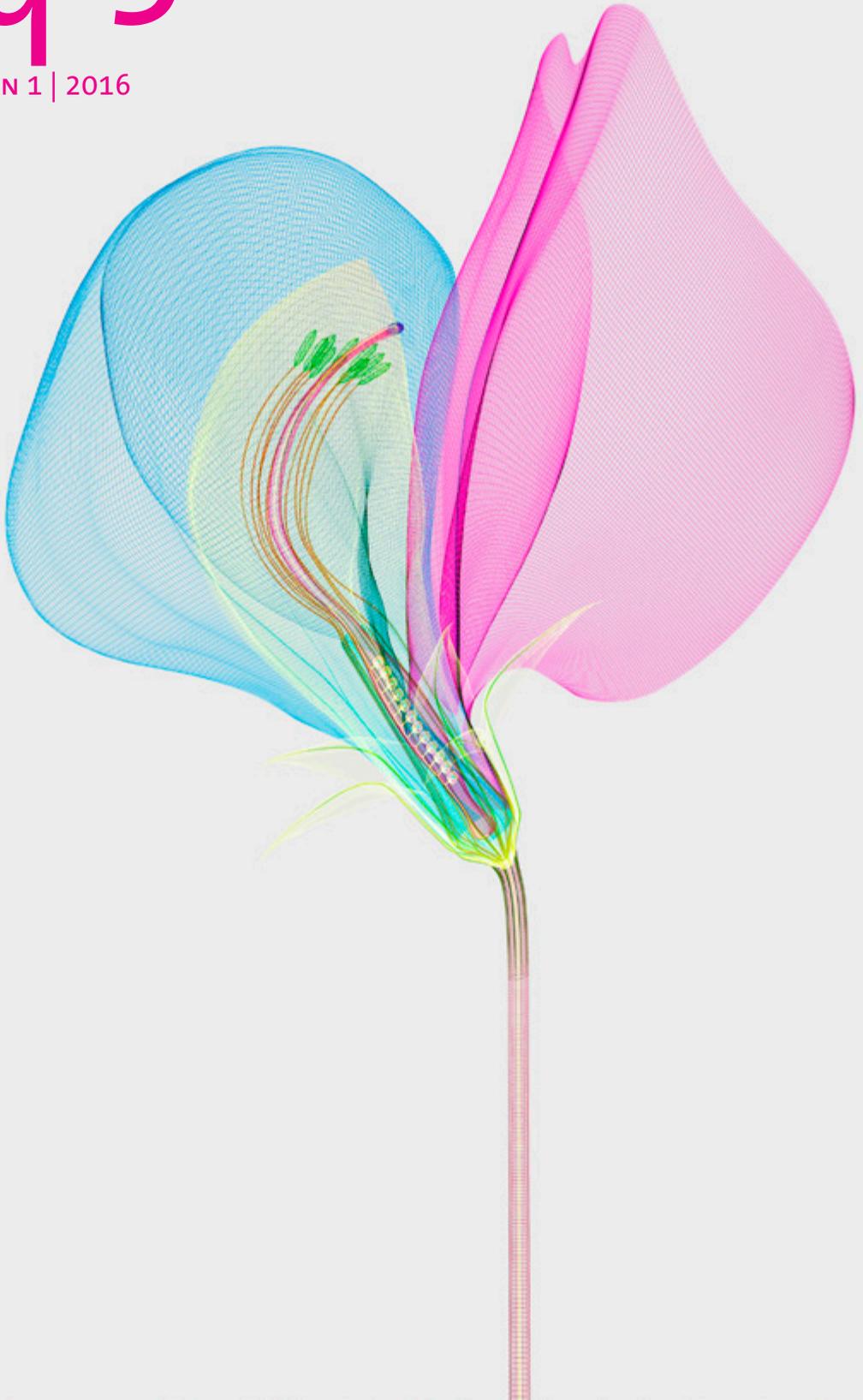
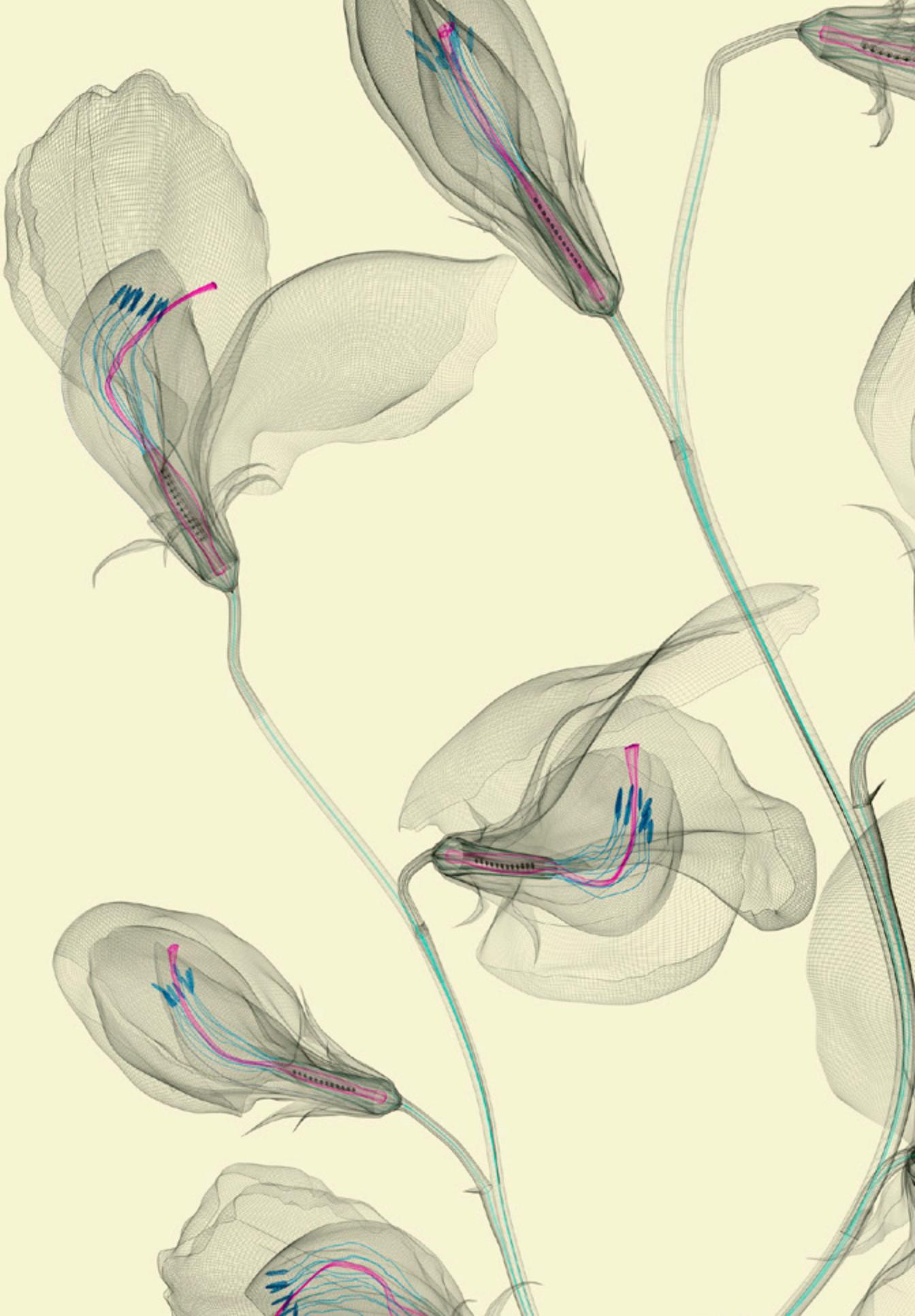


zq¹⁵

VOLUMEN 1 | 2016







Acerca de Zygote Quarterly

Editores

Marjan Eggermont

Norbert Hoeller

Tom McKeag

Editores de la versión en español

Raúl de Villafranca

Azucena Garza

Traducción

La ciencia del ver: Colaborando con el destino: Los neles solares no parecen árboles?, Curiosidad sin aeronautas del Monte Santa Helena, Portafolio, Límites: Un Tributo a Steven Vogel: Ana Gabriela Editorial: Azucena Garza; Entrevista con Robin la Robles; Opinión: Cuando el éxito falla: Lidice Rogers y Kalina Raskin, Opinión: ¿Por qué los pa- Murguía.

Editores Colaboradores

Manuel Quirós

Adelheid Fischer

Raúl de Villafranca

Tanya Lynne Sakamoto

Kristen Hoeller

Colaboradores

Sayuri Yamanaka

Delfín Montañana

Oficinas

Calgary

San Francisco

Toronto

Ciudad de México

Phoenix

Madrid

Portada

Portada: Guisante dulce - iii - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

pp. 2 -3 y pp. 112-113: *Lathyrus odoratus* L. - vista de la ecología - ow (y detalle) Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

Diseño

Marjan Eggermont

Colin McDonald

Creative Commons License



ISSN

1927-8314

Edición de la versión en español

Zygote Quarterly

Universidad Iberoamericana Ciudad de México,
Departamento de Arquitectura

Contacto

info@zqjournal.org



Curiosidad y disciplina

Dedicamos este número al recientemente fallecido pionero de la biomecánica Steven Vogel, prolífico autor y maestro inspirador, mentor para toda una generación de exitosos pupilos académicos. Empezamos con un breve resumen de su vida y de su filosofía, y reimprimimos dos artículos que Steven escribió para ZQ. Su curiosidad y la disciplina para ir tras ella fueron dos rasgos centrales de la vida de Steve, y efectivamente parecen ser los fundamentos de la ciencia y del descubrimiento.

En ambos artículos, Steve nos lleva a pensar en ideas que de otra manera no hubiéramos considerado, ya sea por falta de atención a las maravillas cotidianas o por tener mentes menos rigurosas. ¿Por qué descartar las “fallas” tecnológicas, por ejemplo, cuando pueden ser tesoros tan ricos de inspiración, y porque asumir *cualquier cosa* acerca de un árbol simplemente porque es algo común y corriente? Vogel era muy bueno para hacernos ver el mundo a través de su lente discriminador y llegó a miles a través de sus escritos.

Esta mezcla de curiosidad y disciplina también se hace evidente en las entrevistas que se presentan en este número. El Dr. Robin Rogers, destacado químico “verde”, nos habla acerca de los retos de profundizar el impacto y base de conocimiento de la química “verde” a través de la investigación aplicada en Canadá y más allá. La Dra. Kalina Raskin, administradora de red en CEEBIOS (Centro Europeo de Excelencia en Biomimesis en Senlis), en Francia, describe los problemas actuales en la difusión de

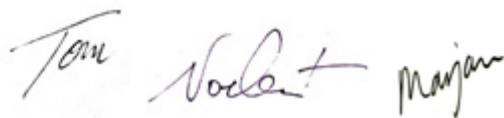
información biomimética y la construcción en Europa de un centro multisectorial para la colaboración bioinspirada.

Heidi Fischer escribe otra maravillosa historia de exploración, esta vez en los yermos cataclísmicos del Monte Santa Helena. Allí, investigadores están descubriendo hechos sorprendentes acerca de la manera en que el mundo natural reconstruye su compleja red después de una devastación completa.

Finalmente, el artista que presentamos, Macoto Murayama, nos deleita e inspira con su perspectiva fresca de los grabados botánicos: yuxtaponiendo la precisión de los dibujos hechos por CAD con las formas orgánicas de las flores y el estilo retro de los grabados antiguos. En el proceso, Macoto revela, a través de la curiosidad y la disciplina, las geometrías y estructuras internas de las formas cotidianas que pasan desapercibidas. Estamos seguros de que a Steve Vogel le habría gustado.

¡Disfruten su lectura!

×

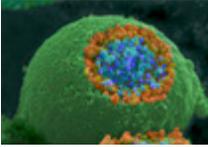


Tom McKeag, Norbert Hoeller y Marjan Eggermont



Curiosidad sin Límites: Un Tributo a Steven Vogel

Tom McKeag 8



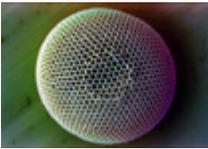
Opinión: Cuando el éxito falla

Steven Vogel 18



Personas: Entrevista con

Robin Rogers 32



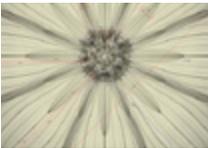
Personas: Entrevista con

Kalina Raskin 44



La ciencia del ver: Colaborando con el destino: Los aeronautas del Monte Santa Helena

Adelheid Fischer 54



Portafolio:

Macoto Murayama 74



Opinión: ¿Por qué los paneles solares no parecen árboles?

Steven Vogel 104



Insecto en vuelo

Foto: Steve Roetz, 2008 | Wikimedia Commons



*Curiosidad sin
Límites: Un Tributo
a Steven Vogel*

Tom McKeag

Curiosidad sin Límites

El Dr. Steven Vogel falleció el 24 de noviembre de 2015, después de sufrir cáncer. Fue profesor emérito James B. Duke en el Departamento de Biología de la Universidad Duke, autor de diez libros incluyendo dos libros de texto clásicos y más de 100 artículos académicos. A través de su popular escritura ayudó a definir el campo de la biomecánica y fue uno de los primeros en explicar con claridad cómo las limitantes mecánicas afectan la forma y el comportamiento biológico.

Una noche en octubre de 2011, Steve Vogel me mencionó que el campo del diseño bioinspirado debía tener una publicación informal o una especie de espacio comunitario donde los practicantes de todas las disciplinas pudieran compartir ideas. Vogel pensaba que esto podría llevarnos a todo tipo de colaboraciones fructíferas e introspecciones, además de servir de foro, especialmente para aquellos que trabajan en el área medio miope de la investigación científica de laboratorio.

Steve me estaba visitando después de participar como conferenciante invitado en un curso de posgrado que yo estaba manejando en Berkeley, “Cómo haría eso la naturaleza”, y me di cuenta en ese par de días que el hombre al frente del aula no era diferente del reconocido autor o huésped: generoso, humilde, y más que nada, siempre curioso sobre el mundo circundante. Continuamente reflexionaba acerca de cómo funciona el mundo, y era un desafío para mí seguir el paso de su incansable deseo de examinarlo o el profundo conocimiento que tenía para hacerlo.

A los pocos meses lanzamos *Zygote Quarterly*, y Steve tuvo la amabilidad de escribir un artículo para nuestro primer número, (reimpreso en la página 18). El tema fue divertido y no implicó gran esfuerzo para este prolífico y versado escritor: buenas ideas que nunca fueron exitosas. Bastante adecuado para un hombre cuyo recurso eran las ideas. Creía en el valor inherente de las ideas, y por extensión, en el valor de la ciencia pura con el rigor y el descubrimiento que ésta conlleva. “La ciencia es el triunfo de la imaginación humana en la disciplina de explicarnos el mundo a nuestro alrededor”.

En cuanto a su posición en el campo del diseño bioinspirado, recientemente lo había empezado a buscar toda una nueva generación, no de científicos, sino de gente común y corriente entusiasmada por las ideas de sus muy amenos libros y con muchas ganas de aplicar sus conocimientos biológicos a problemas prácticos. Él estaba abierto a discutir sus ideas con cualquiera, y no mostraba desdén hacia quien tenía menos información, como yo mismo puedo atestiguar.

Esto no quiere decir que no mantuviera sus estándares de rigor científico, y de hecho le inquietaban un poco lo que él describía como “las alusiones teológicas” de algunos fanáticos de la biomimesis. Reconocía las dificultades de traducir directamente entre las dos “tecnologías” de la Naturaleza y del Ser Humano que tan hábilmente describió en su libro *Ancas y Palancas* y descubrió que muchas afirmaciones populares no se habían corroborado y se promovían con



Primer plano de una mariquita volando | Foto: Luca5, 2008 | Flickr cc

fervor. Aun así, en su opinión el acto mismo de comparar era inmensamente útil, tan importante como cualquier resultado bioinspirado. En una charla con Adrian Smith del “Podcast la era del descubrimiento” el 30 de septiembre de 2014, el Dr. Vogel lo explicaba así:

“... hay otra manera de verlo (comparando las dos tecnologías) y esto es, si las soluciones que encuentras en las dos tecnologías son siempre las mismas, entonces se trata de un sistema restringido. Si son diferentes, entonces el sistema no está restringido y por tanto existe una tercera opción posible.”

Lo que le emocionaba a Steve Vogel era especular acerca de lo que podría ser esa tercera opción.

Dentro de su trabajo científico en la biomecánica, las comparaciones eran inmensamente importantes, particularmente el concepto biológico de convergencia. La convergencia se puede definir como la tendencia de animales y plantas no relacionadas entre sí a evolucionar características superficialmente similares bajo condiciones ambientales similares. “La convergencia es la manera en la que la Naturaleza nos dice lo que es importante. Los biólogos comparativos buscan encontrar características compartidas no derivadas, o problemas que un número importante de organismos ha resuelto”.

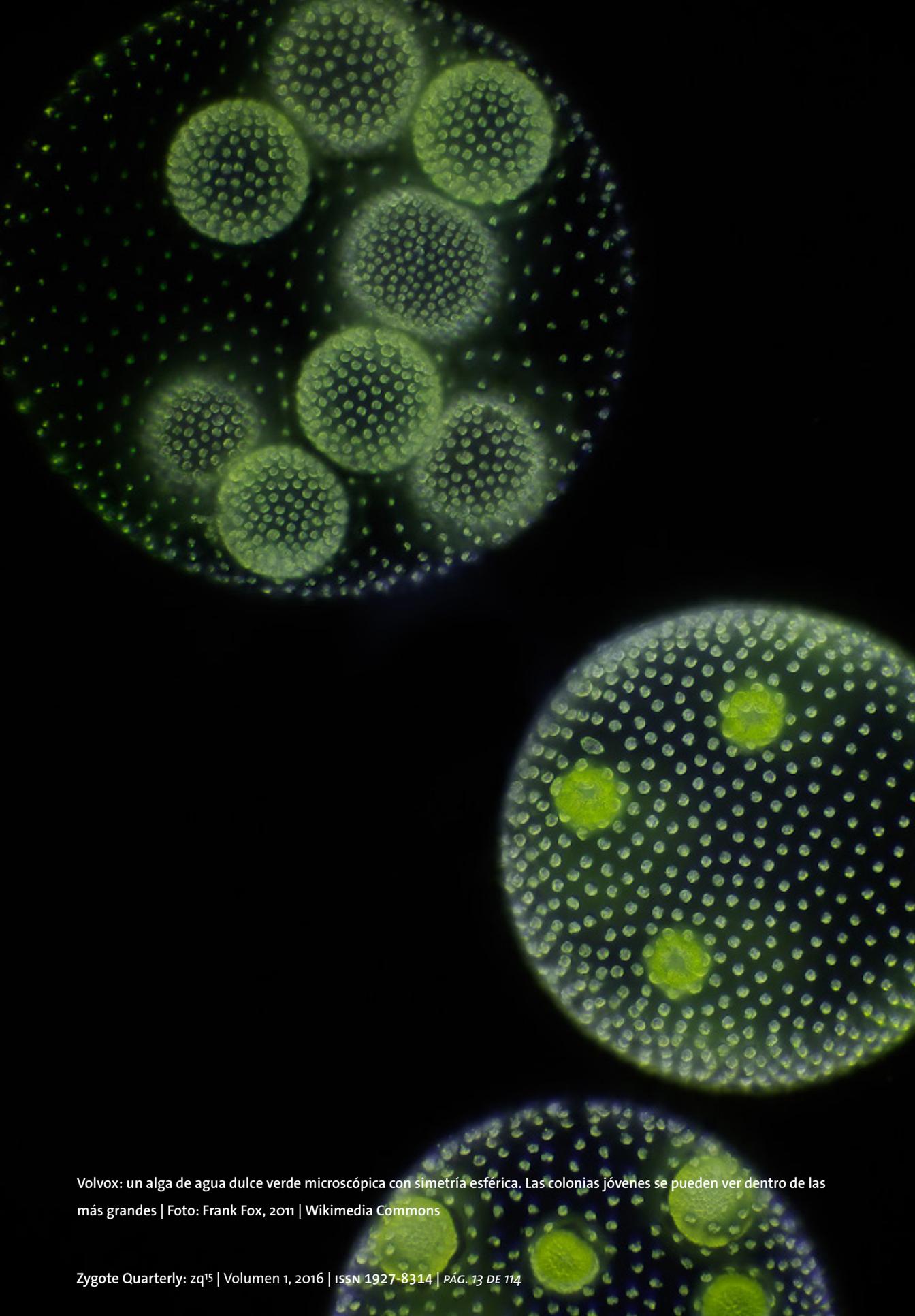
Interesado en la biología gracias a un profesor de secundaria, Vogel estudió en la Universidad de Tufts y después en Harvard donde primero obtuvo una maestría y luego un doctorado en Biología. Llegó a Duke en 1966 como asistente de profesor y se quedó 40 años, primero en el Departamento de Zoología y después en el de Biología. Durante varios veranos fue profesor visitante en el Laboratorio de Biología Marina, en

Woods Hole, Massachusetts, en el laboratorio Friday Harbor de la Universidad de Washington y en el laboratorio Tjarno en Suecia. Tenía recuerdos especialmente entrañables del laboratorio de Friday Harbor.

Su principal legado, más allá de las décadas de enseñanza inspiradora, yace en la publicación de sus populares libros; un hecho que lo divertía, ya que le tomó un tiempo darse cuenta de que sus escritos estaban teniendo más impacto en el mundo que ninguno de los experimentos que estaba llevando a cabo. Fueron los experimentos prácticos, no obstante, los que mantenían su curiosidad y ofrecían los ejemplos tangibles que le daban tal credibilidad a la expresión de sus ideas.

Empezó estudiando la biomecánica del vuelo de los insectos, luego se puso a estudiar el padecimiento de estrés de baja velocidad en las hojas, seguido por estudios de organismos marinos como las lapas y las algas, los hongos basidiomicetos, los calamares, las esponjas y los mamíferos. Uno de sus estudios más conocidos fue sobre la ventilación inducida en las madrigueras de los perritos llaneros, una observación inicial que se aseguró de atribuir a su estudiante de posgrado.

De sus libros, el más impactante quizá fue el de *Biomecánica Comparativa*, ya en una segunda edición y ampliamente utilizado. Los más populares fueron *Ancas y Palancas*, *Vital Circuits* (Circuitos vitales) sobre sistemas circulatorios, *Prime Mover* (Fuerza motriz), sobre los músculos, y *Life in Moving Fluids* (La vida en los fluidos en movimiento), también un libro de texto. *The Life of a Leaf* (La vida de una hoja) fue su último



Volvox: un alga de agua dulce verde microscópica con simetría esférica. Las colonias jóvenes se pueden ver dentro de las más grandes | Foto: Frank Fox, 2011 | Wikimedia Commons



Encuentro del perro de la pradera | Foto: Tupulak, 2015 | Flickr cc



libro, cerrando una carrera productiva de escritura científica que inició cuando Vogel tenía 40 años de edad.

Rechazaba con frecuencia la búsqueda continua de fondos para la investigación y valoraba la independencia de la ingenuidad y frugalidad yanqui que le permitía trabajar en las cosas que despertaban su curiosidad construyendo sus propias herramientas de bajo costo para laboratorio. Abundaba efusivo sobre una visita a la ferretería local, y en más de una ocasión me recitó lo que me parecía un mantra: “Cuanto más haces, más *puedes* hacer”.

