden tener características diferentes hacia el interior que hacia el exterior. Muchas de las aplicaciones de biomimesis ocurren en la capa limítrofe y se relacionan a la manera en que los sistemas se contactan entre sí.

Fuller creía que el límite es una red de nodos, cada uno vinculado entre tres y cinco elementos. Los nodos no equilibran toda la energía de estos vínculos, y este excedente de energía determina las propiedades del límite. Un ejemplo de esto son las superficies hidrófilas e hidrófobas. En el caso de las primeras, existe un exceso de energía (enlaces de hidrógeno), lo cual hace que el agua se pueda enlazar fácilmente a la superficie. Por el contrario, una superficie hidrófoba tiene mo-

léculas no polarizadas, sin el potencial de enlaces de hidrógeno, por lo que el agua no se adhiere a la superficie.

Yo creo que la Naturaleza crea estructuras en sistemas vivos por una razón: para encerrar, proteger y comunicar. La superficie exterior de una estructura es un límite compuesto por nodos conectados por relaciones o vínculos. Por ejemplo, cuando se descubrió la forma del C₆₀, midiendo el peso atómico, los investigadores pudieron determinar que se compone de 60 átomos de carbono. Conociendo las características químicas del carbono, también sabían cuántos enlaces podía haber en cada átomo (nodo). El resultado de estas dos restricciones es la estructura conocida como buckminsterfullereno.

En sí, toda estructura está basada en la triangulación. A mayor escala, la triangulación puede ser tan vaga que se disciernen otras figuras. A menor escala, sin embargo, la triangulación es clara. Estructuras como el cubo pueden parecer estables, pero cada una se hace estable por triángulos internos en el material del que están compuestos. Esto se puede confirmar fácilmente construyendo un cubo con lados rígidos y vértices flexibles. Se colapsará, a menos que se le agregue triangulación. El cubo se estabilizará si se le agregan dos tetraedros al interior, y esto representa una visión más realista de la estructura. Aunque este área de la sinérgica se ha estudiado poco, creo que una aplicación más extensa de estos principios permitirá muchos nuevos descubrimientos.



Mapa de relaciones potenciales

Imagen cortesía de Curt McNamara



Pequeño gecko (Pie reciente)

Foto: p for petrina, 2012 | Flickr cc



Tensegridad

Tensegridad es una palabra ideada por Fuller para describir la estructura mínima utilizando tensión y compresión acoplada (y equilibrada). “La tensegridad es un principio de construcción descrita por primera vez por el arquitecto R. Buckminster Fuller y visualizada por primera vez por el escultor Kenneth Snelson. Fuller define los sistemas de tensegridad como estructuras con formas estabilizadas por tensión continua, o ‘integridad tensional’ en lugar de por compresión continua (como sería el caso de un arco de piedra).” (5)

Donald Ingber, del Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering y de la Harvard Medical School, ha utilizado este principio para explorar las maneras en la que las células se mueven y responden a su entorno. “El modelo de tensegridad celular propone que la célula entera es una estructura con tensegridad en pre-tensión, aunque también es posible encontrar estructuras geodésicas dentro de las células a menor escala (por ejemplo, vesículas cubiertas de clatrina o cápsidas víricas). En el modelo, las fuerzas de tensión caen sobre micro-filamentos del citoesqueleto y filamentos intermedios, y estas fuerzas se balancean por medio de elementos estructurales interconectados que resisten la compresión, en particular por microtúbulos internos y uniones ECM.” (5)

El médico Stephen Levin, un defensor de la “bio-tensegridad”, ha utilizado esta idea para modelar estructuras biológicas: “Se utilizan icosaedros en tensegridad para modelar organismos biológicos, desde virus hasta vertebrados, sus células, sistemas y subsistemas. Sólo hay elementos de tensión y compresión en los sistemas de

tensegridad. No hay cortes, momentos de flexión o palancas, simplemente tensión y compresión, dentro de una estructura autoorganizada, jerárquica, de bajo consumo de energía y que distribuye las cargas.” (6)