También valoraba enormemente el impulso humano de aprender. “Nosotros (científicos) somos autodidactas. Un grado doctoral básicamente certifica que eres un autodidacta”. De hecho, sus muy diversos estudios surgieron más de un interés personal que de un entrenamiento formal. “Nunca tomé un curso formal de biomecánica o de mecánica de fluidos, y sin embargo escribí un libro”.

Sus complicadas exploraciones iban de acuerdo a su filosofía de que la vida es un asunto un tanto fortuito en donde el carácter propio es la única constante: “Sigue a tu nariz, estate siempre preparado, y aprovecha las oportunidades – (esto es) todo lo que puedes hacer”. Para Steve Vogel y el resto de nosotros, es más que suficiente. ×

La mayor parte de las citas directas que aparecen en este artículo fueron tomadas de la serie de audios de Adrian Smith, Age of Discovery Podcast (Podcast de la era del descubrimiento): Entrevistas con biólogos acerca de ser un biólogo, episodio 9, <https://music.youtube.com/watch?v=5AoVu7Ry-uk>

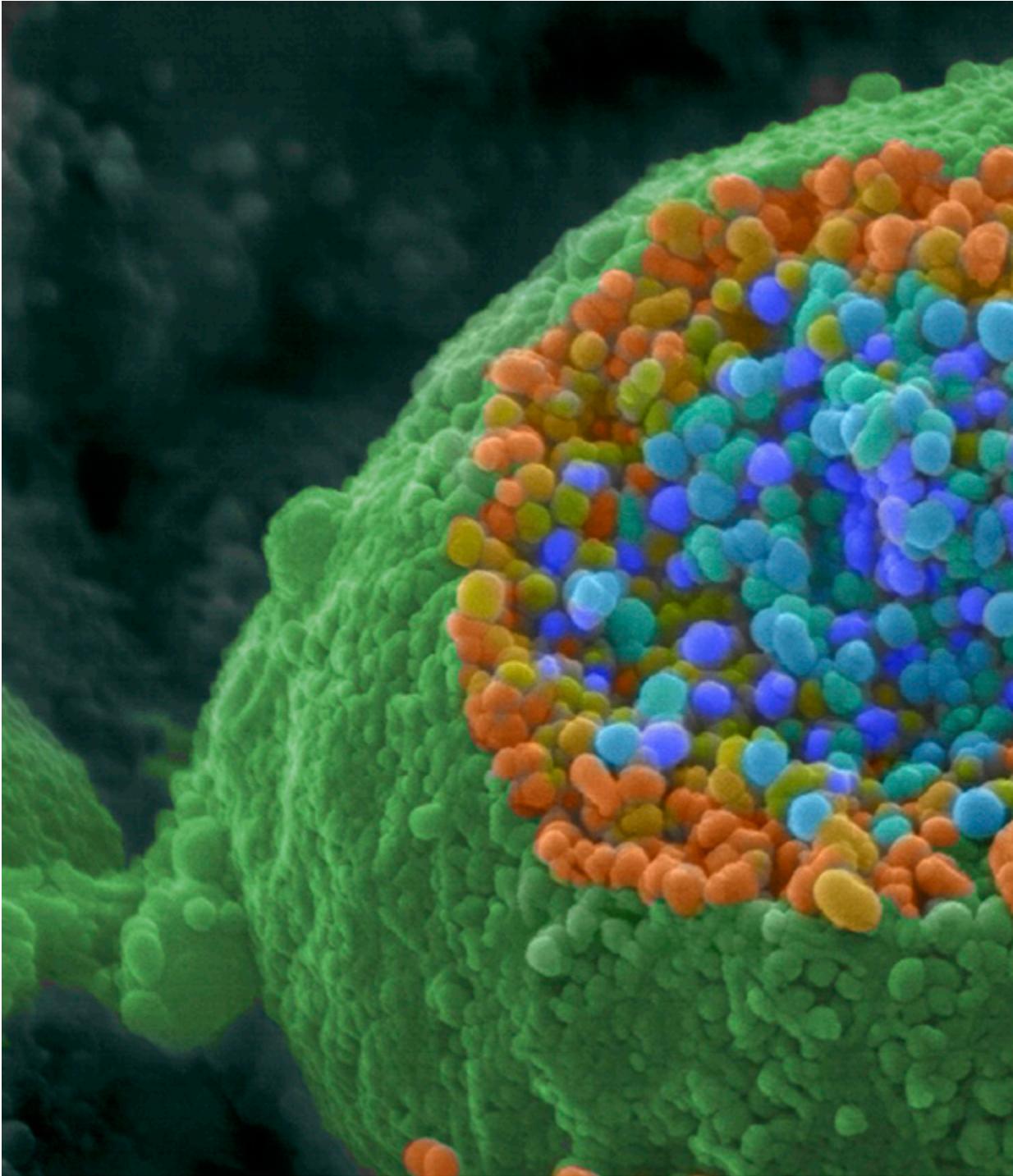
Listado de sus obras publicadas:

<http://fds.duke.edu/db/aas/Biology/svogel>





Boleophthalmus boddarti: Un gobio que se cree comparte algunas características con los extinguidos peces ápodos en términos de adaptaciones a los hábitats terrestres
Foto: J Harrison, 2011 | Wikimedia Commons



Terminación nerviosa

Foto: National Institutes of Health (NIH), 2015 | Flickr cc



Opinión

Quando el éxito falla

Steven Vogel

Cuando el éxito falla

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

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

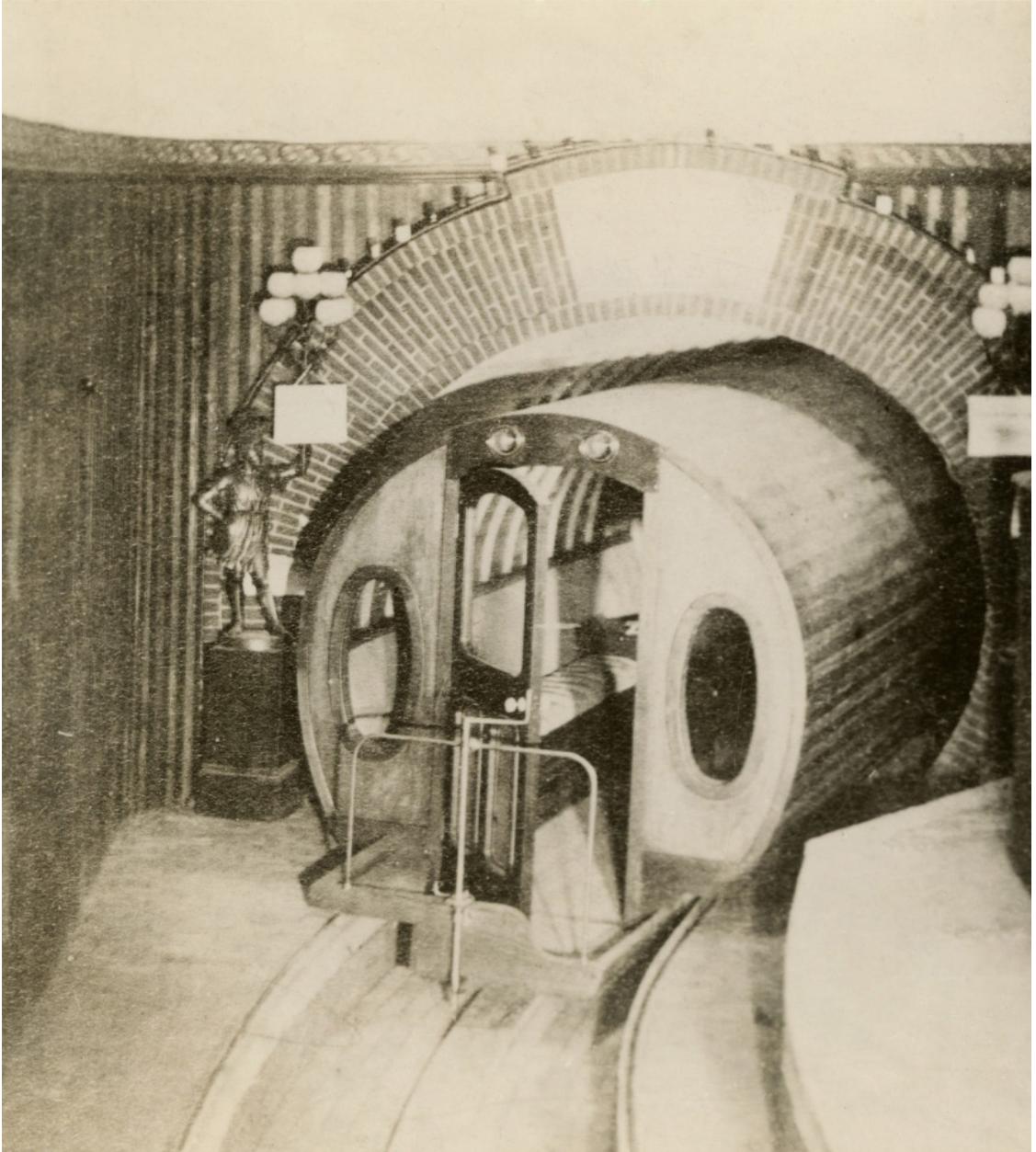
En la primera cuestión, yo argumentaría que el caso representa sólo uno de un número sorprendentemente grande de casos de éxitos técnicos que resultaron ser un fracaso comercial. Al igual que la historia la escriben en gran medida los ganadores, no los perdedores; así como la vida en la tierra muestra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

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

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

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

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



WP Transporte Neumático de Playa: primer intento de construir un sistema de transporte público subterráneo en la ciudad de Nueva York. | Editorial: New York Historical Society, 1873 | Wikimedia Commons

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

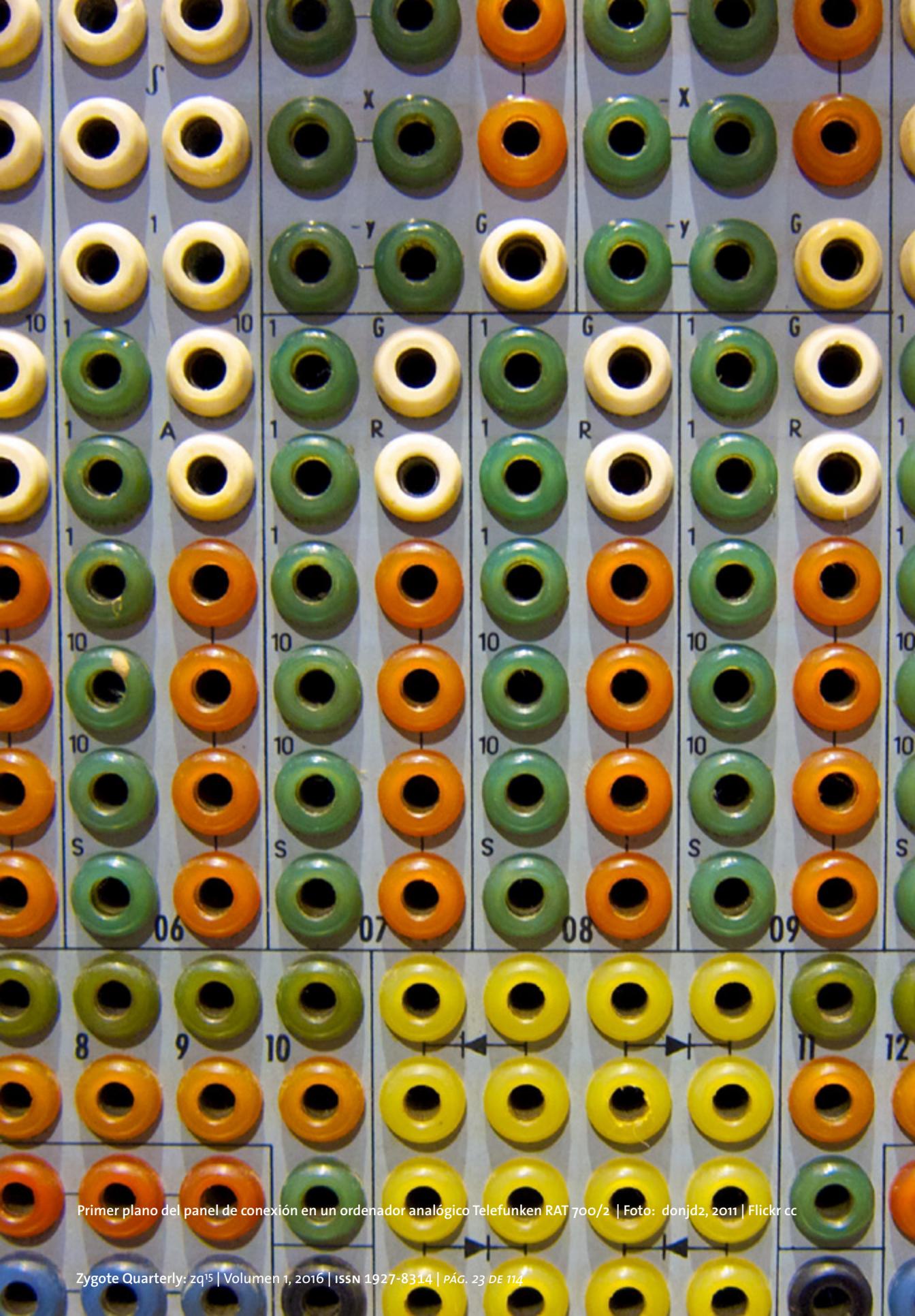
Conocemos los tranvías, los ferrocarriles anacrónicos en los que motores fijos impulsan vagones móviles. En 1847, Isambard Kingdom Brunel, uno de los pioneros del diseño y construcción de ferrocarriles, construyó una versión particularmente sofisticada de un ferrocarril con motor fijo, evitando así la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

Alrededor de 1840, Charles Babbage diseñó lo que equivalía a una computadora sofisticada, totalmente basada, como era necesario en ese momento, en componentes mecánicos. Muy superior a cualquier dispositivo de cálculo anterior, podía haber revolucionado todo tipo de tareas computacionales. Pero construir dicha máquina habría sido extremadamente costoso; de hecho sólo se llegaron a ensamblar partes pequeñas. Y el diseño presentaba pocas esperanzas de lograr cualquier gran economía de escala, aun asumiendo una demanda de pocas unidades.

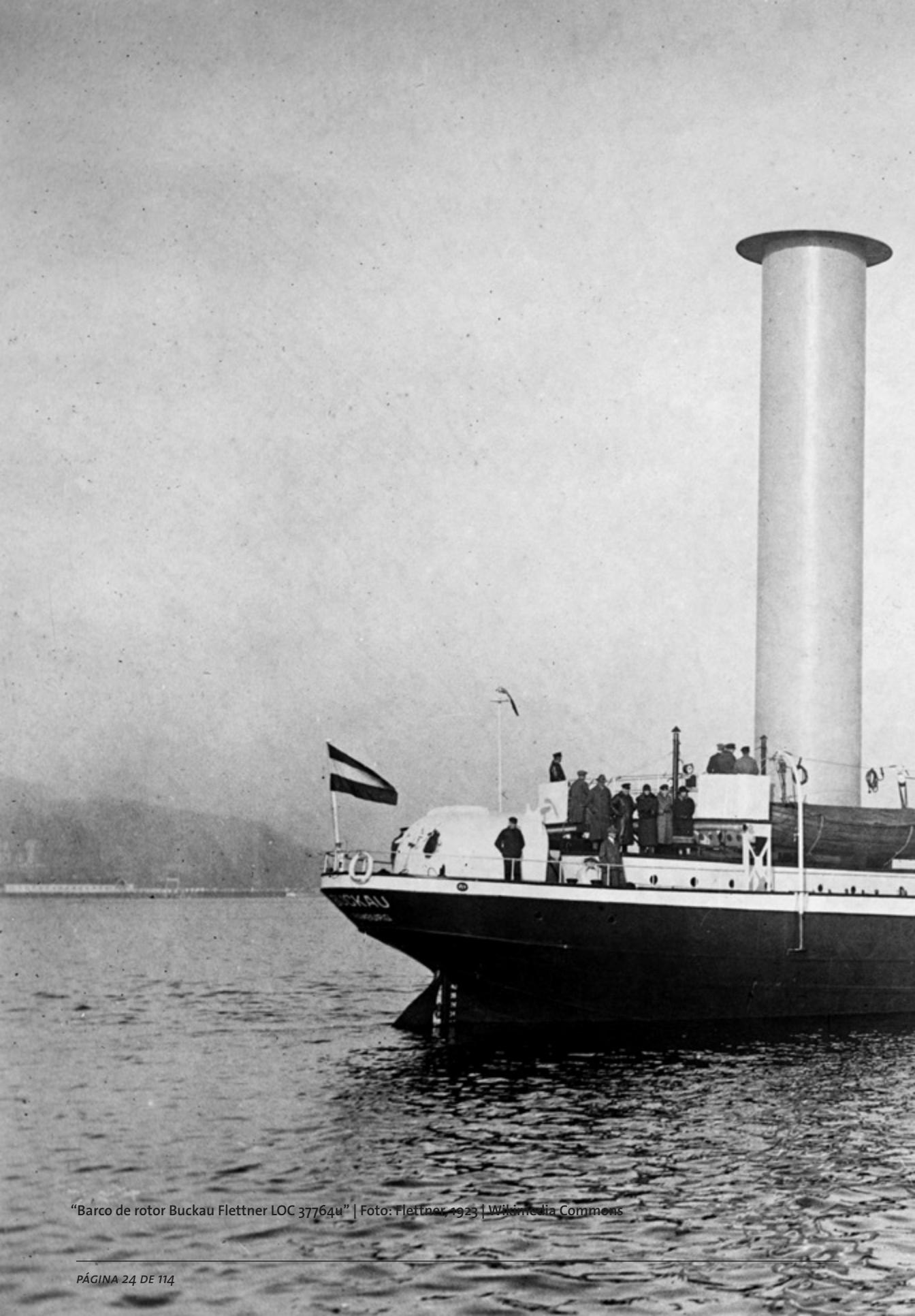
Para los motores a vapor de combustión externa, el agua vaporizada provee el fluido de trabajo mas no el combustible, que pudiera ser inflamable – o cualquier otro suministro de un foco caliente y de un foco frío. Otros fluidos de trabajo funcionan también, y el más común de éstos es el aire. Alrededor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

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

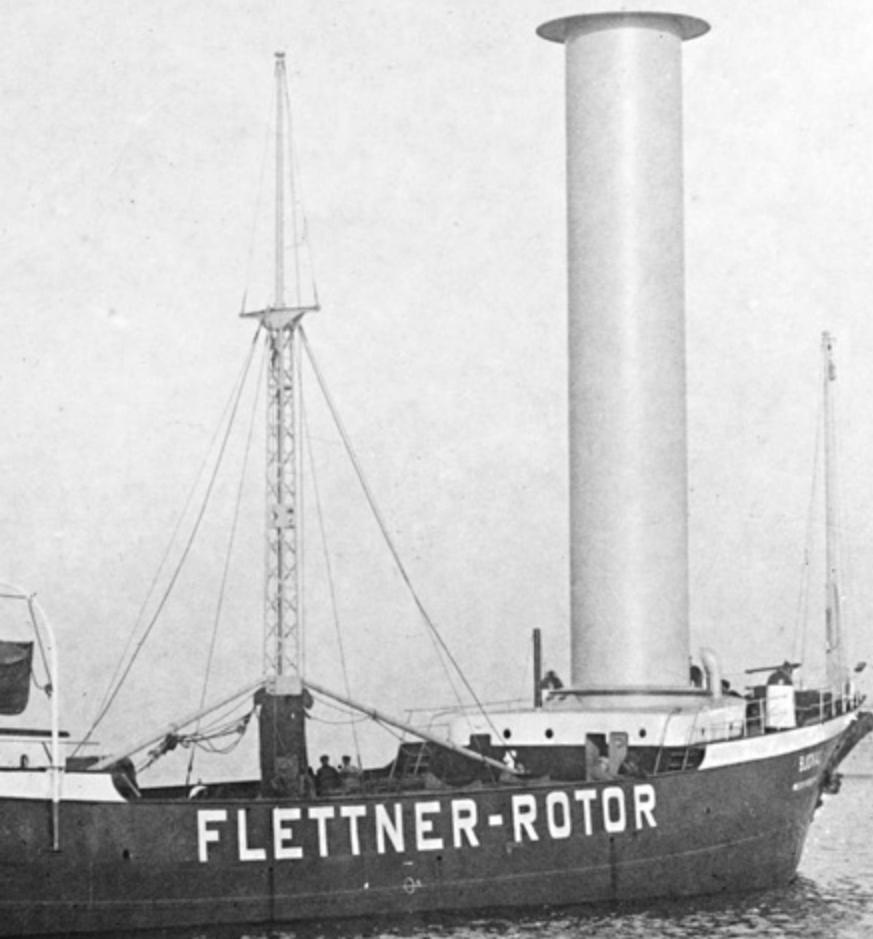
Los aviones de hoy vuelan sobre un paisaje histórico salpicado de los naufragios de tecnologías aerodinámicas, que alguna vez fueron prometedoras. Ni hablar de los aviones con alas batientes, que existían principalmente por nuestra ignorancia sobre cómo mejorar el diseño de



Primer plano del panel de conexión en un ordenador analógico Telefunken RAT 700/2 | Foto: donjdz, 2011 | Flickr cc



“Barco de rotor Buckau Flettner LOC 37764u” | Foto: Flettner, 1923 | Wikimedia Commons





Huellas de pato | Foto: goodmami, 2005 | Flickr cc

las aves, de cómo ir avanzando hacia dispositivos cada vez más grandes y más rápidos. Desde la década de los 30 no se ha construido ninguno de los dirigibles del conde von Zeppelin, con sus marcos rígidos que cargaban bolsas de gas en el interior. Todos los dirigibles posteriores no son rígidos, con una membrana externa que proporciona apoyo a la tracción a la vez que funge como contenedor del gas. Los revolucionarios buques desarrollados por Anton Flettner aprovechaban el impulso generado por el efecto Magnus al avanzar cuando el viento soplaba en los grandes cilindros rotativos verticales ubicados en cubierta. Durante las pruebas que se hicieron, incluyendo un viaje a través del Atlántico, no salieron a relucir defectos básicos; no obstante al mismo tiempo, a principios de los años 20, los buques impulsados por petróleo reemplazaron a aquellos en los que las carboneras reducían el espacio disponible para el transporte de carga, lo que eliminó la necesidad de utilizar velas auxiliares para tramos largos. En 1923 Juan de la Cierva inventó una máquina para volar que, al menos en apariencia, se anticipaba al helicóptero. El rotor horizontal de estos autogiros no se movía mediante un motor, sino que era impulsado indirectamente por la acción del viento entrante mientras que una hélice convencional en la parte delantera o trasera movía la nave hacia adelante. Durante muchos años pilotos aficionados podían comprar kits o construir autogiros, pero hasta donde yo sé, nunca han tenido un uso comercial significativo. Y más recientemente estuvo el Concorde, el avión supersónico, una proeza tecnológica que nunca pudo recuperar su inversión.

Uno puede continuar, mencionando las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, las grabadoras caseras de carrete abierto y de 8 pistas, las má-

quinas de afeitar de cuerda que no necesitan ni enchufe ni baterías recargables, los motores de avión de propulsión a chorro y los estatorreactores, y así sucesivamente. Los éxitos fallan con demasiada frecuencia.

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

Un mensaje más general es la evidencia de que existe un preocupante espacio entre el éxito tecnológico y el comercial. Esto sugiere la necesidad de pasar cualquier idea a través de filtros preliminares antes de invertir de manera importante en tiempo o recursos. Se puede empezar con cuatro filtros:

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

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

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

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

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

En algún curso de ciencias físicas puedes haber encontrado una expresión, PV/T , que define una constante para una cantidad dada de cualquier gas: la presión multiplicada por el volumen y dividida entre la temperatura absoluta no va a variar o no variará lo suficiente para que sea de importancia. Podríamos tomar prestada esa expresión para el uso que nos atañe, sólo redefiniendo las variables. P ahora representará la probabilidad de que funcione un dispositivo tecnológico y comercialmente, si quieres. Una P baja representa pocas posibilidades; una P alta quiere decir un éxito seguro. V es ahora la variable del éxito—prestigio, publicación, permanen-

cia, o dinero contante y sonante—si el dispositivo funciona correctamente. Y T mide el tiempo, el esfuerzo o los recursos necesarios para materializar la idea o llevarla hasta donde pueda ser asignada a otro equipo. Entonces la combinación PV/T provee un índice para medir en términos relativos la idoneidad de un posible proyecto.

Tal vez un ejemplo puede explicar mejor esta abstracción. Todos hemos oído de los calentadores solares. ¿Qué tal un refrigerador celeste, algo que se enfríe por radiación como lo hace la hoja de una planta en una noche despejada y sin viento (y que las hojas se ingenian para evitar) o un camello acalorado cuando cae la noche? Me imagino que se podría utilizar una placa cara arriba de alta emisividad en el infrarrojo lejano, con pasos de aire debajo que conducen a una anti-chimenea que fluye hacia abajo, y que a su vez va a dar a un medio de almacenamiento ubicado debajo de algún espacio habitado. La placa de aluminio, poco perforada, una caja de espuma de poliestireno, cartón para la antichimenea, termómetros—nada más sofisticado que los restos y desechos ordinarios de mi laboratorio, y ensamblado en aproximadamente una hora. Después algunas mediciones iniciales en el patio trasero. Sin importar lo alto que la P o V pueden ser— T difícilmente podría ser más baja. Entonces juego con esto en noches propicias; hasta ahora se han logrado unos pocos grados de enfriamiento. Nada demasiado fabuloso, pero las permutaciones son suficientemente sencillas...

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

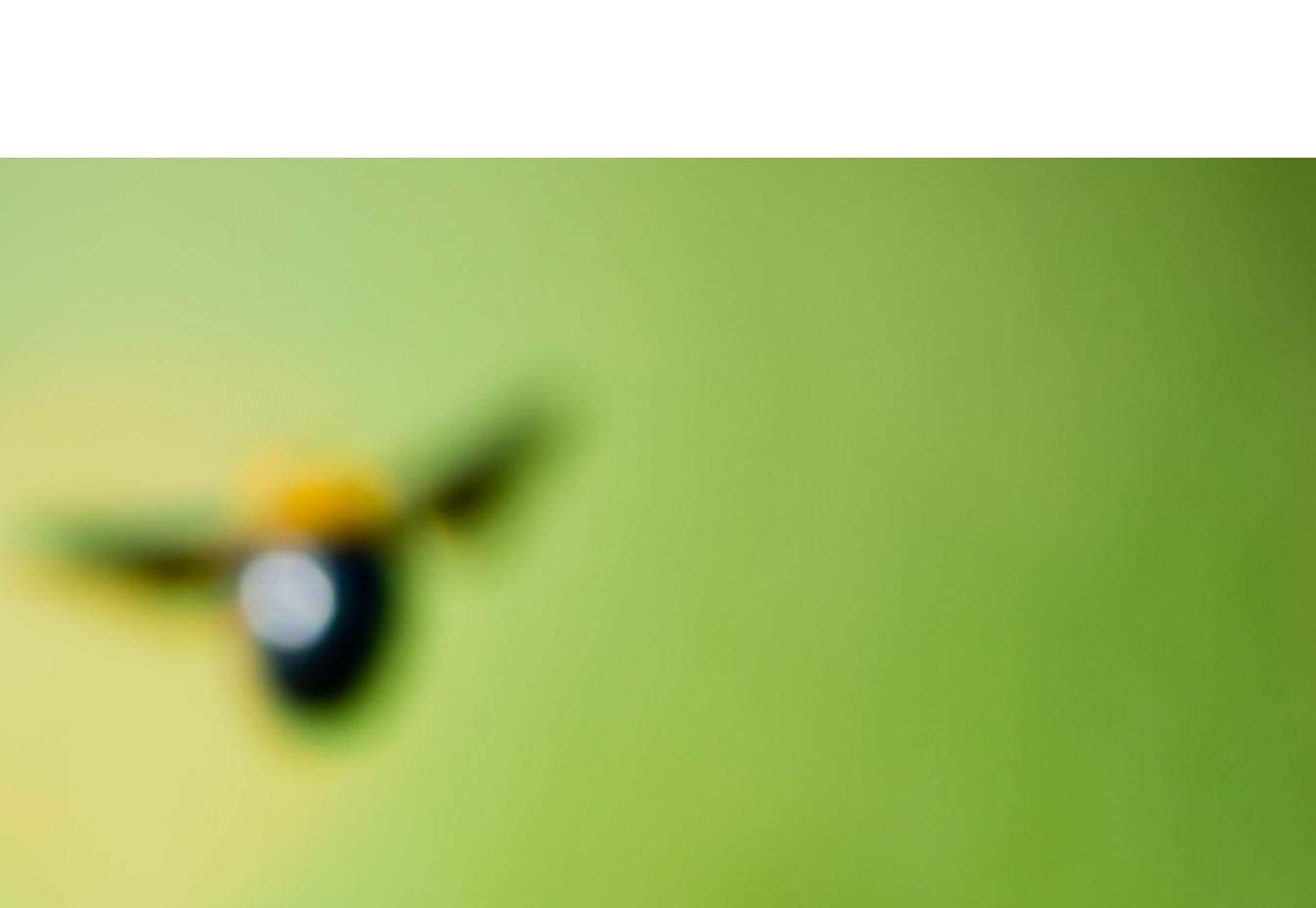


Ramón Casanova y su máquina de propulsión construida por él y patentada en 1917

Foto: Jcbrmc, 1916 | Wikimedia Commons



キバナコスモスとクマバチのおしり
(*Cosmos sulphureus* y abeja carpintera)
Foto: houroumono, 2013 | Flickr cc



Personas

Entrevista con

Robin Rogers y Kalina Raskin



Escarcha

Foto: JeffT4, 2012 | Flickr cc



Entrevista

Robin Rogers

El Dr. Robin D. Rogers actualmente es investigador del programa Canada Excellence Research Chair (presidente de excelencia en la investigación) en Química Verde y Químicos Verdes en la Universidad McGill, en Montreal, Canadá. Sus intereses en investigación cubren el uso de líquidos iónicos y química verde para la tecnología sostenible a través de la innovación, e incluye...

- **Materiales:** materiales poliméricos y compuestos avanzados hechos a partir de bio-renovables.
- **Separaciones:** estrategias innovadoras para la separación y purificación de productos de valor agregado hechos a partir de biomasa.
- **Energía:** nuevas tecnologías de lubricantes y separaciones selectivas.
- **Medicina:** eliminación de residuos y mejora en el funcionamiento farmacéutico.

Rogers es Editor en Jefe Fundador de la revista de la Sociedad Americana de Química, *Crystal Growth & Design* (Crecimiento y diseño de cristales). También es miembro del consejo editorial de *Separation Science & Technology* (Ciencia y tecnología de la separación), *Solvent extraction and Ion Exchange* (Extracción de solventes e intercambio de iones) y *Chemistry Letters* (Cartas de Química), además de pertenecer a los comités asesores internacionales para *Green Chemistry* (Química verde), *Chemical Communications* (Comunicaciones químicas), y *ChemSusChem*. En 2005 fue galardonado con el premio US Presidential Green Chemistry Challenge por su trabajo relacionado con el uso de líquidos iónicos en la tecnología sostenible.

¿Cómo te iniciaste en la química verde?

Después de obtener mi doctorado de la Universidad de Alabama en 1982, di clases en la Uni-

versidad del Norte de Illinois por algunos años. Me interesé en el potencial de minimizar o eliminar sustancias peligrosas y procesos químicos asociados. Mi meta era reducir los impactos ambientales al diseñar para la sostenibilidad y evitar soluciones “al final del tubo”. Regresé a la Universidad de Alabama en 1996, fundé el Centro para la Fabricación Verde en 1998, y serví como Director hasta 2014, enfocándome en materiales avanzados hechos a partir de bio-renovables, estrategias de separación y purificación innovadoras, conversión más eficiente de biomasa y reducción de desperdicios en la manufactura farmacéutica.

¿Qué te llevó a ingresar como catedrático a la Universidad McGill?

Bruce Lennox ha acumulado experiencia en química verde y sostenibilidad por más de 10 años, atrayendo a investigadores de la talla de C.J. Li de la Universidad de Tulane. En 2014, me ofrecieron ser parte del programa Canada Excellence Research Chair (presidente de excelencia en la investigación) en el tema de Química Verde y Químicos Verdes, lo cual incluye \$10 millones de dólares en fondos federales durante siete años. McGill me da la oportunidad de trabajar sinérgicamente con una amplia gama de los principales expertos en sostenibilidad y marcar la diferencia en el ramo de la química verde. También quería elevar el perfil de Canadá como país rico en recursos naturales, pero como productos de valor agregado y experiencia.

¿Cuáles consideras que son los mayores retos que enfrenta la química verde?

A pesar del gran interés de las empresas, la química verde no posee una base tecnológica robusta, ni científicos e ingenieros expertos en el ramo, ni un cuerpo sólido de casos de estudio creíbles. Las empresas tienden a mostrar aversión a los riesgos y los inversionistas quieren un retorno de su inversión. Aun si un científico tiene la experiencia y conocimiento necesarios de

los riesgos asociados con el proyecto propuesto, hacer un caso de negocio atractivo requiere de más experiencia técnica y de negocios.

La inercia sistémica o estructural es otro reto. El ácido poliláctico (PLA) del maíz se ha usado para sustituir al tereftalato de polietileno (PET) derivado de los combustibles fósiles. Sin embargo, al hacer el PLA los biopolímeros naturales se rompen en monómeros que sabemos cómo utilizar. Estos monómeros son insumos adecuados para la industria química que los reensambla en los



Muestra de lodo agrícola

Foto: Wellcome Images, 2015 | Flickr cc

polímeros usados en productos como el PLA para las botellas de agua. Dejando de lado la cuestión de si deberíamos estar haciendo botellas de agua, usar los polímeros naturales es una amenaza directa para el modelo de negocios de las empresas químicas existentes. La falta de fondos para la investigación por parte de la industria

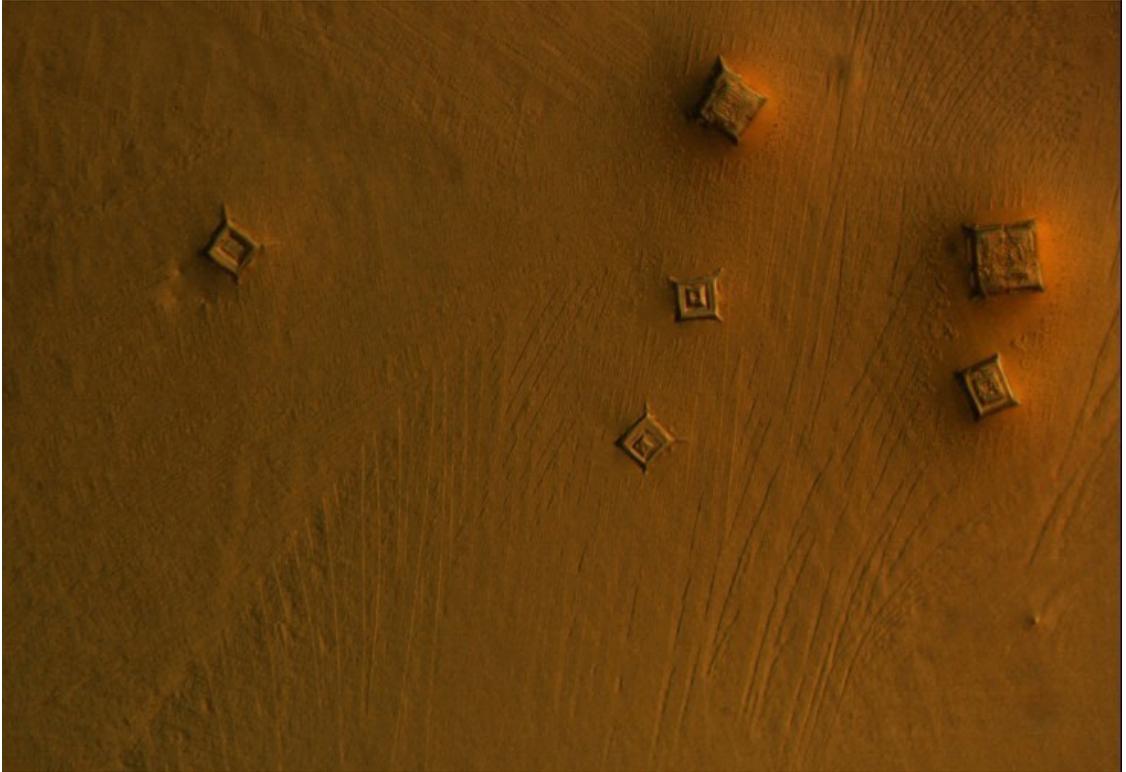
hace difícil cerrar la brecha que existe entre el concepto y el producto final, lo cual resulta preocupante para la comunidad de inversores.

Incluso el término *Química Verde* enfatiza la reducción de la toxicidad más que la búsqueda de saltos transformativos. Todavía estamos tratando de resolver los problemas de hoy basados en la experiencia y práctica del pasado. Necesita-



Gorgójo del algodón (*Anthonomus grandis*)

Foto: Wellcome Images, 2015 | Flickr cc



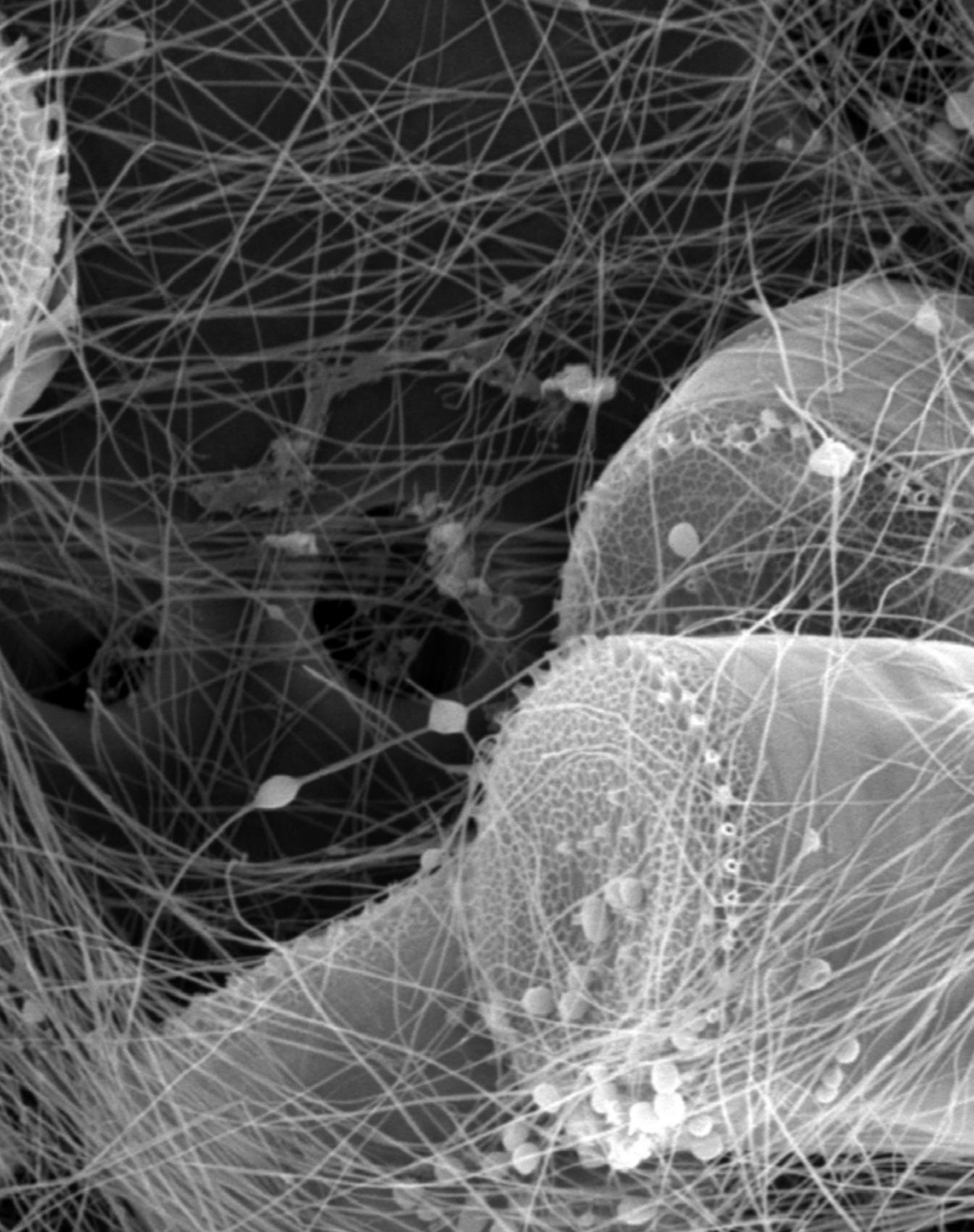
mos salirnos de nuestra zona de confort para explorar las posibilidades del mañana. Paul Anastas, uno de los padres de la química verde, contó la historia de la gran preocupación que se tenía en la década de 1890 porque el crecimiento de la economía basada en el transporte a caballo no podría sostenerse especialmente en las ciudades (Morris, 2007). Ninguna solución fue evidente en aquel momento, y sin embargo para los años 20 la máquina de combustión interna estaba reemplazando rápidamente a la fuerza del caballo, transformando la vida urbana y la economía rural.

¿Qué soluciones ves para estos retos?

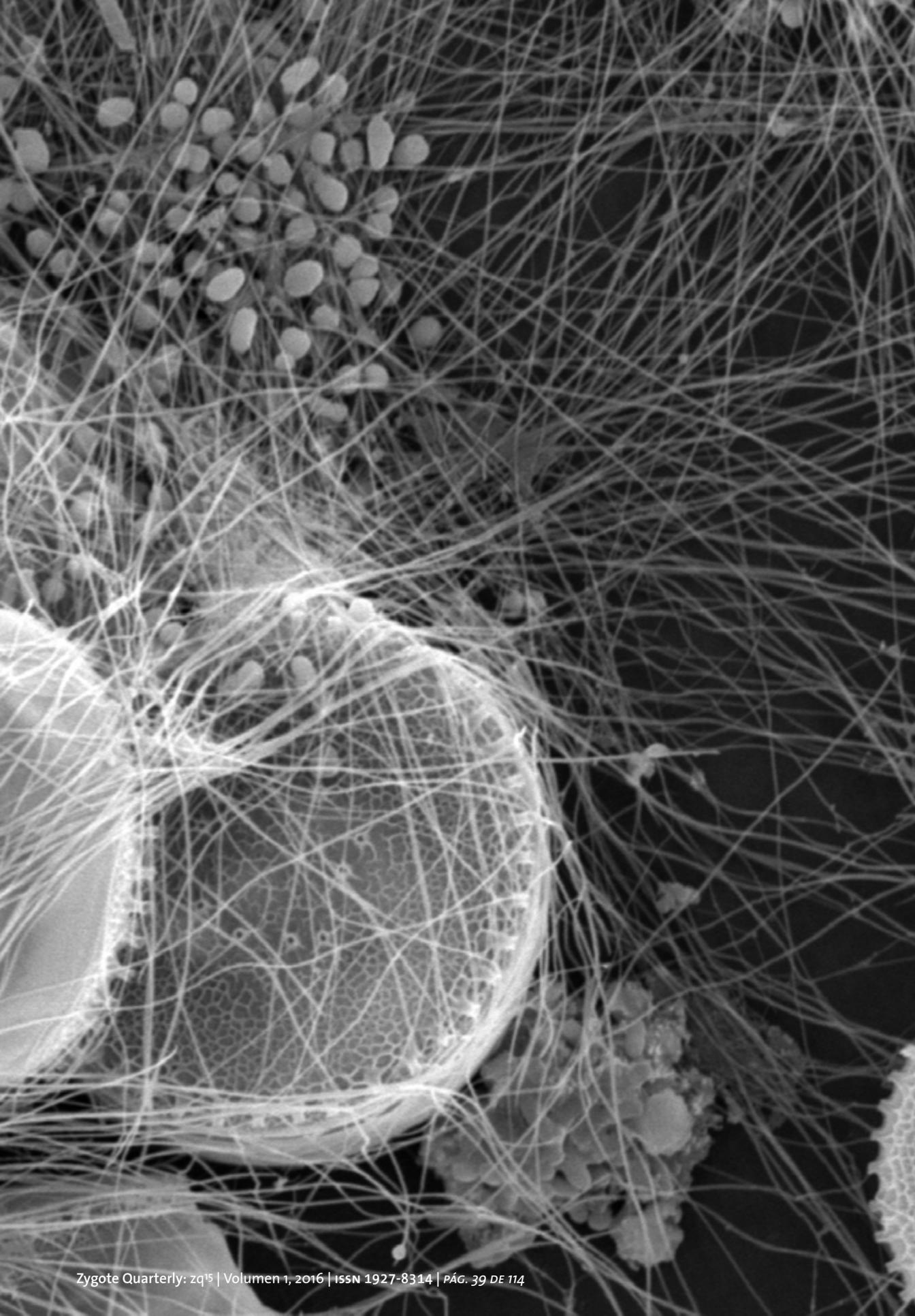
Uno de mis héroes es George Washington Carver de la Universidad de Tuskegee en Alabama. Alabama padeció grandes infestaciones del picudo del algodón a finales del siglo XIX y principios del XX, lo cual amenazaba con paralizar a la industria algodonera. Carver trabajó con los agricultores para introducir nuevos cultivos como frijol de soja y cacahuate que no solo ayudaron a restaurar el suelo sino también a crear una nueva economía que no dependiera del algodón. Para ayudar a generar una demanda para estos

Cristales de la salsa de soja

Foto: Wellcome Images, 2015 | Flickr cc



La bacteria *Vibrio parahaemolyticus* que se adhiere a la quitina expresada por diatomeas | Foto: Costa Oeste de la Pesca NOAA, 2013 | Flickr cc

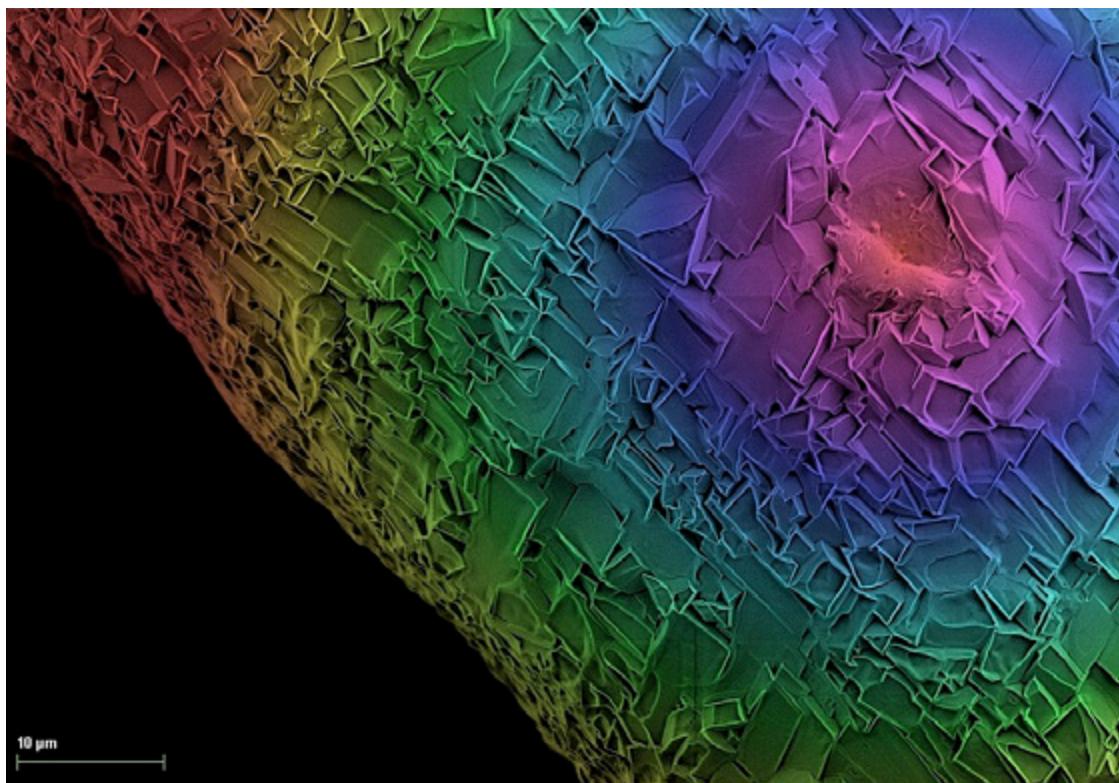


nuevos cultivos, Carver desarrolló y patentó una serie de nuevos productos incluyendo la crema de cacahuete.