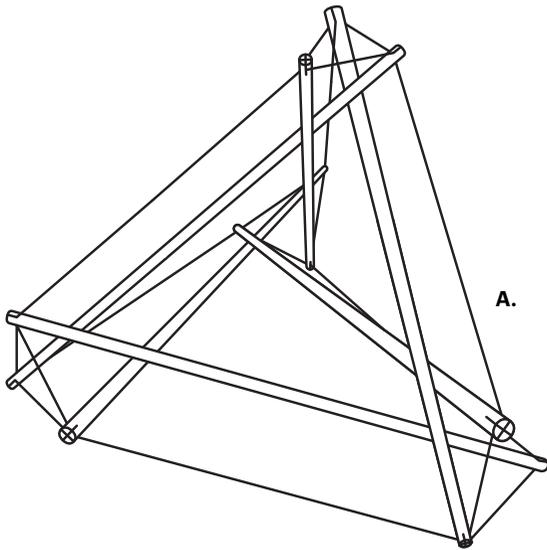
Tom Flemons, de Intension Designs, describe la tensegridad así: “La tensegridad se trata de tensión y compresión. Toda estructura, ya sea un artefacto creado por la inteligencia [humana] o un ser vivo evolucionado por selección natural, es un equilibrio entre éstas dos fuerzas y sólo entre ellas... La tensegridad es un principio científico que describe la geometría natural en términos de vectores de compresión y tensión. Describe el orden de las estructuras a escala atómica, molecular y cósmica.”

“En su libro *Why Buildings Stand Up (Por qué los edificios se mantienen en pie)*, el ingeniero y arquitecto Mario Salvadori destaca que la tensión de corte no es una fuerza independiente, sino más bien es equivalente a fuerzas de tensión y compresión actuando en ángulos rectos. Las estructuras en tensegridad son casos especiales en las que los efectos de estas dos fuerzas son visibles en el diseño.” (7)

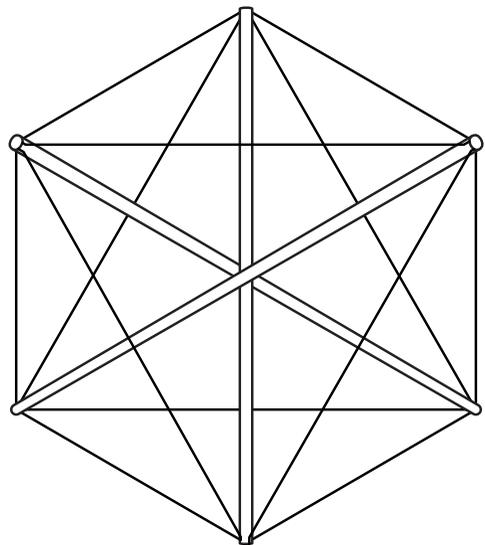
Como se puede ver en las citas anteriores, la tensegridad ha sido estudiada con cierto nivel de detalle en sistemas biológicos. Snelson (8) también ha aplicado estas ideas a la estructura del átomo, y todavía queda más por investigar en este área.

Sistema de coordenadas

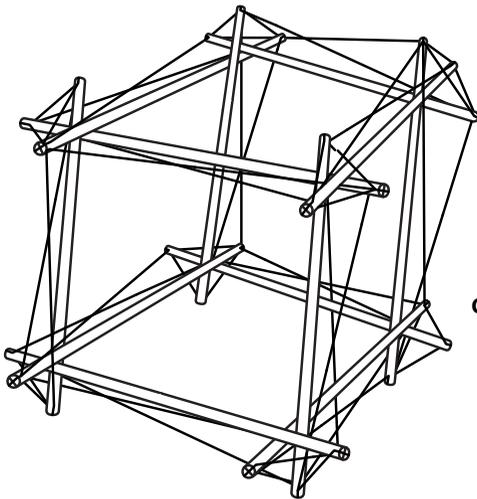
Desde mi punto de vista, las bases matemáticas estándar para el diseño son prácticas y eficientes, pero no concuerdan con los principios con



A.