Busco oportunidades para construir paso a paso, comenzando con pequeños apoyos académicos para construir prototipos de laboratorio, después fondos empresariales para empezar la producción. Esta etapa proporciona la información para generar casos de negocio creíbles que puedan convencer a la comunidad de inversionistas de financiar la implementación a escala comercial. Avanzar a pasos pequeños da tiempo para evaluar adecuadamente las implicaciones --in-

cluso utilizar recursos naturales puede generar consecuencias involuntarias o resultar insostenible conforme aumentan los volúmenes.

Es importante entender el sistema en el que se introducen las nuevas ideas, productos y procesos. ¿Qué necesidad o problema aborda el nuevo enfoque? ¿Hay un mercado para el producto que generará un flujo de ingresos? ¿Existen proveedores clave que resultan esenciales para el éxito del programa, pero a la vez se sienten amenazados por el mismo? ¿Qué recursos adi-



Hebra de fibra de quitosano electrohilada con exceso de reticulante

Foto: msaustero, 2010 | Flickr cc

cionales y experiencia se requieren para entregar “un producto completo” y qué les motiva para involucrarse?

En algunos aspectos, la industria forestal canadiense enfrenta tiempos difíciles, parecido a lo que sucedió en Alabama. He estado tratando de lograr que las empresas forestales colaboren en un laboratorio conjunto que podría aislar cualquier producto químico y polímero de los árboles y desarrollar una gama de productos de alto valor. La meta es ayudar a las empresas forestales a dejar de verse a sí mismas como proveedoras de productos de madera, y convertirse en negocios de la innovación que ofrezcan soluciones innovadoras y valiosas, idealmente de una manera sostenible.

¿En qué estás trabajando ahora?

La pesca de camarón en Alabama alrededor del pueblo Bayou La Batre se vió severamente afectada por el derrame petrolero de Deepwater Horizon. La recuperación ha sido lenta en parte porque los camarones están pagando \$100,000 dólares mensuales para mandar las cáscaras de camarón al relleno sanitario. Las cáscaras de camarón y otros crustáceos están hechas de quitina, un polímero que puede convertirse en productos médicos biocompatibles de alto valor incluyendo suturas y vendajes médicos. Comenzamos con apoyo de NSF (Fundación nacional para la ciencia, por sus siglas en inglés) para la extracción de quitina en laboratorio en cantidades de aproximadamente 3 ml. La siguiente etapa se desarrolló con una subvención de \$1.5 millones de dólares del programa Small Business Innovation and Research (Innovación e investigación para la pequeña empresa, <https://www.sbir.gov/>)

[sbir.gov/](https://www.sbir.gov/)) durante dos años, que nos permitió aumentar la extracción a 20 litros, desarrollar un absorbato de iones de metal (Rogers, 2013), involucrar a ingenieros y economistas, y generar la información requerida para un plan de negocios completo para una planta comercial extractora de quitina.

Hasta hace poco, la quitina se ha estado convirtiendo en un polímero de un peso molecular más bajo mediante un proceso de despulpado, y luego se trata para crear quitosano, un compuesto soluble. La meta es construir una nueva “economía de la quitina” que la utilice en su estado natural, lo que nos permite aprovechar su química y estructuras únicas al tiempo que reducimos la complejidad y el coste de fabricar un material sintético comparable. Adicionalmente la quitina puede combinarse con otros materiales para formar compuestos como la fibra de aglinato de quitina-calcio desarrollado para vender heridas (Shamshina et al., 2014) o los compuestos de quitina-seda (<https://zqjournal.org/editions/zq14ES.html> p. 8). Además de las fibras, estos compuestos también pueden formarse en cuentas y películas si se ajusta el proceso de fabricación.

¿Qué mensajes clave tienes para el diseño bioinspirado?

Buscar problemas o necesidades que puedan convertirse en oportunidades de negocio viables. No hay nada malo en tratar de cambiar al mundo, pero es esencial generar un flujo de ingresos.

Involucrar a asesores de negocios y asesores financieros en las primeras etapas de los proyec-

tos, no solo para aprovechar su experiencia, sino también para que puedan entender por completo la oportunidad y puedan evaluar mejor los riesgos.

Alentar a los emprendedores. Mientras que una empresa establecida puede esperar decenas de millones de dólares en utilidades anuales antes de considerar un proyecto, los recién graduados participarán en un proyecto por la oportunidad de generar \$1 millón de dólares al año.

Desarrollar una línea de productos --unos cuantos productos individuales generan un flujo de ingresos viable que cubre tanto el capital como los costos de operación.

Cambiar de un enfoque en químicos y componentes a otro en innovación sostenible continua y de valor agregado.

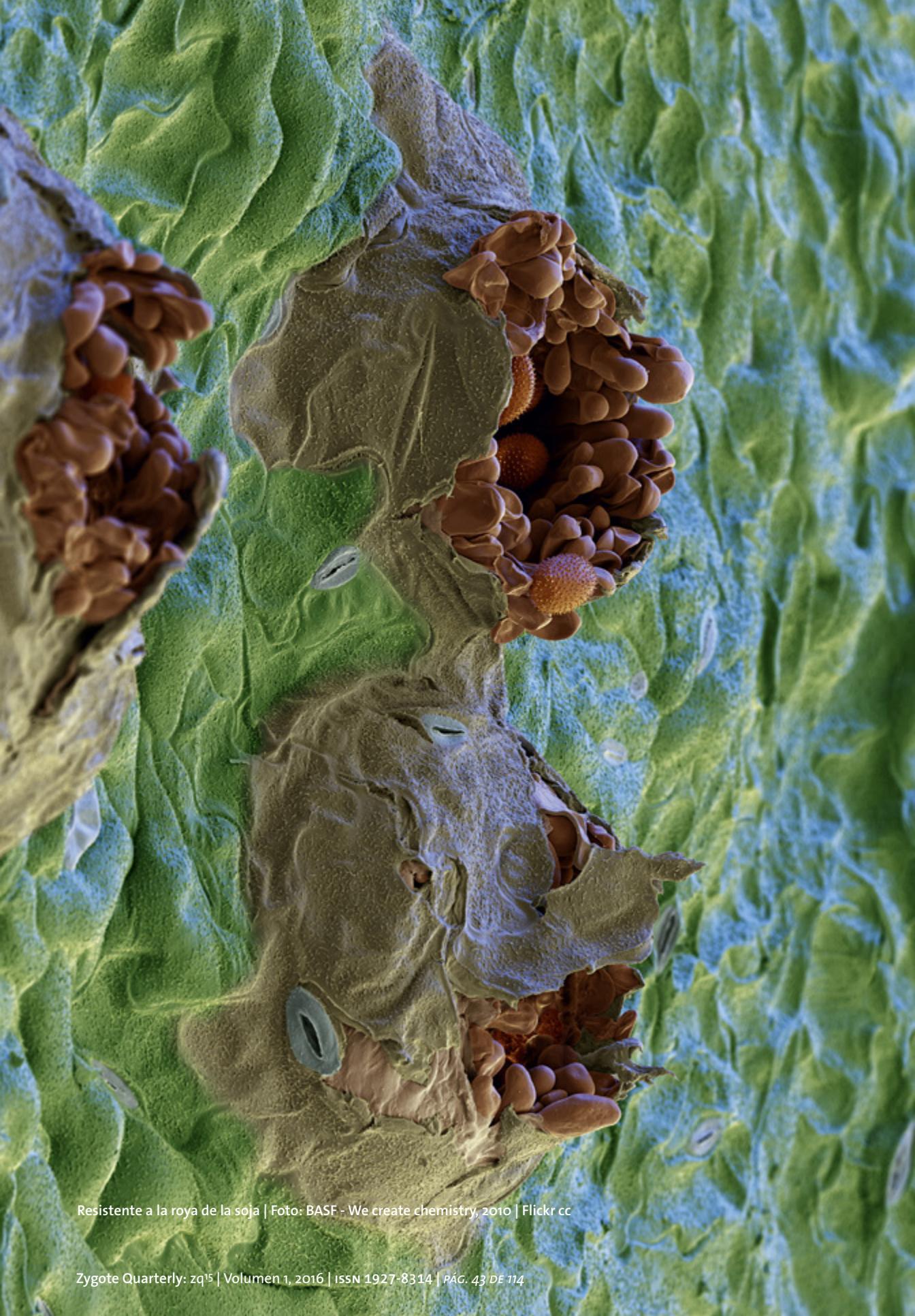
Si alguien lo va hacer, eres tú. Mi reto personal es encontrar materiales renovables que puedan convertirse en productos viables: un producto, un estudiante y un dólar a la vez. ×

Lecturas adicionales

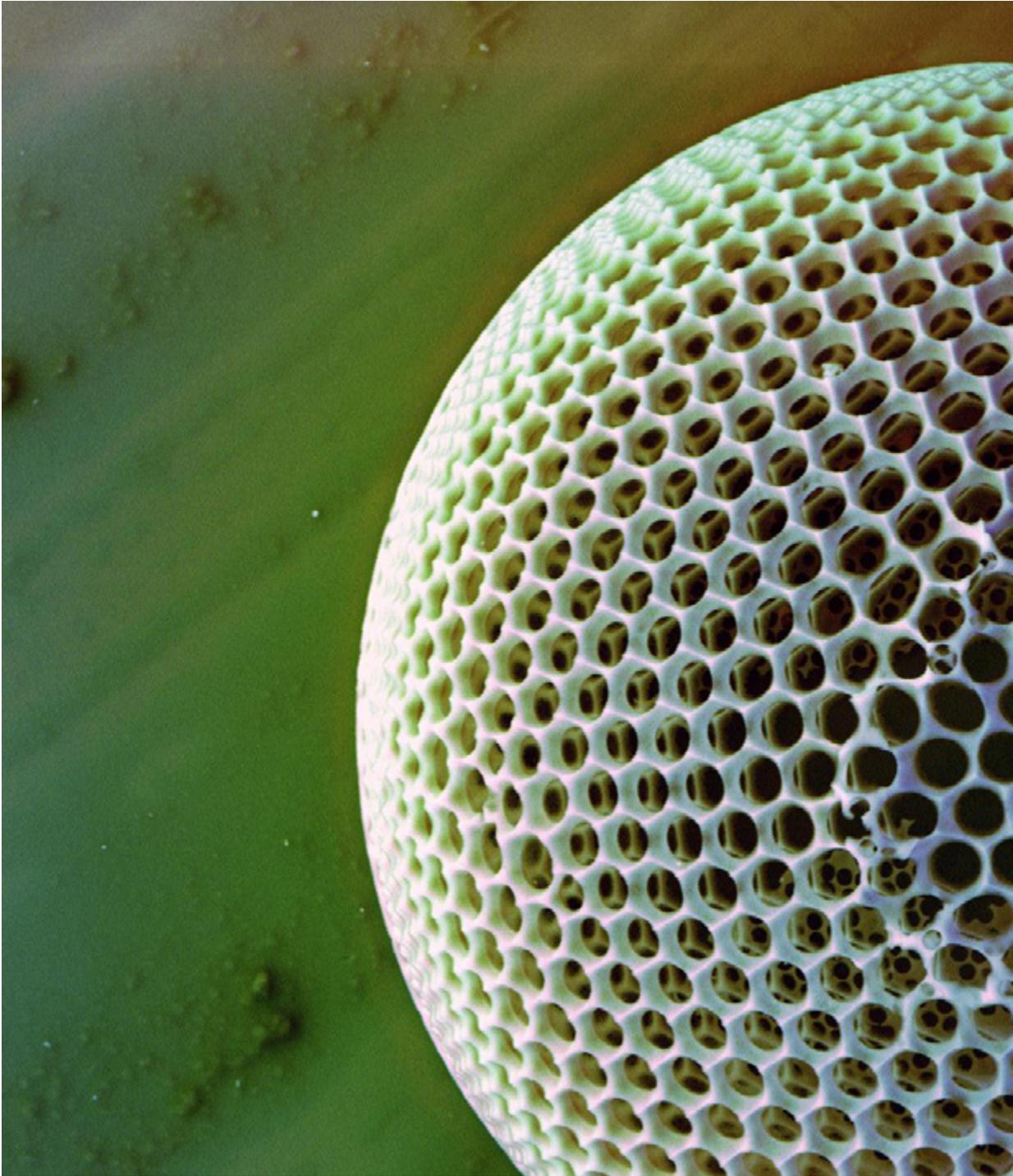
Morris, E. A. (2007, Spring). From Horse Power to Horsepower. Retrieved from <http://www.accessmagazine.org/articles/spring-2007/horse-power-horse-power/>

Rogers, R. (2013). *Preparation of High Purity, High Molecular-Weight Chitin from Ionic Liquids for Use as an Adsorbate for the Extraction of Uranium from Seawater (Workscope MS-FC: Fuel Cycle R&D)*. Battelle Energy Alliance, LLC. Retrieved from <http://www.osti.gov/scitech/biblio/1116552>

Shamshina, J. L., Gurau, G., Block, L. E., Hansen, L. K., Dingee, C., Walters, A., & Rogers, R. D. (2014). Chitin–calcium alginate composite fibers for wound care dressings spun from ionic liquid solution. *Journal of Materials Chemistry B*, 2(25), 3924–3936. <http://doi.org/10.1039/C4TB00329B>



Resistente a la roya de la soja | Foto: BASF - We create chemistry, 2010 | Flickr cc



Microscopía electrónica coloreada de una diatomea

Foto: ZEISS Microscopy, 2015 | Flickr cc



Entrevista Kalina Raskin

La Dra. Kalina Raskin obtuvo un grado de maestría en ingeniería, física, química y biología de la ESPCI (Escuela Superior de Física y Química Industrial) Paris Tech, y un Doctorado en Neurociencias de la Universidad Pierre y Marie Curie. Actualmente está a cargo de desarrollo en el CEEBIOS (Centro Europeo de Excelencia en Biomimesis de Senlis) donde gestiona la red nacional, explora proyectos de investigación transnacionales, divulga activamente información biomimética a los innovadores y ayuda a implementar herramientas para empresas. También es consultora editorial para varias revistas técnicas francesas, participa en la estandarización del ISO/TC 266 en biomimética y contribuyó como experta en la guía para las soluciones basadas en la naturaleza en la Comisión Europea.

¿Cuáles son los retos que enfrenta el biomimetismo en Francia?

En Alemania, BIONIKON (<http://www.bionikon.de/en/>) y el Kompetenznetz Biomimetik (<http://www.kompetenznetz-biomimetik.de/>) han estado activos durante años gracias a que los expertos en el tema han dedicado su tiempo y experiencia para construir redes nacionales. Hasta hace poco, Francia carecía de estas redes. Aunque había proyectos franceses de biomimesis, el conocimiento no se estaba compartiendo. Sin un liderazgo sólido por parte del gobierno, la academia o el sector industrial, es un desafío generar credibilidad.

¿Cómo inició CEEBIOS?

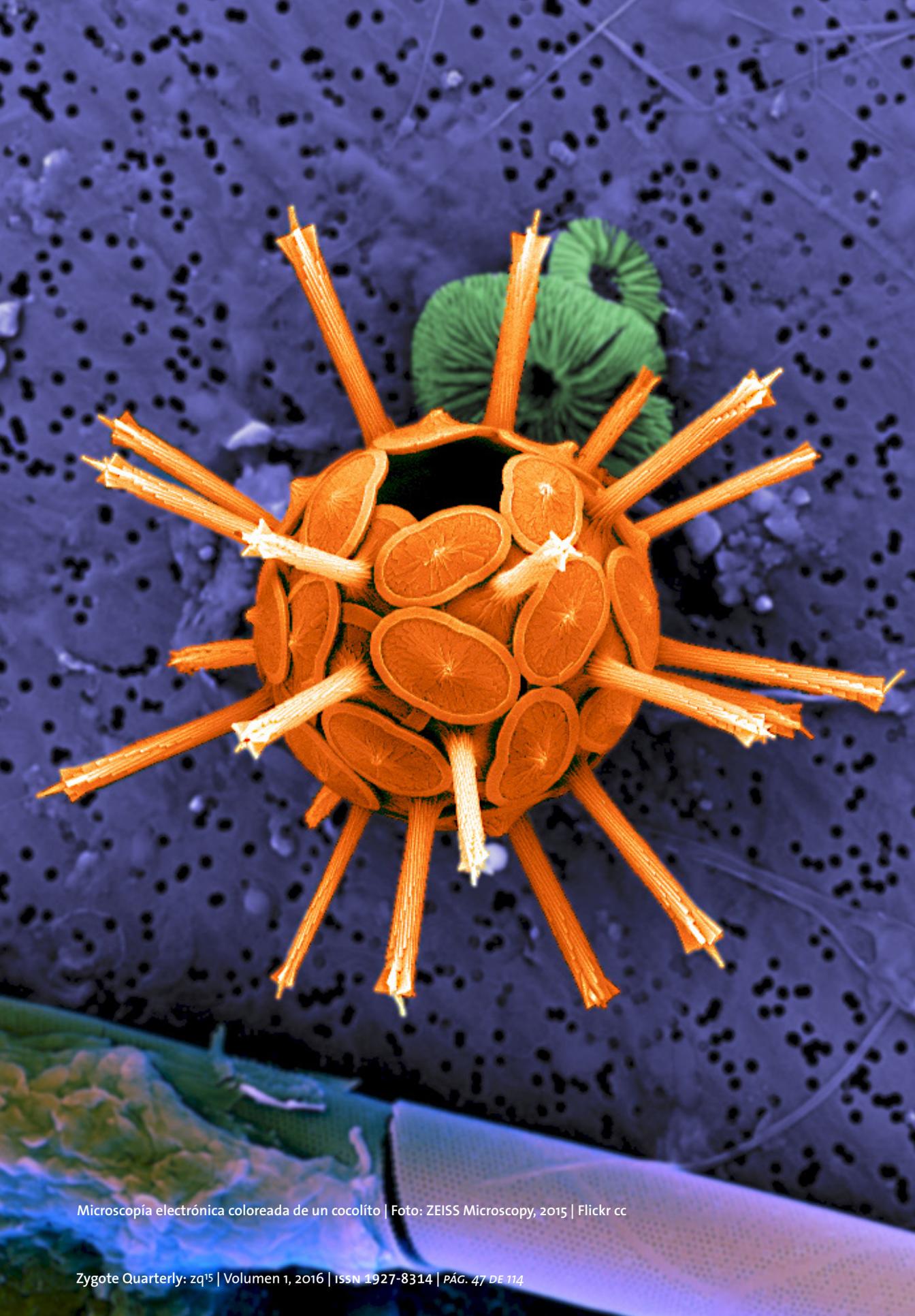
En 2012 la ciudad de Senlis, (<http://www.ville-senlis.fr/>, situada 40 kilómetros al norte de París, con alrededor de 16,000 habitantes), lanzó un proyecto para construir un campus y par-

que tecnológico dedicado a la biomimesis en un espacio de 10 hectáreas que se había utilizado anteriormente para entrenar al ejército francés. Esto se inició para promover el desarrollo económico local y colocar a la ciudad en la intersección entre la gran región del norte y la región de París, donde la industria y la investigación académica están en pleno apogeo.

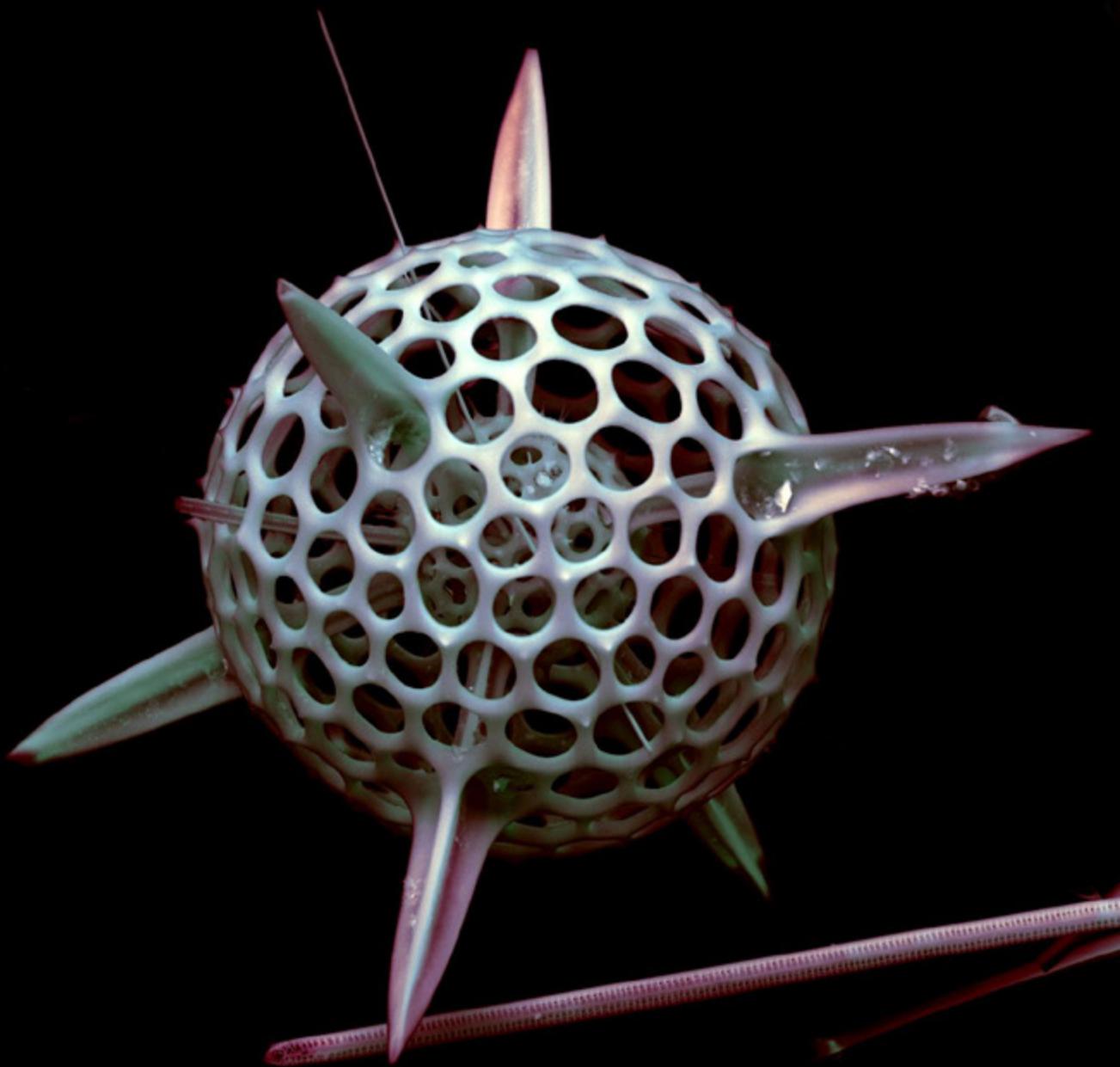
Se pretendía que el Centro Europeo de Excelencia en Biomimesis de Senlis (CEEBIOS, <https://ceebios.com>) generara las condiciones para la innovación biomimética, actuando como un catalizador al incrementar la colaboración entre las instituciones académicas, las nuevas empresas, las pequeñas y medianas empresas y los grupos industriales, iniciando esfuerzos en educación y sugiriendo nuevos proyectos innovadores.

¿Cuál ha sido tu enfoque?

Aunque el apoyo de la ciudad de Senlis elevó el perfil de CEEBIOS, aún teníamos que demostrar nuestra credibilidad con las instituciones académicas y las empresas, ya que no es una iniciativa ni gubernamental ni industrial. Desde el inicio tuvimos claro que la excelencia y la experiencia residen fuera de CEEBIOS en los laboratorios académicos y en las empresas. Además de generar conciencia sobre el tema, nuestra meta es reunir a la comunidad, escuchar sus necesidades, recolectar y resaltar sus esfuerzos y logros, coordinar esfuerzos para procurar recursos y presionar por ellos. Esto también sigue siendo el propósito de las redes alemanas como BIONIKON o Kompetenznetz Biomimetik que han sido muy efectivas en términos de investigación académica, planes de estudio y transferencia a la industria.



Microscopía electrónica coloreada de un cocolito | Foto: ZEISS Microscopy, 2015 | Flickr cc



Microscopía electrónica coloreada de una diatomea | Foto: ZEISS Microscopy, 2015 | Flickr cc

¿Qué iniciativas has emprendido?

Iniciamos con sesiones de concienciación a finales de 2013. Rápidamente nos dimos cuenta de que no teníamos una idea clara de los actores clave en Francia. Inicialmente comenzamos a mapear el panorama de los laboratorios de la academia usando los informes “pioneros” disponibles pero que estaban incompletos, así como el internet y búsquedas en bases de datos. Entrevistando a investigadores dimos con otros laboratorios que estaban trabajando en el campo de la biomimética pero que no se habían identificado como tales. A la fecha, contamos con información de aproximadamente 100 laboratorios. Estamos desarrollando una encuesta para recolectar información adicional que se publicará en un portal.

Fue más difícil mapear el paisaje de las empresas francesas involucradas en biomimesis. Francia tiene múltiples agencias de estado en el nivel de departamentos que ayudan a las nuevas empresas y a las pequeñas y medianas empresas (PyMEs). Comenzamos en la región de París con una agencia que recibe fondos a través del Programa Europeo de Innovación Responsable. Revisamos y clasificamos más de 700 proyectos financiados por la agencia. Planeamos repetir este proceso en otras regiones con agencias que entienden el ecosistema local de la innovación, como los clusters y las incubadoras. Ahora que CEEBIOS ha ganado credibilidad, las compañías francesas están contactándonos espontáneamente y nuestro mapa de los negocios está creciendo orgánicamente.

Estamos construyendo grupos de trabajo y consorcios alrededor de áreas de interés común. Hemos tenido más éxito al enfocarnos en “usos” en los que múltiples sectores y campos pueden contribuir. Por ejemplo, un grupo de trabajo sobre hábitat bioinspirado ha logrado atraer a académicos de múltiples sectores (energía, materiales y estructuras) y profesionales en ejercicio (arquitectos, diseñadores, constructores, corredores de

bienes raíces) que pueden colaborar en un espacio no competitivo. También estamos lanzando proyectos de Investigación y Desarrollo en áreas como materiales y bases de datos.

¿Cómo obtienen sus fondos?

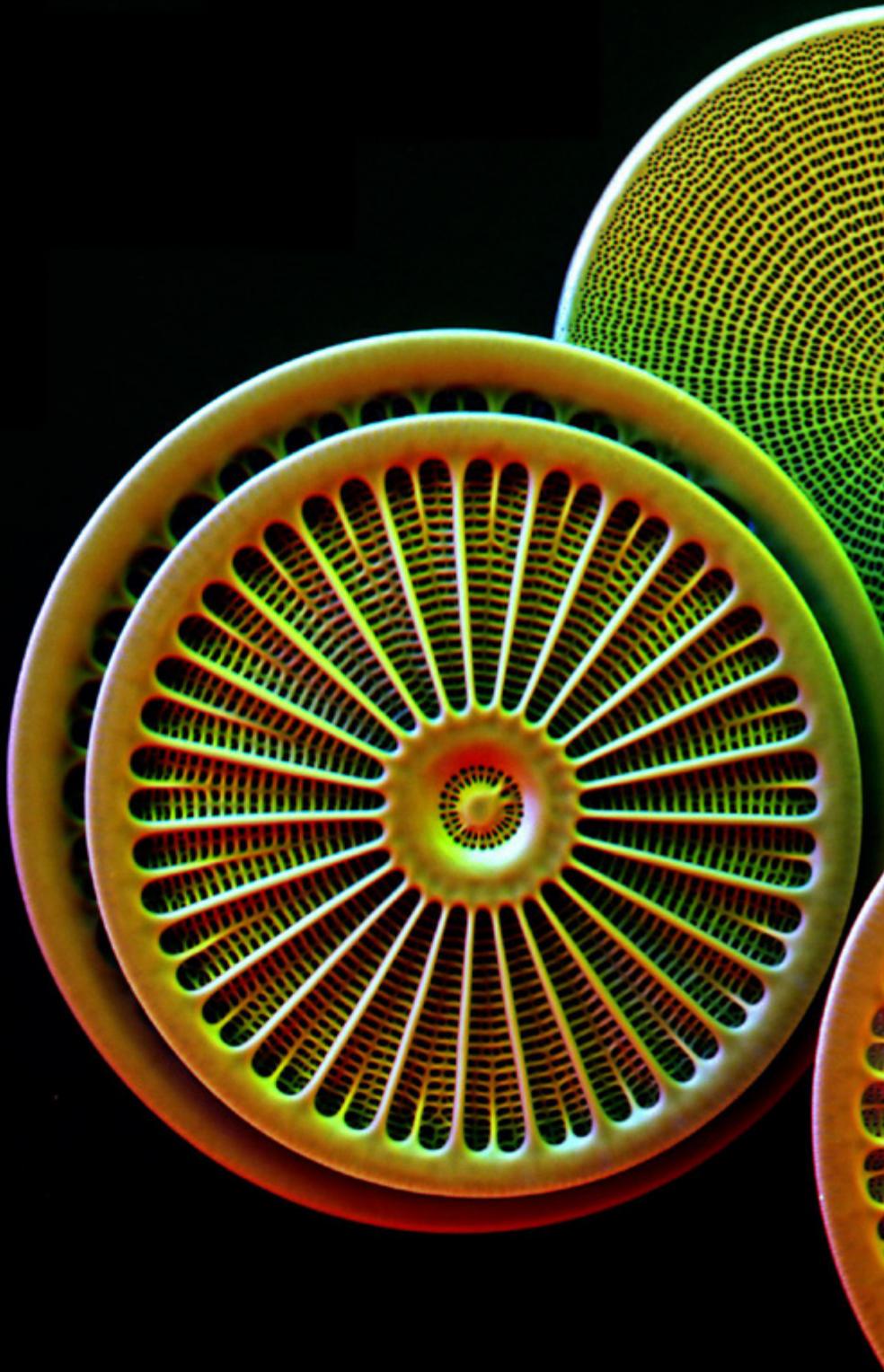
Aunque actualmente tenemos seis corporaciones que son miembros de CEEBIOS y esperamos duplicar ese número en 2016, las empresas solo invertirán fondos significativos en proyectos concretos que puedan entregar beneficios corporativos tangibles. En 2016 esperamos recibir aproximadamente el mismo apoyo financiero de agencias de gobierno, membresías y los proyectos de CEEBIOS contratados. Estamos explorando la posibilidad de solicitar un estatus de organización no lucrativa para poder acceder a recursos de fundaciones, tanto privadas como corporativas.

¿Han tenido problemas al compartir información debido a cuestiones de Propiedad Intelectual?

Hasta el momento la Propiedad Intelectual Corporativa no ha representado un problema. En cualquier sociedad o consorcio, las cuestiones de propiedad intelectual se negocian desde el inicio. Para cualquier propuesta de financiamiento público, se requiere un memorando de entendimiento para garantizar el uso adecuado de los apoyos públicos.

¿Cuáles son tus planes para el futuro?

CEEBIOS necesita mirar constantemente hacia el futuro. Cada vez es más accesible la información CORE BIOM*. Las compañías están haciéndose expertas y están dispuestas a dedicar recursos para la investigación en diseño bioinspirado. CEEBIOS se beneficia de tener presencia física y



Microscopía electrónica coloreada de diatomeas, mayoritariamente *Arachnoidiscus* | Foto: ZEISS Microscopy, 2015 | Flickr cc



puede seguir ofreciendo valor a través del entendimiento de las redes nacionales e internacionales.

CEEBIOS está invirtiendo en herramientas bioinspiradas en asociación con el Museo de Historia Natural de París. También planeamos desarrollar sesiones de educación y capacitación creando materiales con los expertos en el tema, idealmente usando material en línea preexistente. Tenemos suerte de que Francia promueva y financie la educación en línea, incluyendo alianzas entre instituciones académicas.

¿Cuáles son tus “lecciones aprendidas” clave?

- Aceptar un rol no protagonista. Enfocarme en mejorar la eficiencia y la efectividad del paisaje de la innovación biomimética.
- Resaltar las iniciativas locales/nacionales en vez de los casos de estudio genéricos.
- Enfatizar en principios pragmáticos de sectores como el de la Química Verde, energía distribuida/renovable y ecodiseño en lugar de conceptos de alto nivel.
- Depender prioritariamente de proyectos con alto contenido científico.
- Conectarse con temas candentes de la política, como la conservación de la biodiversidad.
- Buscar oportunidades para acelerar el trayecto que ya recorren los clientes.

¿Cuál es tu trabajo interdisciplinario favorito de todos los tiempos?

El avance exponencial en la medicina es probablemente un ejemplo sorprendente de la capacidad de tender un puente entre las disciplinas.

La fotosíntesis artificial está emergiendo como un sector clave con respecto a la bioinspiración como una herramienta para responder a las necesidades de la sociedad.

¿Cuál es el libro más reciente que has disfrutado?

Comment tout peut s'effondrer (Cómo todo se puede desplomar), de Pablo Servigne y Raphael Stevens.

¿A quién admiras y por qué?

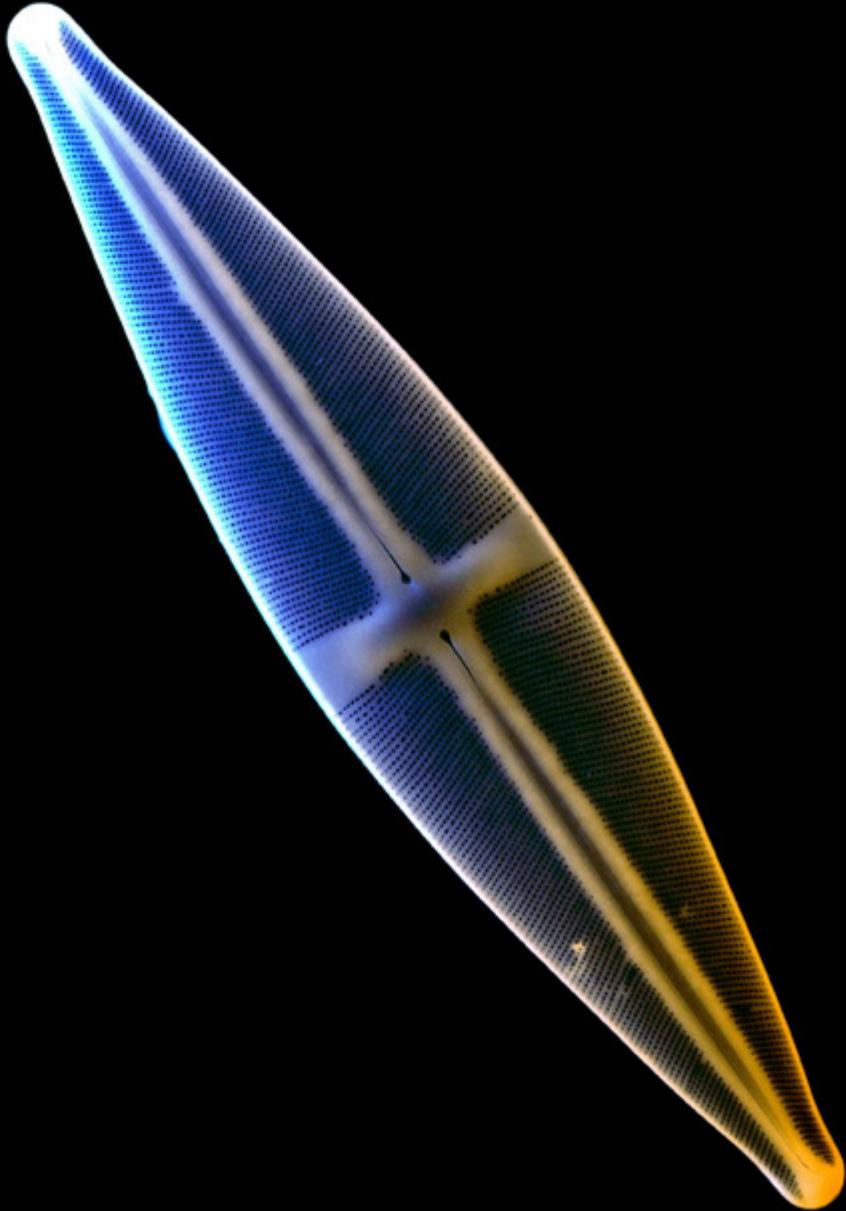
A Jaques Livage, investigador químico en la Universidad Pierre y Marie Curie, profesor del Collège de France y miembro de la Academia Francesa de Ciencias. Él es reconocido internacionalmente por su trabajo en diatomeas y por imitar su proceso en la producción de vidrio. Es pionero y el padre nacional de la química suave. Lo admiro porque es humilde, humanitario y entusiasta al compartir su sabiduría monumental con la gran audiencia.

¿Si pudieras escoger otra profesión o papel, quién/qué te gustaría ser?

Me gustaría involucrarme en la agricultura ecomimética (<http://www.appropedia.org/Eco-mimicry>). ¡Regresar a la tierra! La producción alimentaria será la mayor preocupación de la humanidad en las siguientes décadas.

¿Cuál es tu idea de la felicidad perfecta?

El ser coherente con lo que soy y lo que hago: actuando no para mí misma, sino para los demás, sintiéndome en el momento preciso, en el sitio correcto y auténtica en lo que sea que yo haga. ×



Microscopía electrónica coloreada de una diatomea | Foto: ZEISS Microscopy, 2015 | Flickr cc



Lupino de pradera

Foto cortesía de Charlie Crisafulli



La ciencia del ver

Adelheid Fischer

Colaborando con el destino: Los aeronautas del Monte Santa Helena

¿Cómo se calcula lo inesperado? Parece ser el arte de reconocer el papel de lo inesperado, de mantener el equilibrio en medio de las sorpresas, de colaborar con el azar, de reconocer que existen algunos misterios esenciales en el mundo y por tanto un límite en lo que se puede calcular, planear, controlar. Calcular sobre lo imprevisto es quizá exactamente la operación paradójica que más nos demanda la vida.

De *A Field Guide to Getting Lost* (Guía de campo para perderse), de *Rebecca Solnit*.



Estamos a principios de noviembre, el día antes de que cierren el camino a la cresta Windy Ridge por el invierno. Estudio el mapa. La ruta que voy a recorrer se desarrolla a lo largo de poco más de 59 km desde el pueblo de Randle, Washington, subiendo a unos 900 metros de elevación a través de la Cordillera de las Cascadas antes de terminar en la cresta Windy Ridge justo al noroeste del Monte Santa Helena. Dada la hora en la que voy empezando, voy a llegar al mirador a media tarde. Para entonces, la llovizna se habrá convertido en una ligera nevada. Observo el coche Fiat de alquiler --un diminuto vehículo con aire de desdén que elegí en el lote de Enterprise por su rendimiento de combustible, no por sus

caballos de fuerza. Es el tipo de automóvil de juguete que uno puede conducir hasta la pista de un circo con el solo propósito de desalojar, ante una audiencia incrédula, a un número improbable de payasos completamente disfrazados. De camino desde el aeropuerto de Seattle, sin embargo, el poder de arrancar y avanzar del Fiat me sorprendió, por lo que lo llamé el Pequeño Semental Italiano. Olvido mis reservas sobre su tamaño diminuto, giro la llave en la ignición y le doy unas palmadas en el tablero. “Solo somos tu y yo, cariño”, le digo, al tiempo que pongo la primera marcha y empiezo a abrirme paso en las zigzagueantes y cerradas curvas del camino.

Aunque me viera forzada a empujar al reticente semental cuesta arriba por las resbaladizas pendientes de las montañas, no me perdería este viaje por nada del mundo. He tenido una fascinación por el Monte Santa Helena desde los 80s cuando vi una fotografía del fotógrafo paisajista Frank Gohlke colgada en la sala de una amiga. Desde el otro lado de la habitación, la imagen color peltre parecía una pintura expresionista abstracta: una composición ying y yang con espirales de lo que parecían ser gruesas pinceladas de pintura de un lado, y por el otro, una mezcla de trazos.

Pero no se trataba de una escena conjurada por la imaginación. Gohlke tomó *Aerial view: shattered logs in south end of Spirit Lake. Four miles north of Mt. St. Helens* (Vista aérea: troncos des-



A principios de los años ochenta a menudo se veían columnas de vapor, gas y cenizas en el Monte Santa Helena. En días claros, estas columnas se podían ver desde Portland, Oregon, 80 kms (50 millas) al sur. La columna que aparece en esta fotografía (1982), se elevó casi 910 metros (3,000 pies) sobre el borde del volcán. Esta vista es desde la cresta conocida como Harry's Ridge, ubicada a 8 km (5 millas) al norte de la montaña. | Foto: Lyn Topinka, 1982 | Wikimedia Commons

trozados en el extremo sur del lago Spirit. Cuatro millas al norte del Monte Santa Helena) desde un Cessna mientras volaba en círculos sobre el área en 1982, dos años después de la dramática erupción del volcán.

En la fotografía se apreciaba un enorme sitio de construcción nuevo que había sido derribado y reconfigurado por la naturaleza cuando el mayor deslave registrado en la historia bajaba enfurecido por el Monte Santa Helena. Las cosas ocurrieron más o menos así: durante los dos meses anteriores a la erupción del Monte Santa Helena en mayo de 1980, el magma se elevó por debajo del volcán, chocando contra un techo de piedra quebradiza en su cara norte. La presión terminó por crear una protuberancia de mal agüero que crecía hasta un metro y medio diariamente. Luego, a las 8:32 de la mañana del 18 de mayo, la protuberancia se escurrió repentinamente como helado derretido por un costado de la montaña. Una serie de tres deslaves destriparon el interior del volcán. Enormes bloques de piedra, árboles y tierra se precipitaron desde la montaña hacia el valle del río Toutle, que yace inmediatamente al norte de la montaña. En escasos diez minutos, el revoltijo de escombros pasó tempestivamente a lo largo de más de 22 km de terreno agreste, enterrando algunos lugares a profundidades de hasta 195 metros.

Una parte de la avalancha se estrelló contra el extremo sur del lago Spirit, un lugar de vacaciones muy apreciado por generaciones de visitantes. Fue como si un luchador de sumo se echara dentro de una bañera llena de agua, dice Todd Cullings, director asistente del Observatorio Johnston Ridge en el Monumento Volcánico Nacional Monte Santa Helena. El peso del escombros impulsó una pared de agua hacia la costa

lejana y sobre una pendiente de 260 metros de altura. Conforme la ola retrocedió, succionó hacia el lago todo lo que estaba en su camino, incluyendo los bosques que durante siglos habían resguardado al lago Spirit. Cuando todo terminó, tanto de la montaña había caído al lago que su fondo se había elevado por más de 61 metros, lo que ocasionó que el área de su superficie creciera al doble. Los palos en la foto de Gohlke eran los restos plateados de miles de árboles enormes -algunos de ellos con diámetros cercanos a los 2 metros- que flotaban sobre sus costados y tapaban el ojo otrora azul y profundo del lago alpino.

Pero ese no era el fin de la historia. La montaña se reventaría por un costado, explotando hacia los lados, disparando una ráfaga de lava y de piedra fracturada y pulverizada. La nube de la explosión lateral, como un viento abrasador y lleno de piedras, se escapaba de la montaña a velocidades de hasta 1,078 kilómetros por hora. El valle del río Toutle, con una extensión de 48 km cuadrados, recibió el mayor impacto. Lo que una vez fuera una cuenca llena de vegetación, después de la erupción se convirtió en lo que se conoce como Pumice Plain (la llanura de la piedra pómez). Más allá de este centro, la explosión aplanó un área en forma de abanico de 370 kilómetros cuadrados de bosques.

En Pumice Plain, a la nube de la explosión le siguió una serie de 18 explosiones piroclásticas, mezclas de cenizas, gases y piedra pómez que alcanzaron temperaturas de 815 grados centígrados. Partes de la llanura estaban tan calcinadas que permanecieron peligrosamente calientes durante los 3 años siguientes a la erupción. Como si eso no hubiera sido suficiente, el volcán bañó su obra con fragmentos de piedra, lava y cenizas, conocidos como tefra. Tan solo



Alfombras de árboles a la deriva en el lago Spirit, con el cráter abierto del Monte Santa Helena al fondo

Foto: Stephan Schulz, 2012 | Wikimedia Commons



Cascadas de Iron Creek | Foto: jdiker, 2013 | Flickr cc

la pendiente norte estaba enterrada bajo varios metros de este material, el cual, cuando se humedeció con la lluvia, tomó la consistencia del cemento mojado. Después de un vuelo de reconocimiento sobre el paisaje devastado, el entonces presidente Jimmy Carter emitió su famosa declaración: “La luna parece un campo de golf comparado con esto.”