B.



C.

a. Un tetraedro en tensegridad muestra seis puntales de giro.

b. El octaedro en tensegridad de tres puntales. Los tres puntales de compresión no se tocan entre sí a medida que pasan por el centro del octaedro. Ellos se mantienen unidos sólo en sus terminales por la tensión triangular total. Es la forma más simple de tensegridad.

c. El cubo en tensegridad de 12 puntales, que es una forma inestable.

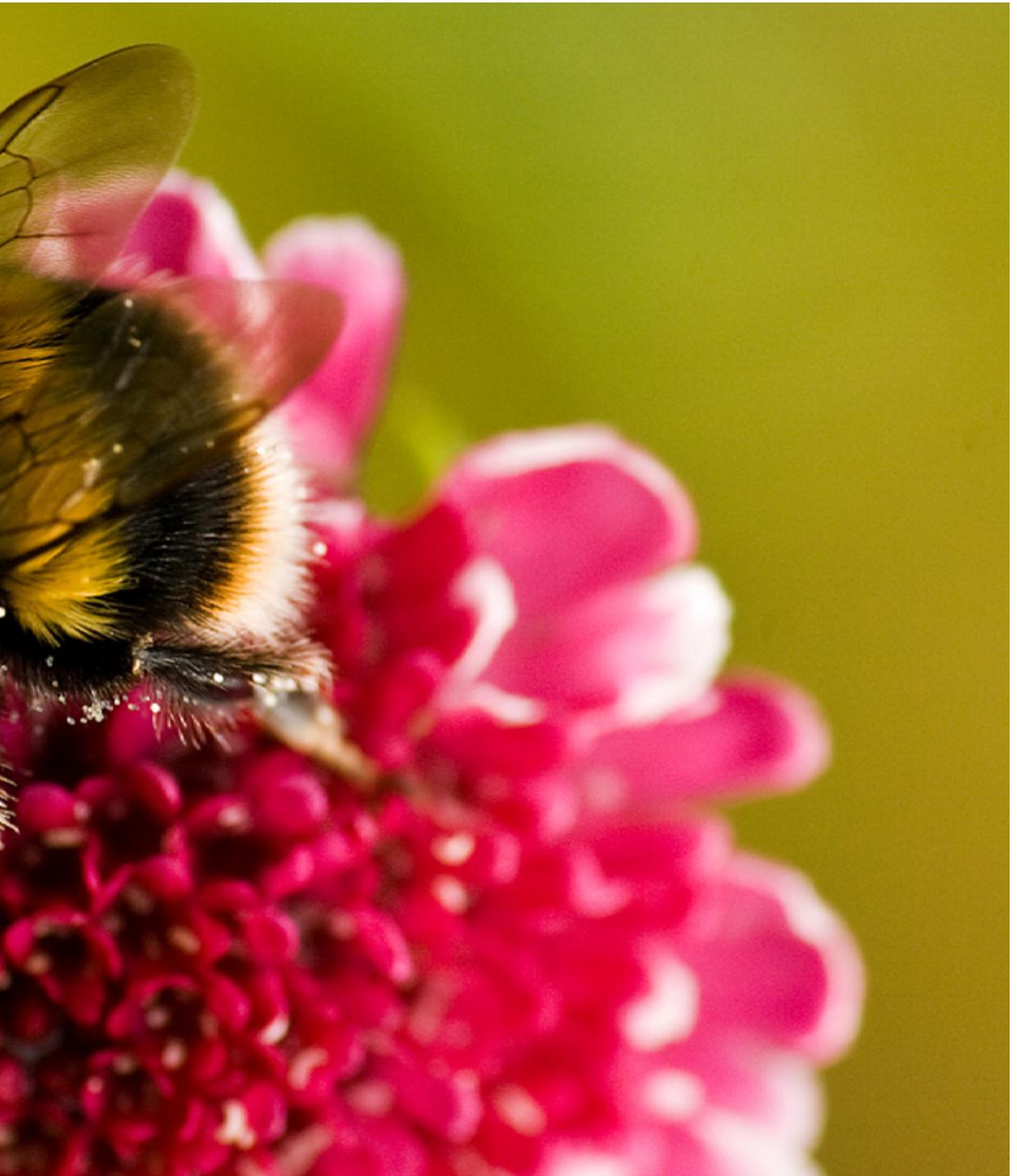
Texto: <http://www.rwgrayprojects.com/synergetics/so4/figs>