¿Qué tipo de fuerzas pueden desatar tal devastación?, me preguntaba. Ciertamente no soy la única fascinada por esta pregunta. Según datos del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés), más de medio millón de turistas visitan el monumento Monte Santa Helena para mirar dentro de las fauces del volcán roto que soltó tanta tierra durante la erupción de 1980 que se deshizo de casi 400 metros de su cumbre, el equivalente a llenar 15 cubetas por cada hombre, mujer y niño en el planeta. Al igual que yo, estos visitantes vienen a satisfacer un ansia por lo que se conoce como “sublime apocalíptico” -el deseo que parecemos tener por beber un inquietante cóctel de belleza, asombro y terror mientras observamos vastos paisajes que han sido bombardeados por una violencia inconmensurable.

Sin embargo, lo que es poco común acerca del Monte Santa Helena es que la fascinación no se acabó con el poder de las fuerzas destructoras de la naturaleza. La gente se empezó a preguntar: ¿cómo es que la vida hace la transubstanciación de la devastación a la vida? Resultó una pregunta tan seductora que el Congreso de los Estados Unidos aprobó la ley Monumento Volcánico Nacional Monte Santa Helena en 1982. A través de esta legislación se creó un monumento nacional de aproximadamente 44,500 hectáreas para el ocio, investigación y educación, de las cuales una

gigantesca área de 43,000 hectáreas se reservó para permitir que “las fuerzas geológicas y la sucesión ecológica continúen esencialmente ininterrumpidas”. La ley destinó fondos para investigación fundamental de campo en geología y ecología dentro de esta zona -una provisión que se vuelve más extraordinaria por el hecho de que ocurrió durante la administración de Reagan, caracterizada por su aversión a la ciencia. En las décadas siguientes, el Monte Santa Helena sería reconocido como uno de los volcanes más exhaustivamente estudiados en la tierra.

“Si se aborda con atención”, escribe Gohlke, “cualquier lugar nos puede persuadir a quedarnos con el propósito de localizar la fuente de su atracción.” Al igual que Gohlke, atrapado en su Cessna por la fuerza gravitacional de lo apocalípticamente sublime de la montaña, emprendí mi propia órbita complicada alrededor de este bello y difícil lugar. Empecé mi travesía hacia Windy Ridge en las tierras bajas del arroyo Iron Creek, un bosque maduro de cedros, tsugas y abetos de Douglas. Era el tipo de lugar que Hollywood podría haber elegido como plató para un recuento de la historia del Génesis. Cada año cae metro y medio de lluvia, 50 centímetros más del promedio nacional. La precipitación alimenta a riachuelos que tintinean a través de la esponja forestal. Los árboles, tanto vivos como muertos, están cubiertos de musgo, como si los troncos y ramas llevaran pijamas de un afelpado vellón. Por doquier el silencio engulle al sonido, a excepción de lugares como las cascadas de Iron Creek en donde el arroyo se dispara desde un risco hacia un estanque cristalino. Antes de la erupción, los bosques alrededor del lago Spirit han de haber sido más o menos así: árboles enormes, som-

bras y luz tenue, musgo, silencio y el hilo continuo del agua atravesando el paisaje como una clara corriente subterránea de alegría.

Después de subir un poco, me detengo en Bear Meadow. Fue aquí donde el campista Gary Rosenquist apuntó la lente de su cámara hacia el volcán, avanzando manualmente el rollo fotográfico, cuadro por cuadro, en el momento preciso en que el flanco norte empezó a desplomarse, escurrirse y estallar en una serie de nubes masivas y turbulentas. La explosión se escuchó en lugares tan lejanos como la Colombia Británica y el norte de California. Una extraña conspiración entre la topografía y las leyes de la física, sin embargo, generó una zona silenciosa que se extendía sobre decenas de kilómetros desde el epicentro del Monte Santa Helena. Ni siquiera los residentes de Portland, Oregon, a 80 kilómetros de distancia, escucharon la explosión. Me resulta escalofriante estar aquí, sabiendo que Rosenquist y sus compañeros campistas estaban dentro de la zona silenciosa mientras tomaban fotografías esa mañana, escapando, por apenas medio kilómetro, al viento ardiente de piedra y fragmentos de madera que emanó de la nube de la explosión. Sus series de ahora famosas fotografías permitieron a los geólogos reconstruir la secuencia de eventos durante la erupción. Sin ellas, los detalles precisos de la historia de ese día podrían haberse perdido en las nubes de cenizas y escombros.

Esta tarde, la neblina oscurece la cima del Monte Santa Helena, cuyo cono perfecto se hizo añicos hace algunos 35 años. Imagino a la montaña como la he visto en fotografías: las medias paredes del cráter como un paréntesis que abarca al domo central de lava. No necesito ver el volcán, sin embargo, para estimar qué tan cerca me en-

cuentro de él. Treinta y cinco años después, la carretera sigue llena de víctimas de las explosiones. Troncos de árboles ennegrecidos por la lluvia yacen derribados en los lados del camino. Otros, del color de la escarcha, están esparcidos a lo largo de las laderas, descomponiéndose lentamente en los mismos lugares de donde fueron derribados. Montones erizados de abetos blancos brotan en partes del terreno desnudo. Desde lejos, las laderas se parecen al pelambre de un perro sarnoso.

Para cuando llego al mirador en Windy Ridge, la temperatura ha bajado y las nubes están descendiendo. Subo de prisa por una colina empinada, mis botas aplastando la piedra pómez color masilla, mi poncho de nailon chasqueando con el viento y el aguanieve. Volteo hacia abajo para ver al lago Spirit, que juega al escondite detrás de la neblina. La escena se aclara por unos breves momentos para revelar el atascamiento de árboles que llena una de sus grandes bahías. La orilla del lago alguna vez albergó cabañas, campamentos para scouts y alojamiento para turistas. Como crecí en un pequeño lago en Wisconsin, conozco los olores y sonidos de lugares como el lago Spirit: el agua que escurre del remo de una canoa, el retumbar de los pasos de los niños en los muelles, el sonido de sus clavados en el lago, el canto de las ranas en las noches de abril, la manera en que el aire de la primavera sorprende con su dulzura conforme va llenando el interior de una húmeda cabaña que ha estado cerrada herméticamente durante el invierno, la manera en que a las palabras y a las risas las atrapa el viento cuando los vecinos charlan a la orilla del río en la noche. De pronto, el mirador se siente extrañamente silencioso.

De regreso al coche, me paro frente a un letrero que prohíbe a los visitantes salirse de las veredas, y que había sido colocado a un lado de los restos de un árbol carbonizado que yace acostado y medio enterrado en piedra pómez. Dice “Vegetación re-emergiendo”. Aquí y allá, matas de plantas rastreras salen de una tierra que parece más grava que suelo limoso y nutritivo.

De pronto me doy cuenta de que esto es lo que buscaba- esto es precisamente lo que he venido a ver: hojas chamuscadas fruncidas, estas protuberancias de clorofila aún flexibles bajo el golpeo del aguanieve de noviembre. Tomo una hoja entre mis dedos y cierro los ojos, medio esperando efectivamente sentir un pulso en esa vida que fue lo suficientemente audaz como para echar raíces en un lugar azotado por el viento y estremeado por el frío.

La persistencia de la planta se debe, en parte, a sus habilidades perfeccionadas a lo largo del tiempo evolutivo. Como una navaja suiza, cada organismo posee un conjunto ingenioso de herramientas diseñadas para enfrentarse a múltiples desafíos. Adaptarse al cambio, no obstante, requiere de más que un portafolio diverso de estrategias de supervivencia. También se trata de tener la suerte de ganar en un juego para el que algunas veces tales habilidades resultan inútiles. Los científicos que han estudiado el desarrollo de la vida aquí después del cambio radical apuntan hacia una gama completa de factores quijotescos que determinaron lo que habría de prevalecer y lo que habría de sucumbir: el hecho de que la erupción ocurriera durante las primeras horas de la mañana en lugar de la tarde o al inicio de la primavera y no en el calor del verano, las fluctuaciones en la precipitación durante los

meses o años subsecuentes; el hecho de que el volcán estalló por los lados hacia el norte, y casi no dañó su flanco sur.

La persistencia, al estilo Monte Santa Helena, se trata de estar presente, poner atención, adaptarse lo mejor posible al mundo cambiante a nuestro alrededor, siempre sabiendo que la vida es una conspiración tácita de fuerzas azarosas, una colaboración con el azar riesgosa y a veces inquietante que puede golpear de refilón hasta al más habilidoso y atento habitante.



Durante casi cada dos semanas desde 1981 hasta 1985, el aracnólogo Rod Crawford y sus colegas salían de Seattle con dirección al sur hacia el Monte Santa Helena. Había una parada obligatoria para hamburguesas en la ventanilla del restaurante Huff and Puff en Randle. Luego, recuerda Rod, tomaban el camino hacia Windy Ridge, haciendo apuestas sobre si “la letrina en Windy Point había sido derribada por el viento otra vez” o no.

Dos días antes de mi viaje al Monte Santa Helena, me reuní con él en su oficina ubicada en el sótano del Thomas Burke Memorial Museum en el campus de Seattle de la Universidad de Washington. Nos acercamos a una lámpara que está encima de un escritorio repleto de montones de archivos y una computadora. Detrás de nosotros en las sombras están unos archivadores que guardan décadas de investigaciones taxonómicas. Crawford casi no necesita consultarlas ya que con facilidad extrae información del catálogo que es su propia memoria.

Me muestra una fotografía a color desgastada en la que sale él cuando apenas iniciaba la investigación en el Monte Santa Helena. Aparece posando sobre Pumice Plain (la planicie de la piedra pómez), una superficie extensa de escombros grises encuadrada por el cascarón del cráter. Si Crawford trajera puesto un traje espacial en vez de una camiseta y shorts, me hubiera imaginado que estaba parado en la luna.

Es aquí, en lo que parece un apostadero lejano de vida, donde Crawford y sus colegas de la Universidad de Washington, entre los que estaban el finado John Edwards y su estudiante de posgrado Patrick Sugg, reflexionaron sobre una de las preguntas más fundamentales de la ecología: ¿Qué sucede después de que todos los habitantes vivientes de un lugar se han extinguido, “cocinados, enterrados, disipados por el viento o eliminados”, tal como sucedió en Pumice Plain? En otras palabras, ¿qué viene después de que todo se va al carajo?

Los científicos utilizan la teoría clásica de la sucesión primaria para ayudar a responder a esta pregunta. La erupción del Monte Santa Helena les daría un laboratorio al aire libre ideal para probar sus premisas. Después de todo, “no todos los días ocurre que un volcán convenientemente esteriliza 80 kilómetros cuadrados de habitat”, comenta Crawford.

La sucesión primaria plantea que las plantas son responsables de detonar el botón de reinicio en los substratos de minerales tales como los sedimentos que quedan expuestos tras inundaciones abrasivas o por un glaciar que se retrae o, como en el caso del valle del río Toutle, se entierran y cocinan por la erupción de un volcán. Entre las primeras en echar raíces están las plan-

tas pioneras capaces de tolerar las condiciones a menudo extremas que se presentan en un paisaje posteriores a un disturbio -e incluyen radiación solar intensa, vientos secantes o amplias fluctuaciones en la temperatura. Estos resistentes recién llegados ayudan a construir el suelo, por ejemplo, al atrapar las partículas de sedimento que vuelan con el viento, o al aumentar la disponibilidad de humedad y nutrientes a través de sus restos en descomposición. Al mejorar las crudas condiciones, ofrecen un punto de apoyo para otras especies de plantas más delicadas, que gradualmente las desplazan de su habitat. Con el paso del tiempo, incluso estas comunidades intermedias de plantas son reemplazadas por lo que se conoce como la comunidad clímax, es decir, un sistema maduro con una red relativamente estable de relaciones que puede persistir hasta que un disturbio detone el ciclo de la sucesión otra vez.

El Monte Santa Helena fácilmente podría haber sido citado como otro ejemplo clásico de cómo las plantas inician el proceso de sucesión primaria. En junio de 1982, un joven ecólogo llamado Charlie Crisafulli había estado volando bajo sobre el terreno en un helicóptero, atravesando de un lado a otro el Pumice Plain en busca de señales de vida. “Era una completa y total aridez”, recuerda en el documental producido en 2010 por Nova acerca del Monte Santa Helena. De pronto, precisamente en el centro de Pumice Plain, Crisafulli vio una pincelada de color azul intenso brotando de entre los grises escombros. Era una planta de altramuz. Su especulación es que un vaina había llegado hasta ahí desde elevaciones más altas, donde las altramuces normalmente crecen, y había echado raíces en la ceniza volcánica. Estas coloridas y vistosas plan-



Lupinus lepidus | Foto: Calypso Orchid, 2015 | Flickr cc

tas tenían una ventaja especial en el suelo pobre en nutrientes del paisaje post erupción: vienen equipadas con su propia fábrica de fertilizante. Al igual que otras leguminosas, las altramuces albergan en sus raíces bacterias capaces de transformar el abundante nitrógeno del aire en una forma del mismo que la planta puede usar. A cambio de eso, la planta provee a las bacterias de azúcares de la fotosíntesis. Inmediatamente, Crisafulli delimitó con estacas un lote alrededor de la voluntaria ermitaña y regresó al sitio año tras año. En el espacio de una década, esta altra-

muz individual había engendrado 169,000 descendientes. Más aún, éstos ayudaron a poner en marcha las condiciones que permitieron a otras numerosas plantas y animales colonizar la planicie y construir comunidades vigorosas de especies más diversas. Las altramuces, por ejemplo, proporcionaban alimento a las tuzas norteñas. En su proceso de crear túneles para sus guaridas, los animales arrojaban tierra rica a la superficie mineral. Estos montículos hechos por las tuzas



Constructor retroiluminado

Foto: Ingrid Taylor, 2013 | Flickr cc

servían como islas de hospitalidad que invitaban a otras plantas y animales a tomar un punto de apoyo en Pumice Plain.

La investigación desarrollada por Edwards y sus colegas, sin embargo, daría un giro sorprendente a esta historia al demostrar que los animales, y no las plantas, fueron los detonadores de la sucesión primaria en Pumice Plain. Durante las operaciones en tierra el primer día inmediatamente después de la erupción, los pilotos de los helicópteros de búsqueda y rescate reportaron haber visto numerosos insectos en Pumice Plain. Estos organismos no hubieran podido sobrevivir a los disturbios masivos en Pumice Plain, ni podrían haber hecho el viaje a pie ya que el refugio intacto más cercano estaba a no menos de 17 kilómetros de distancia. Edwards y sus colegas dedujeron que cualquier artrópodo que apareció en la planicie en los primeros años tenía que haber caído del cielo.

La aparición de lo que Edwards llamó las “tropas paracaidistas” no fue del todo sorprendente. Los científicos han sabido desde hace mucho tiempo que los artrópodos pueden viajar grandes distancias. Veamos a las arañas, por ejemplo. El 31 de octubre de 1832 a bordo del H.M.S. Beagle, Charles Darwin observó cómo las arañas que se deslizaban en filamentos de seda, que él llamó “arañas aeronautas”, se habían acumulado en las cuerdas de la embarcación. En su diario notó, “qué inexplicable es la causa que induce a estos pequeños insectos... a emprender sus excursiones aéreas”, particularmente debido a que estaban navegando a una distancia de al menos 96 kilómetros de la costa de Argentina, mucho más allá de la posibilidad de aterrizar en cualquier habitat adecuado.

Allá por 1904, el autor de la columna del *New York Times* titulada “Cosas innovadoras, singulares y curiosas”, recuenta una observación hecha por George H. Dodge, el capitán de un barco de vapor norteamericano. En el invierno de 1881-1882 Dodge estaba pilotando una embarcación a más de 320 kilómetros de la costa este de Sudamérica cuando un viento que venía de la dirección del continente sopló llevando a un enorme escuadrón de “aeronautas” de ocho patas a la jarcia.

El aracnólogo Crawford señala que Darwin y Dodge estaban describiendo un comportamiento conocido como vuelo arácnido. Una araña juvenil trepa hasta un punto alto -la parte de arriba del poste de una barda o la punta de la rama de un árbol, digamos -apunta su espalda hacia el aire y emite filamentos de seda desde sus hileras localizadas en la parte inferior de su abdomen. El animal entonces ajusta su posición en la dirección del viento, cuya fuerza puede usar para ayudar a desplegar el hilo. Cuando una cantidad suficiente de seda flota en la brisa, la araña se suelta y vuela por el aire. El físico Peter Gorham de la Universidad de Hawaii publicó recientemente una investigación que sugiere que las fuerzas de la misma tierra pueden dar a esos hilos una carga electrostática que ayuda a mantener a las arañitas en el aire y que incluso las arañas mismas pueden buscar sitios de lanzamiento donde las densidades de las cargas sean altas.

A primer vistazo, el vuelo arácnido parece ser una propuesta impredecible. Muchas arañas van a aterrizar en terreno hostil y morirán. Sin embargo, como observa Crawford, hay ventajas en emprender ese peligroso viaje. “Un organismo que se reproduce en cantidades considera-

bles tiene que dispersarse. Si una araña tejedora pone 900 huevos en una sola ooteca, no todos los bebés pueden vivir donde la mamá vive. Vuelan para ‘alejarse de todo’,” dice Crawford. Saltar al aire en grandes números aumenta las posibilidades de que al menos unas arañitas puedan encontrar un hogar que les permita sobrevivir y reproducirse.

Crawford señala que han habido bastantes estudios acerca de los factores relacionados con el despegue de las arañas, pero lo que sucede después de que los arácnidos se dispersan por el aire sigue siendo un misterio. “Te puedes imaginar las dificultades de un estudio así. Tendrías que encontrar una araña a punto de volar y pe-

garle algún tipo de aparato de telemetría que no fuera tan pesado como para impedirle despegar”, agrega.

Crawford y sus colegas sospechaban, sin embargo, que el impacto ecológico de las arañas aéreas y otros artrópodos es importante. “En un día de verano”, escriben Edwards y Sugg, “al menos la mitad de la biomasa de insectos puede moverse por los aires, un hecho bien conocido por las golondrinas y los vencejos, pero poco apreciado por los seres humanos que vivimos en tierra firme”.

De hecho, ya en 1926, los investigadores de la Oficina de Entomología y Cuarentena de Plantas de los Estados Unidos trataron de identi-



Ciervo, Pumice Plain, septiembre de 2007

Foto cortesía de Charlie Crisafulli

car y cuantificar a los organismos en el plancton aéreo de la tierra. En aviones equipados con trampas pegajosas especiales, empezaron a ir en misiones aéreas sobre Luisiana para aprender más acerca de las migraciones de las plagas de los cultivos, como la polilla gitana asiática y el gusano del algodón. Este reconocimiento aéreo, que duró cinco años, produjo resultados sorprendentes. En cualquier momento dado en el cielo sobre extensiones de medio kilómetro en los campos de Luisiana, a elevaciones de los 15 a los 4,200 metros, la columna de aire contenía entre 25 y 36 millones de artrópodos. Entre lo que atraparon había “catarinas (mariquitas) a 1,800 metros durante el día, mayates rayados del pepino a 900 metros durante la noche”. Recolectaron tres moscas escorpión a 1,500 metros, treinta y un moscas de la fruta entre los 60 y los 900 metros, un mosquito a 2,100 metros y otro a 3,000 metros.

Atraparon un tábano transmisor del ántrax a 60 metros y otro a 300 metros. Atraparon hormigas trabajadoras a alturas de hasta 1,200 metros y dieciséis especies de avispas parásitas a altitudes de hasta 1,500 metros. A 4,500 metros, “posiblemente la mayor elevación a la que se han colectado especímenes por encima de la superficie de la tierra” atraparon a un araña voladora...”, escribe Hugh Raffles en su libro *Insectopedia*.

Sin embargo, estos voladores de gran altura no circulan indefinidamente. ¿Cuál fue entonces el impacto de toda esta biomasa alada una vez que volvió a aterrizar en la tierra? Muy pocos estudios han examinado esta pregunta debido principalmente a una dificultad logística: es imposible distinguir la biota residente en el suelo de los recién llegados que caen del cielo. “La erupción del Monte Santa Helena nos dio la oportunidad

perfecta de probar la hipótesis de que, haciendo a un lado a los microorganismos, los artrópodos (en lugar de las plantas) podrían ser los verdaderos pioneros en las superficies piroclásticas estériles y los iniciadores de la sucesión biológica”, escribieron Edwards y Sugg.

Tan pronto como los científicos obtuvieron la aprobación del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS, por sus siglas en inglés) en 1981, empezaron a investigar lo que ya intuían instalando trampas en el Monte Santa Helena. Como puntos de comparación, también tomaron muestras de artrópodos en la zona de bosques que fueron derribados y en el lado sur de la montaña que recibió poco impacto por la erupción. Usaron un equipo sencillo. Al principio, los investigadores enterraron una serie de vasos de plástico, con los bordes a nivel del suelo. Cada vaso estaba parcialmente lleno de glicol de etileno que atraparía y preservaría a los artrópodos que fueran a dar ahí. Cuando los alces que regresaron al lugar desarrollaron un interés nada saludable por beberse el contenido de los vasos, Edwards diseñó otro aparato con el mismo nivel de tecnología e igualmente efectivo -un marco de madera con una malla fina en la parte de abajo que atrapaba la lluvia aérea pero permitía a la precipitación pluvial infiltrarse. El marco se puso en el suelo y se llenó con pelotas de golf para simular los contornos irregulares de la superficie de Pumice Plain. “Resultó ser el colector de información mágico” dice Crawford. Los investigadores visitaron las trampas cada dos semanas en la temporada de campo durante cinco años. En Pumice Plain recolectaron más de 100,000 especímenes de artrópodos que representan aproximadamente 1,500 especies. Los insectos com-



Goat Rocks, Monte Santa Helena | Foto: brewbooks, 2011 | Flickr cc

prendieron casi el 80 por ciento de la captura, la mayoría de ellos moscas y escarabajos. El resto era principalmente arañas voladoras juveniles.

Incluso los científicos se sorprendieron por la cantidad de artrópodos que cayeron del cielo. “Lo sorprendente fue la magnitud de las llegadas que estaban ocurriendo”, anota Crawford. “Esto prácticamente no se había estudiado antes”.

La mayor parte de los paracaidistas, sin embargo, no estaban adaptados para sobrevivir en las agrestes condiciones de Pumice Plain y murieron rápidamente. Las tefras corroen la cutícula cerosa de los artrópodos, haciéndolos propensos a disecarse fatalmente, lo que resulta especialmente peligroso para organismos que tienen una alta relación entre superficie y volumen. Las amplias variaciones en la temperatura en Pumice Plain, así como la falta de resguardo adecuado contra el sol y el viento, también fueron parte del problema. Muchos no podían encontrar comida adecuada. Edwards los llamó “los derrelictos de la dispersión”.

La pérdida de los artrópodos que caían del cielo, sin embargo, no era todo malas noticias. Los sedimentos de los volcanes que acaban de hacer erupción son tan pobres en nutrientes esenciales, por ejemplo, que las medidas del carbono y nitrógeno totales tomadas en 1980 cerca de los sitios muestra en Pumice Plain eran cero. Cinco años después, la cantidad de esos nutrientes en los materiales del flujo piroclástico, aunque aún baja, había aumentado notablemente. La lluvia de materiales del cielo, una gran fracción de la cual estaba compuesta por artrópodos, estaba ayudando a reconstruir continuamente las condiciones fértiles para mantener nuevas formas de vida. Más aún, lo estaba haciendo de

forma sutil, casi encubierta. De hecho, cuando los investigadores examinaron las grietas en los escombros de Pumice Plain, descubrieron pequeños vertederos de restos de artrópodos, y semillas traídas por el viento que germinaban en lo que Edwards y Sugg llamaron “abono de artrópodos”.

Estos derrelictos de la dispersión también sirvieron de alimento para depredadores y animales carroñeros que pudieron sobrevivir y reproducirse; los primeros de los cuales fueron también dispersores aéreos como escarabajos y chinches. Esta confiable lluvia de alimento les permitió establecer poblaciones que se reprodujeron en Pumice Plain dentro de los tres años siguientes a la erupción. Para 1986, después de que se establecieron algunos manchones aislados de vegetación en Pumice Plain, seis especies de arañas también habían establecido poblaciones en reproducción, algunas de las cuales se originaron a distancias de 50 kilómetros al oeste.

Los resultados de esta investigación en el Monte Santa Helena han llevado a los investigadores a concluir que se ha subestimado por mucho la biomasa que cae del cielo y que los artrópodos pueden servir como agentes críticos para la sucesión primaria en paisajes profundamente alterados. En el proceso, hicieron visible lo que era casi invisible: manchas diáfanas de vida navegando las corrientes de aire, cayendo espontáneamente sobre la tierra en una misteriosa lluvia de partículas que todo lo cambió

Durante mi último día en el monumento, visito el Centro para Visitantes del Monte Santa Helena. Ahí en la tienda de regalos veo una tarjeta que tiene en la portada un dibujo coloreado del Monte Santa Helena en su apogeo. Era una

referencia a una época, no hace mucho tiempo, cuando gracias a la simetría perfecta de sus rasgos, se ganó el apodo “Fujiyama de los Estados Unidos”: largos dedos de nieve colgaban de su corona como betún en un pastel, punteado de coníferas en sus flancos inferiores y, en primer plano, una sección del lago Spirit con todo y un conjunto de cabañas y una playa, con arena, para nadar. Parecía como un día cualquiera en julio.

Cuando abro la tarjeta, sin embargo, casi me quedo sin aliento. Hay un dibujo del paisaje después de la erupción, un Mr. Hyde escondido detrás del Dr. Jekyll del volcán: la sonrisa amenazante del cráter roto del Monte Santa Helena, sus laderas verdes fundidas en un lodo gris, y el lago Spirit ahogado entre cenizas y troncos. Plantea, a través de fotografías, una pregunta sencilla acerca de las secuelas del catastrófico cambio: ¿Y ahora qué?

Durante casi cuatro décadas, los científicos han estado respondiendo a esta pregunta en el Monte Santa Helena. La longevidad de su paciente, las meticulosas investigaciones son, en sí mismas, un extraordinario logro y una anomalía en la manera en que la ciencia típicamente se lleva a cabo. En 1989, por ejemplo, la prestigiosa revista *Ecology* reportó los resultados de un análisis de 749 documentos que habían sido publicados en la década anterior. Solo un 1.7 por ciento del total de estudios de campo se llevó a cabo durante un periodo de al menos cinco años. Un estudio similar realizado en 1986 por el biólogo Patrick J. Weatherhead revisó 308 documentos publicados en algunas de las principales revistas sobre ecología, evolución y comportamiento animal, y se encontró con que la duración media de dichos estudios fue de 2.5 años, [coincidente con] la duración promedio de una subvención para investi-

gación o la fase de investigación para lograr un posgrado. Estos vistazos pueden distorsionar la opinión que tenemos acerca de cómo funciona la naturaleza en realidad. El Monte Santa Helena es un ejemplo de esto. Hizo falta que un volcán hiciera erupción entre nosotros y cinco años de investigaciones diligentes para mostrarnos que existen océanos de animales en el aire que pueden cambiar el curso de la vida en el suelo.

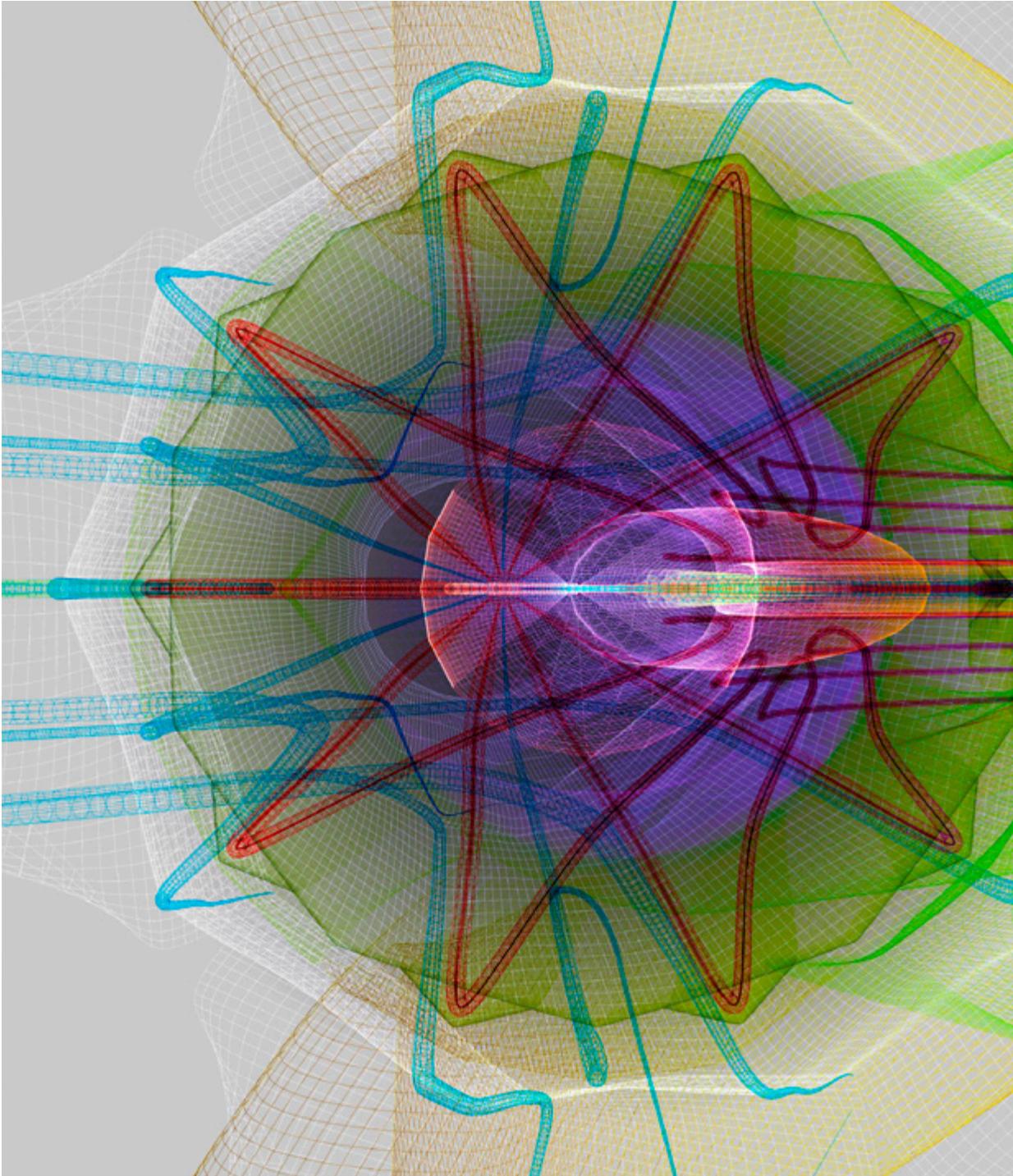
Antes de que el Corcel y yo nos preparemos para lo que sería nuestro último viaje a Seattle, doy una última vuelta alrededor de un humedal ubicado en el centro del área. El sol ya consumió la neblina alrededor del pico del Monte Santa Helena, y finalmente puedo echar un vistazo en la distancia al volcán cubierto de nieve, solitario, casi poco amigable. De pronto, alcanzo a ver un hilo iridiscente de seda flotando en el aire por encima de mi cabeza, un destello de azul, luego anaranjado, contorsionándose hacia un lado y hacia el otro como una llama ardiente, y luego otro hilo y otro. El aire está lleno de las líneas de vuelo de arañas voladoras. ¿Habrán andado cautelosamente por la orilla de algunas hojas de zacate y esperado pacientemente un raro día soleado en el otoño del Pacífico Norte para soltar sus hilos de cometa? ¿Llegarán hasta los juncos que están abajo al otro lado del estanque o se convertirán en derrelictos de la dispersión en los escombros del cráter? ¿Llegarán algunos de estos voladores de gran altura a la costa del Pacífico, se enredarán durante el tiempo suficiente en las jarcias de un barco de vela para que sus ocupantes exclamen sorprendidos, tal como lo hicieron Darwin y otros antes que él?

¿A dónde los llevará su colaboración con el azar?

x

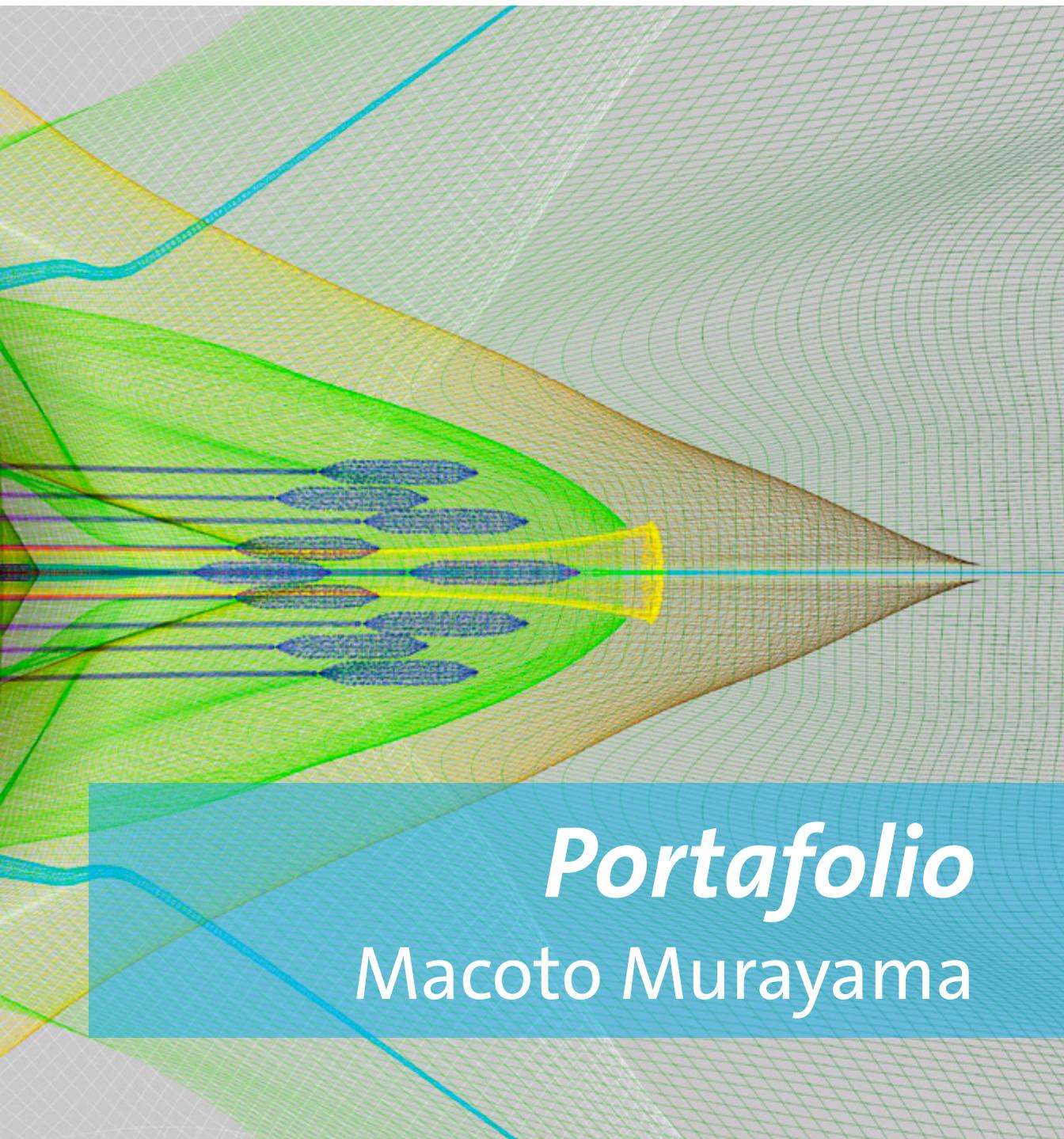


Tela de araña en el Lago Conner | Foto: jc.winkler, fecha desconocida | Flickr cc



Guisante dulce - iv - wc (detalle)

Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



Portafolio Macoto Murayama

¿Cómo empezó tu interés en el arte, y específicamente en la ilustración?

Estaba estudiando diseño arquitectónico en la universidad. Originalmente me interesaban las estructuras arquitectónicas y los elementos de ingeniería, pero la universidad enseñaba principalmente diseño. Ahí aprendí como construir diagramas y perspectivas arquitectónicas usando CAD (diseño asistido por computadora) y CG (gráficos por computadora). En aquel momento me sentí más atraído hacia los CG que hacia la arquitectura y empecé a ponerle más empeño. Sin embargo, era más animación gráfica por computadora (me encantaba Pixar) que una expresión de arte. Después de eso la forma original de mi trabajo - Botech Art - fue creada y comprendí el interés y la profundidad de "crear expresiones" y empecé a sentir un fuerte interés por las artes.

¿Qué te llevó a la ilustración científica? ¿Realizas tu trabajo por algún tipo de valor científico o meramente por el atractivo estético?

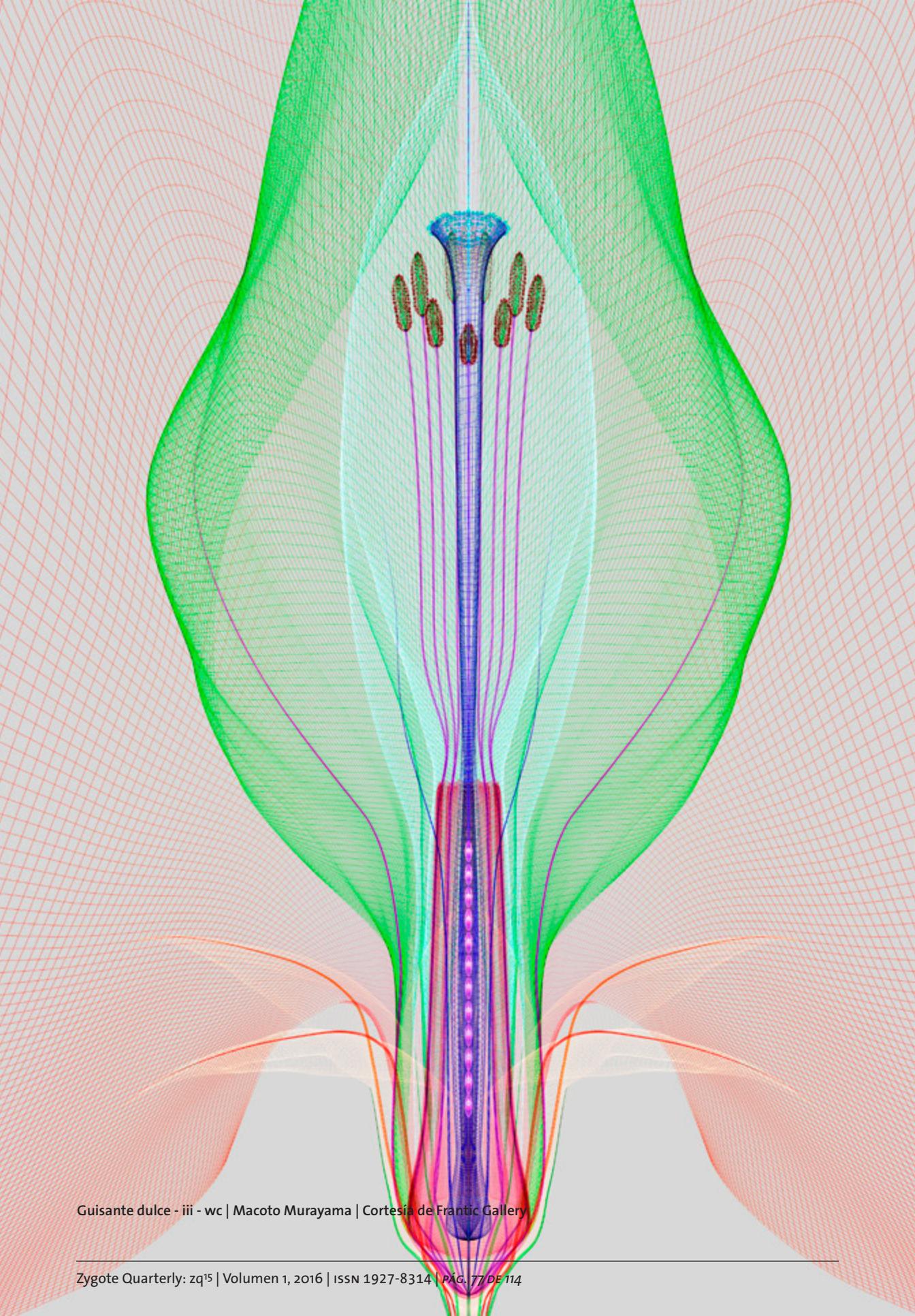
Uno de mis maestros en mi cuarto año en la universidad me mostró ilustraciones científicas. Inmediatamente entendí para qué son. Pensaba, "Eso es todo, esta es la razón por la que es tan bello". Además, las descripciones explicativas me parecían extrañamente fascinantes. Es lo mismo con la arquitectura: los planos arquitectónicos no son más que descripciones meticulosas, pero provocan el pensamiento a varios niveles. Una característica común es que ambos son figuras explicativas: acumulaciones de información. Una imagen de una cosa presentada con mucha información variada no solo es visualmente hermosa, sino que también es una revelación de

la esencia de un modelo. En este momento presento mi trabajo como expresión artística, pero si sigo en la misma dirección el valor de un documento científico puede aparecer en mis obras.

¿Por qué flores?

Al principio, solo estaba buscando un modelo que me gustara para crear gráficos por computadora. Tenía un poco de experiencia haciendo bocetos arquitectónicos así que estaba pensando en probar con algo nuevo. En ese momento se apareció una planta, una flor, en mi cabeza. Es orgánica y un tanto diferente de la arquitectura y mi deseo creativo asumió un nuevo punto de vista. Además, cuando veía más de cerca una planta que yo pensaba que era orgánica, encontraba en su forma y en su estructura interna elementos mecánicos e inorgánicos ocultos. Era un trabajo fascinante. Anteriormente me interesaban los elementos arquitectónicos y estructurales, por lo que me sorprendió mucho descubrir que en las plantas se ocultan características comunes. Mi percepción de una flor ha cambiado por completo.

Además, con la existencia de la ilustración botánica, estaba pensando "¿Por qué una flor?". El arte botánico es un tipo de ilustración de historia natural, que es "científicamente" precisa y posee un valor de ornamentación "artística". Difiere de la pintura y de las bellas artes y posee un carisma original al unir a la ciencia con el arte. Al observarla estaba pensando que podría ser posible regresar a mi propia expresión artística y crear una ilustración de historia natural que pueda ir más allá de los horizontes del arte botánico.



Guisante dulce - iii - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

Cuentas con un grado en diseño espacial de la Universidad Miyagi, y tu biografía también menciona a IAMAS. ¿Qué grado obtuviste en IAMAS?

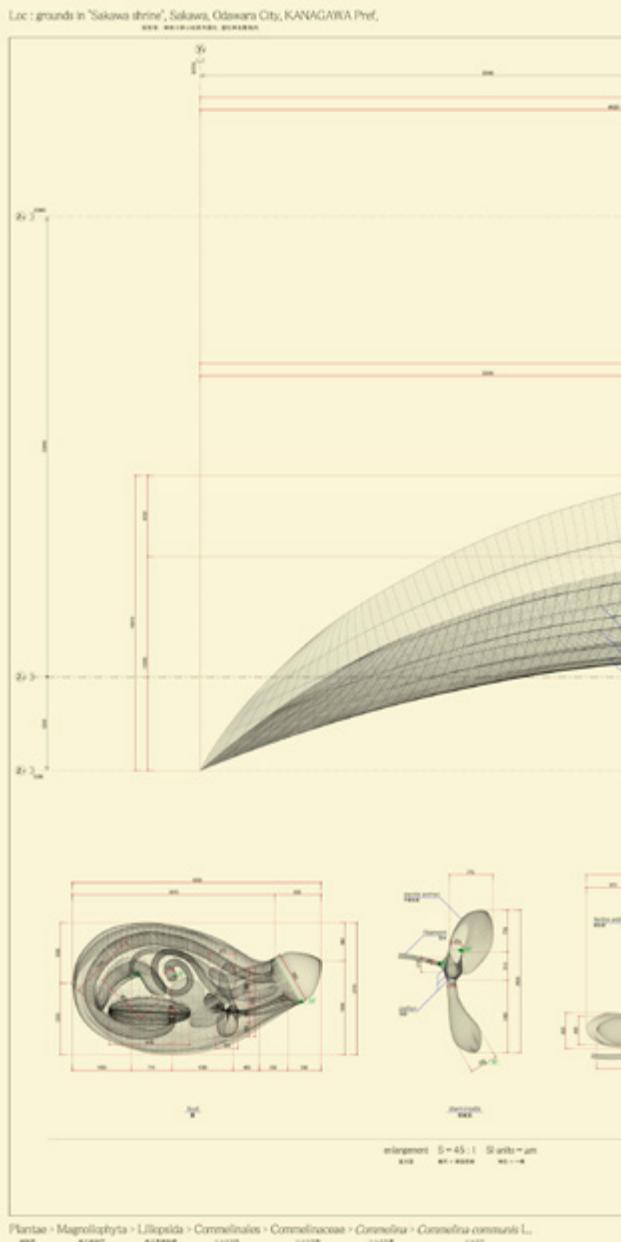
En “Expresión en medios”. IAMAS es un nuevo motor educativo que genera nuevas expresiones y cultura que sintetiza las tecnologías avanzadas, las ciencias de la información y las expresiones de arte.