Gráfico: Colin McDonald



Abejorro

Foto: Mike Legend, 2009 | Flickr cc



los que se construye la materia. Por ejemplo, el sistema cartesiano de coordenadas, con sus ejes perpendiculares, no representa a la naturaleza. El resultado es que la ingeniería y las ciencias se basan en aproximaciones. Esto nos impide tener un entendimiento fundamental de la forma del espacio. Puesto que el sistema cartesiano es la base de la mayor parte de la educación matemática, los estudiantes obtienen una descripción incompleta de la naturaleza.

¿Cuál es el sistema de coordenadas de la estructura y del universo? Si no es el sistema cartesiano de coordenadas XYZ (puesto que no sirve para biología), entonces, ¿cuál es el mejor sistema? Las coordenadas polares, radio y ángulo, se acercan, mostrando cómo puede haber crecimiento desde un punto hacia el espacio exterior.

El arreglo de los componentes elementales es la base para la creación de materiales y el crecimiento de organismos. Cuando Fuller estudió esto, concluyó que encajar 12 esferas lo más cerca posible alrededor de una llenaría todo el espacio. Cuando se unen los centros de las 12 esferas, se forma una estructura llamada cuboctaedro (alternando elementos cuadrados y triangulares). Esta estructura se puede extender en todas direcciones para llenar un espacio. Cuando la esfera central se conecta a las 12 esferas externas, los ejes definen lo que Fuller llamó la Matriz Isotrópica de Vectores (IVM por sus siglas en inglés).

Podemos encontrar la misma disposición en el entramado octagonal inventado por Alexander Graham Bell en la década de 1930, y en el entramado común utilizado en la construcción. La forma más simple de esto es la combinación de un octaedro con un tetraedro, repetida en una o más direcciones.

Mientras que esta forma ha sido ampliamente estudiada para edificios y estructuras, no ha tenido mucha aplicación en el área de la biomimesis. Como la forma es la estructura mínima para llenar un espacio, pareciera tener muchas aplicaciones biomiméticas. Un uso es en la formación de cristales con estructuras cúbicas. La percepción de que los cristales son estáticos a través del tiempo puede haber contribuido a la falta de aplicaciones en biología. Esto también es una percepción errónea de la sinérgica en general: las estructuras geométricas no son estáticas, sino que las formas pueden surgir y decaer en cuestión de picosegundos.

Dado que la IVM llena todo el espacio, es el sistema de coordenadas más simple para el universo. Las líneas del nodo central hacia los vértices definen 6 ejes, o 12 grados de libertad. Esto puede parecer contrario al sentido común, pues al estar familiarizados con el sistema de tres ejes, utilizar 6 parece más complejo. Sin embargo, forzar a la naturaleza a encajar dentro de estos 3 ejes da como resultado, en el mejor de los casos, una aproximación. El uso más eficiente de material para crear estructura es empezar desde el centro hacia los vértices de la IVM. Aunque estos ejes han sido tema de discusión filosófica, sigue pendiente su estudio para aplicaciones en biomimesis. (9)

Sistemas e interconexiones

Los sistemas se diferencian de sus entornos, y tal diferenciación está determinada por sus límites. En éstos, las relaciones entre los nodos son más fuertes que las relaciones con el exterior. Los lí-

mites contienen puertos que permiten que material, energía e información fluyan o inicien procesos dentro del sistema.

La cancelación de fuerzas en un nodo nunca es absoluta. Existen fuertes conexiones entre los elementos del límite y el sistema. Sin embargo, siempre hay un exceso de energía en los nodos. Es este exceso de energía lo que permite que los sistemas se acoplen unos con otros. Fuller se refería a este fenómeno como precesión, o acoplamiento en un ángulo. Por ejemplo, un trompo en rotación se mantiene vertical. Su órbita es circular, y produce una fuerza acoplada a 90° para alinearse con la fuerza de gravedad.

Un buen ejemplo de precesión es la abeja y la flor. La abeja busca néctar o polen como alimento, y recoge polen al hacerlo. Este polen se transfiere a otra flor y se da la polinización. Este proceso beneficia tanto a la abeja como a la flor. Este es un ejemplo de biomimesis de transmisión de mensajes o comunicación entre sistemas. Creo que un estudio de las interacciones entre plantas y sus polinizadores revelará muchas ideas para mejoras de diseño en comunicación. (10)

Los sistemas se acoplan en la superficie a través del contacto en sus nodos y muchas aplicaciones de biomimesis se dan en este nivel. Como ejemplos tenemos las superficies hidrófobas (Pintura Lotusan), agregar protuberancias en los bordes

para facilitar el flujo (turbina Whalepower), el borde aserrado de la probóscide del mosquito (aguja hipodérmica) y la estructura fina de la piel de los geckos (cinta gecko).

Una manera de estudiar una interfaz es describiendo los tipos de relaciones que existen en la superficie, enlazando elementos del sistema y analizando las fuerzas para averiguar cuáles están siendo utilizadas y cuáles no. Entonces, uno se puede preguntar qué fuerzas disponibles en la superficie no han sido utilizadas.

Encontramos otro ejemplo de acoplamiento y forma en el sistema más simple: los lados de los tetraedros se pueden acoplar para formar una tetrahélice. Esta estructura gira alrededor de una línea central y un par de tetrahélices es similar a la doble hélice del ADN.

Resumen

Este artículo exploró algunas de las ideas fundamentales de Buckminster Fuller sobre la forma del espacio y las leyes de relaciones que rigen la manera en que los componentes forman estructuras. Aunque la biomimesis ha estudiado parcialmente los acoplamientos por precesión y relación, existen muchas otras aplicaciones. Varios investigadores han estudiado aplicaciones de tensegridad, y es posible seguir explorando



Hélice Coxeter-Boerdijk (tetrahélice)

Foto: fdecomite, 2009 | Flickr cc

y aplicar esas ideas. La forma del espacio se determina por las propiedades de las relaciones y esto nos lleva a un sistema de coordenadas fundamental para las estructuras y el espacio. Esto tampoco se ha estudiado a fondo y hay muchas nuevas aplicaciones posibles.

Referencias

1. Baldwin, Jay. Buckyworks: Buckminster Fuller's Ideas for Today. (Wiley, 1977)
2. <http://www.rwgrayprojects.com/synergetics/synergetics.html>
3. French, Michael. Invention and Evolution: Design in Nature and Engineering. (Cambridge, 1994)
4. Hinds, Bruce and Hastrich, Carl. Course Materials for Ontario College of Art and Design
5. <http://apps.childrenshospital.org/clinical/research/ingber/Tensegrity.html>
6. <http://www.biotensegrity.com/index.php>
7. <http://www.intensiondesigns.com/>
8. <http://www.kennethsnelson.net/>
9. Edmondson, Amy. A Fuller Explanation
<http://books.google.com/books?id=F6n2dZJ1POwC&printsec=frontcover&vq=ivm#v=onepage&q=ivm&f=false>
10. McNamara, Curt
<http://www.linkedin.com/pub/curt-mcnamara-m-eng-p-e/3/b21/b89>



Sin título (Ballena jorobada)

Foto: cheesy42, 2008 | Flickr cc