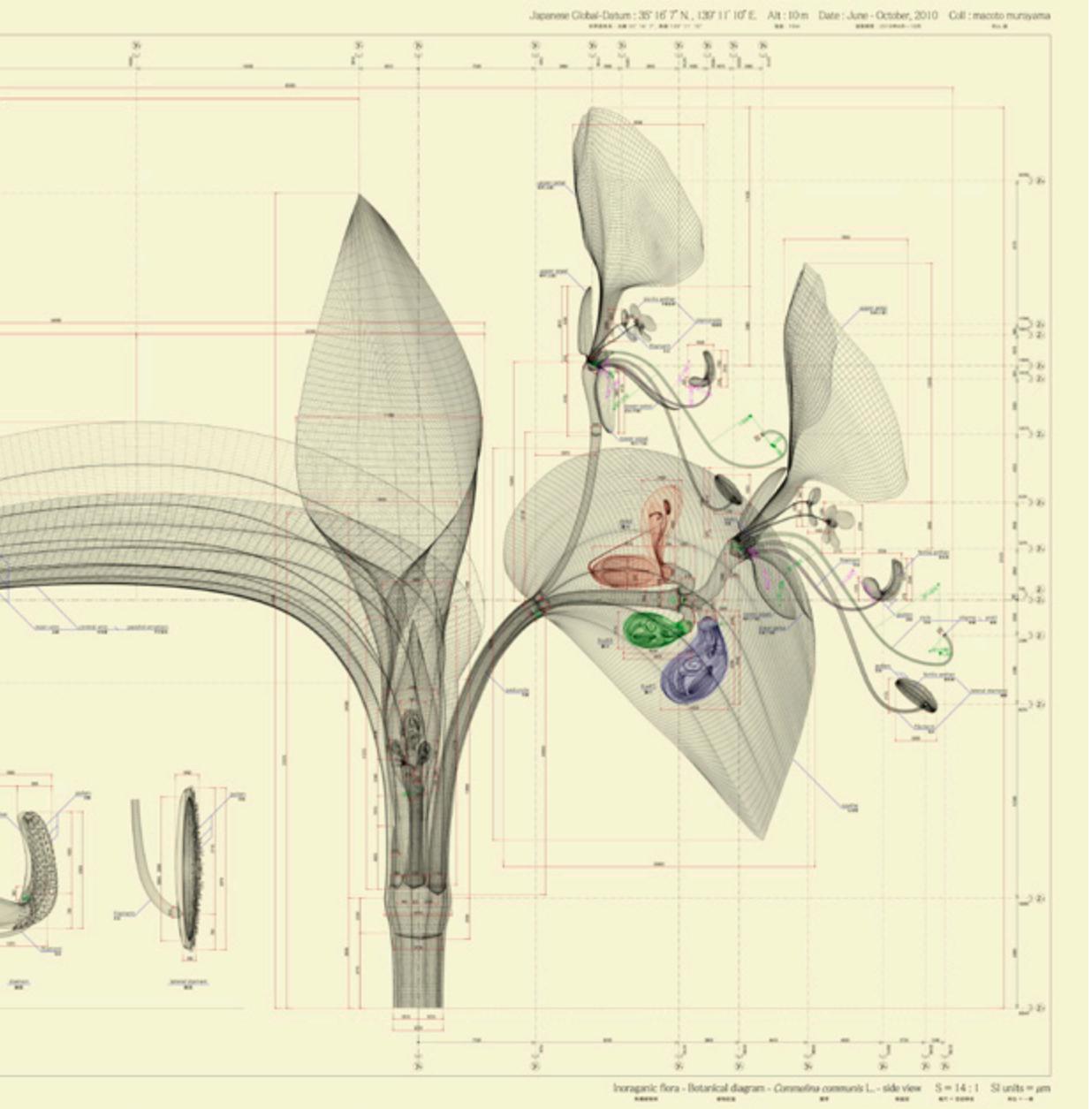
Tu biografía dice que fuiste investigador en IAMAS de 2009 a 2010. ¿Qué investigaste? ¿Actualmente trabajas en tu arte de tiempo completo, o también tienes otro empleo?

Cuando era estudiante, buscaba desarrollar más mi obra. Me ofrecía como diseñador gráfico o trabajaba en una galería de arte, o seguía estudiando mi doctorado y hacía investigación de un nivel más alto. En ese entonces, durante la exhibición AATM2009 se me acercó Frantic Gallery, con quien trabajo ahora. ¿Qué es el arte? ¿En qué difiere del diseño? ¿Qué es esto de ser artista? Había tantas cosas que no podía entender. Después de ingresar en el mundo del arte, creo que sería capaz de responder esas preguntas y elevar mis obras a una dimensión más alta. Eso es lo que estoy haciendo ahora. ×

Para ver más del trabajo de Macoto Murayama, por favor visita:

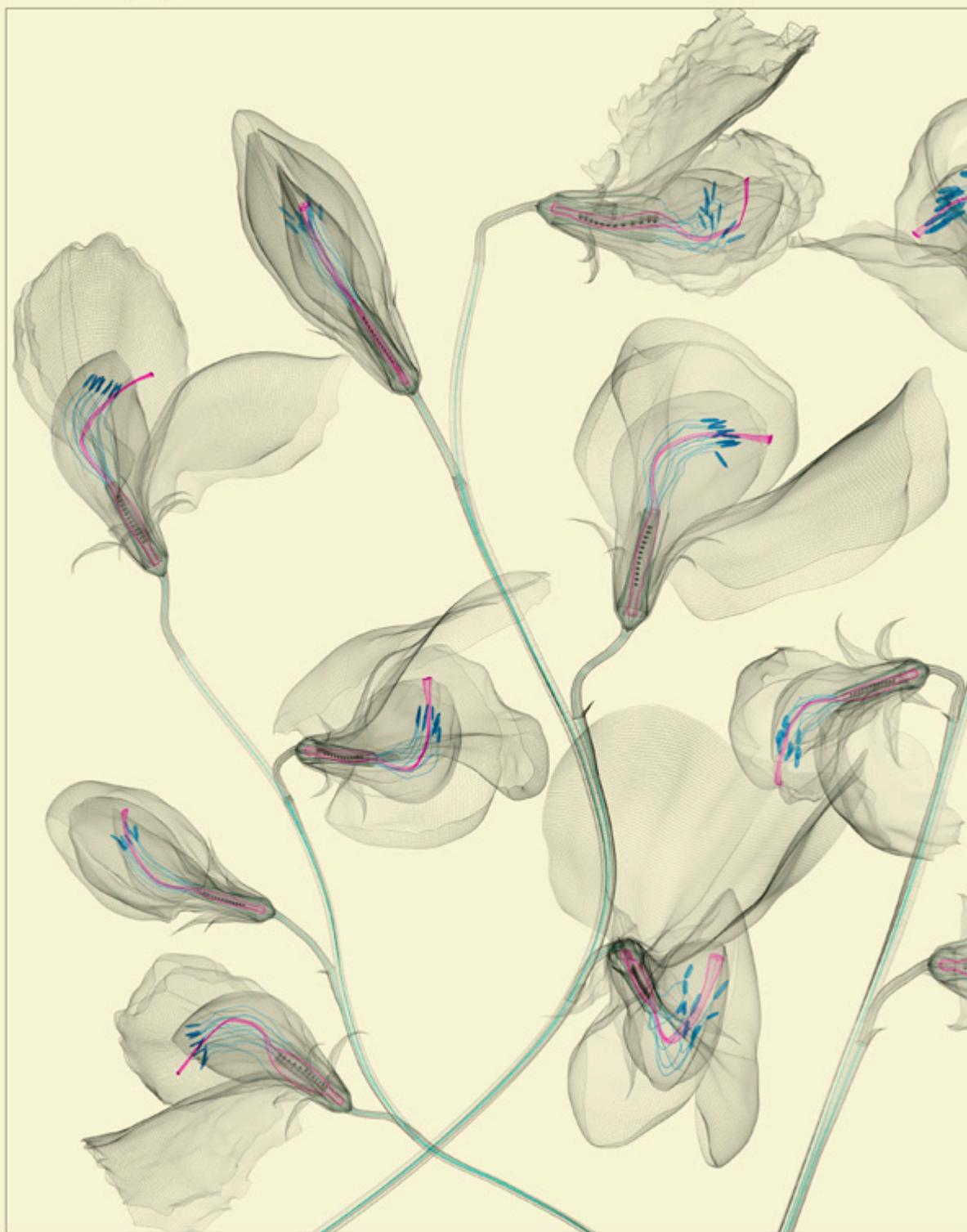
<http://frantic.jp/en/artist/artist-murayama.html>





Commelina communis L. - vista lateral - ow (y detalle)
Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

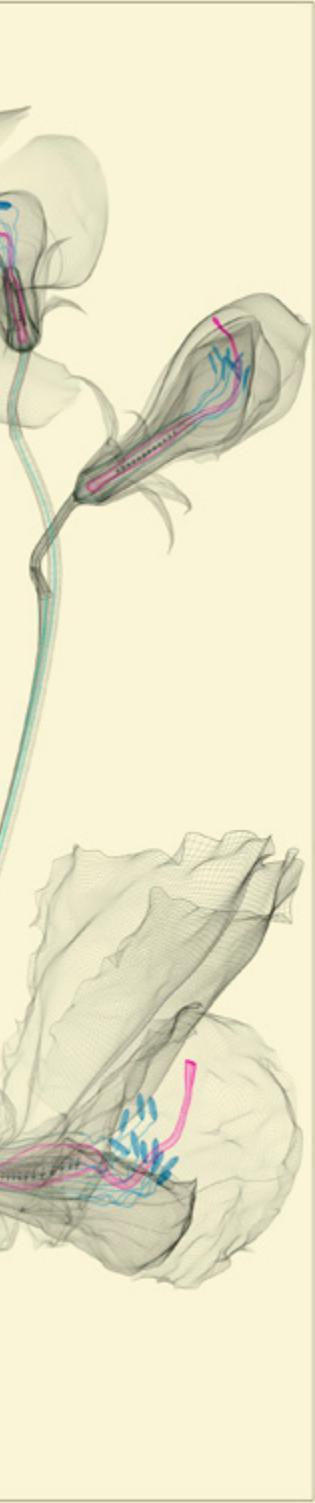
Floral formula = $4 K_{(2)} C_{1+2+2} A_{1+1} G_{1}$



Plantae > Angiosperm > Eudicots > Core eudicots > Rosids > Fabales > Fabaceae > Faboideae > Lathyrus > *Lathyrus odoratus* L.

Inorganic flora - Botanical diagram - *Lathyrus odoratus* L.

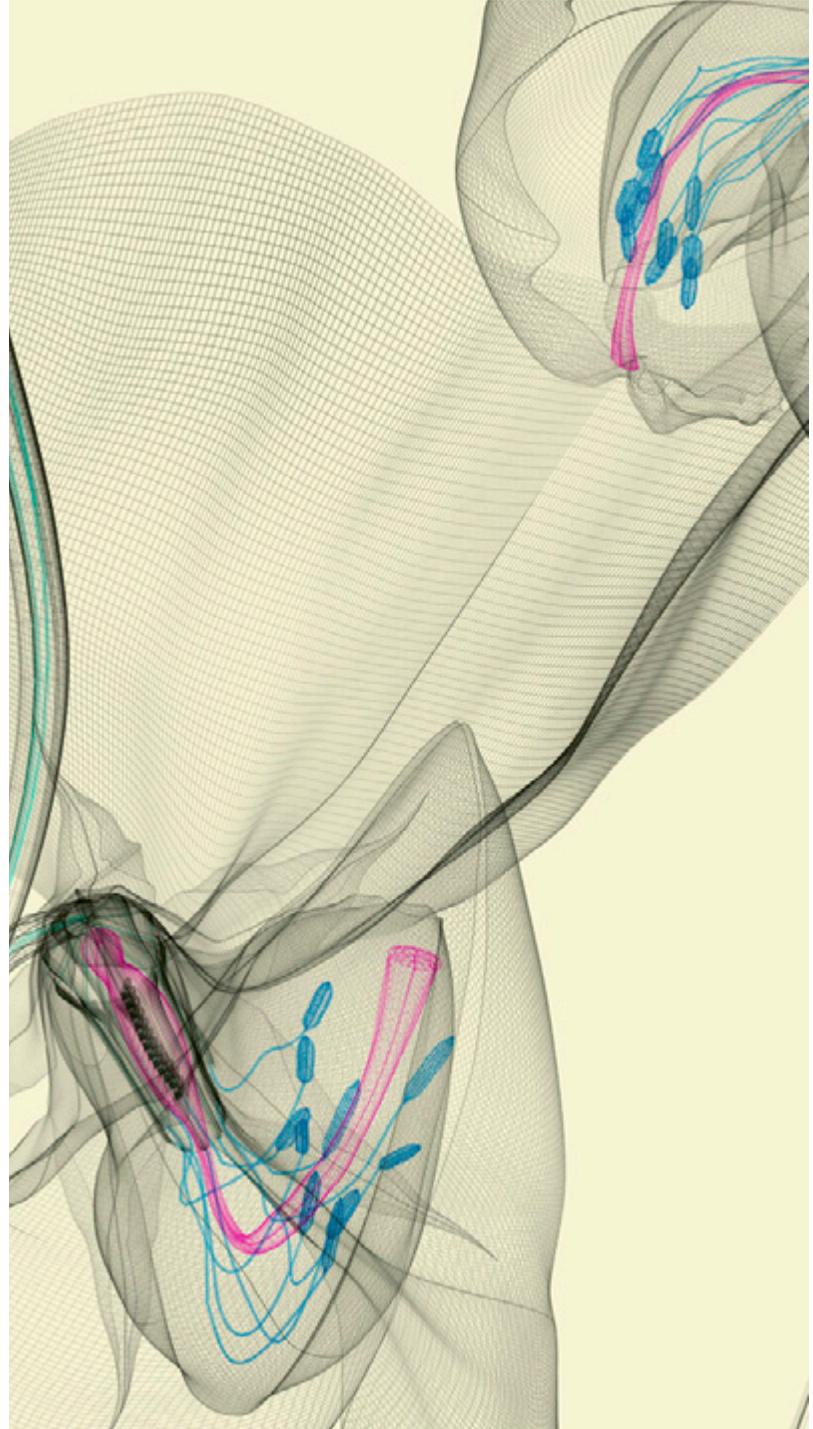
Loc: unidentified Coll: macoto murayama



Lathyrus odoratus L. - ecology view S = 7 : 1 SI units = μm

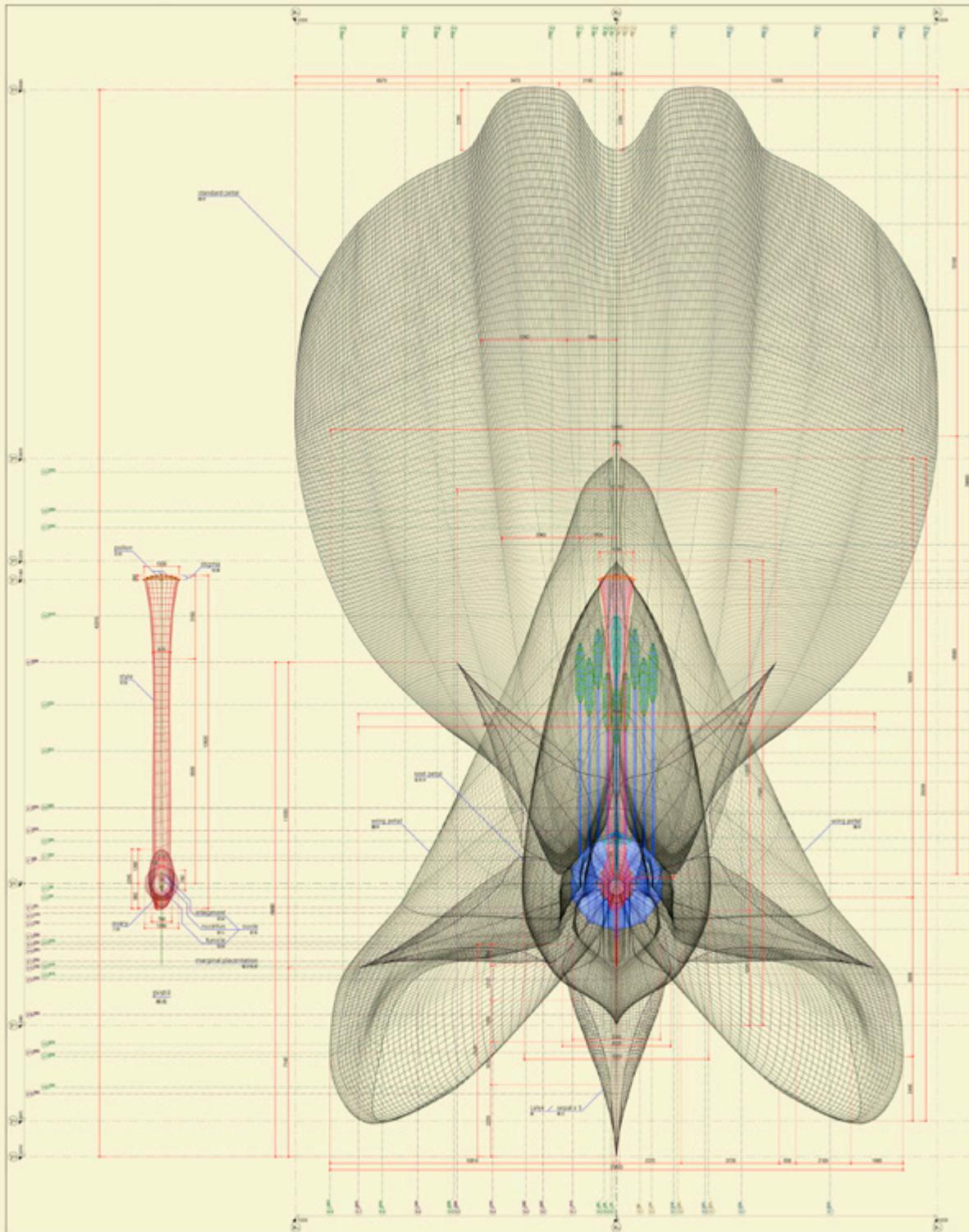
Lathyrus odoratus L. - vista de la ecología - ow (y detalle)

Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



Floral formula = $4 K_{(2)} C_{1+2+2} A_{1+1} G_{1}$

RSZ RSRW RW L RW L+RW RW L+RW RW L+RW

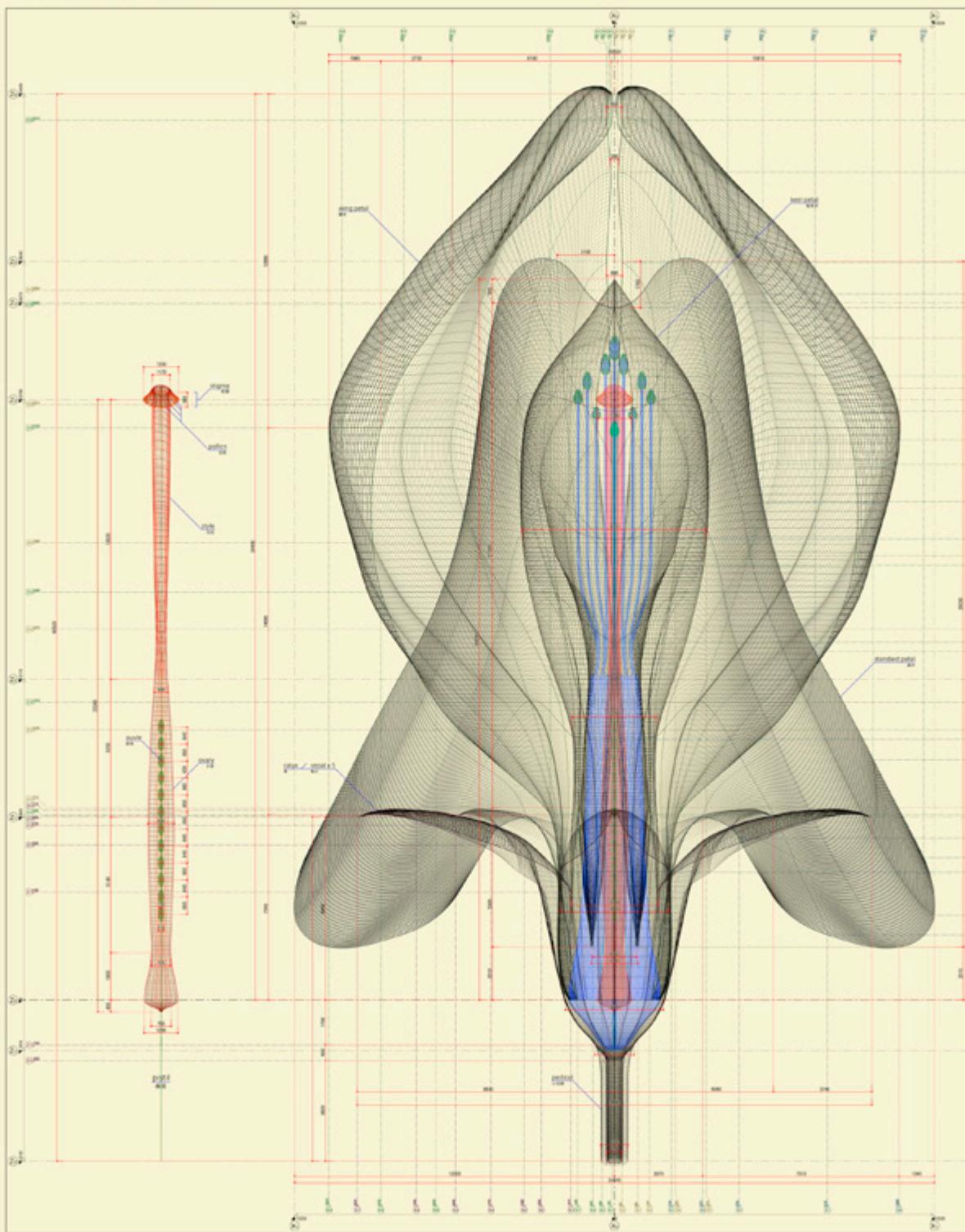


Plantae > Angiosperm > Eudicots > Core eudicots > Rosids > Fabales > Fabaceae > Faboideae > Lathyrus > Lathyrus odoratus L.

Inorganic flora - Botanical diagram - Lathyrus odoratus L.

Floral formula = $4 K_{(2)} C_{1+2+2} A_{1+1} G_{1}$

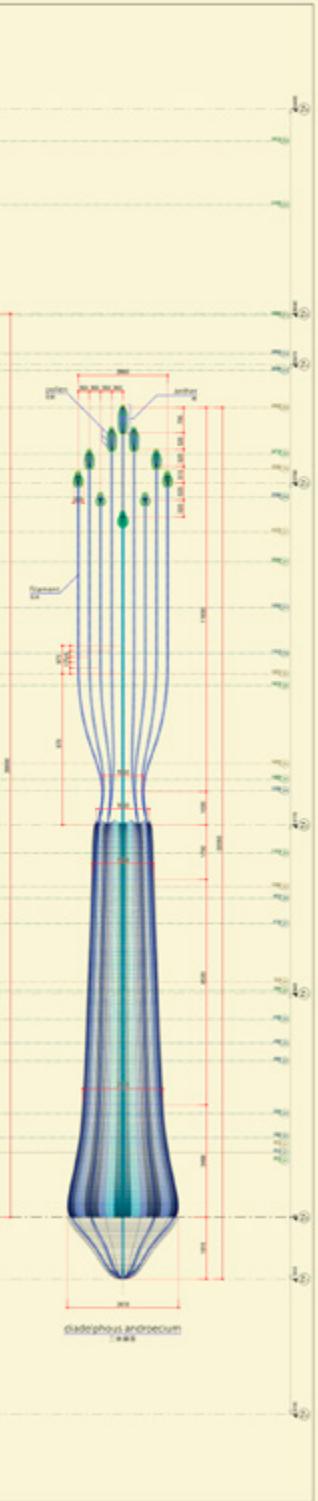
4K (2) C1+2+2 A1+1 G1



Plantae > Angiosperm > Eudicots > Core eudicots > Rosids > Fabales > Fabaceae > Faboideae > Lathyrus > *Lathyrus odoratus* L.

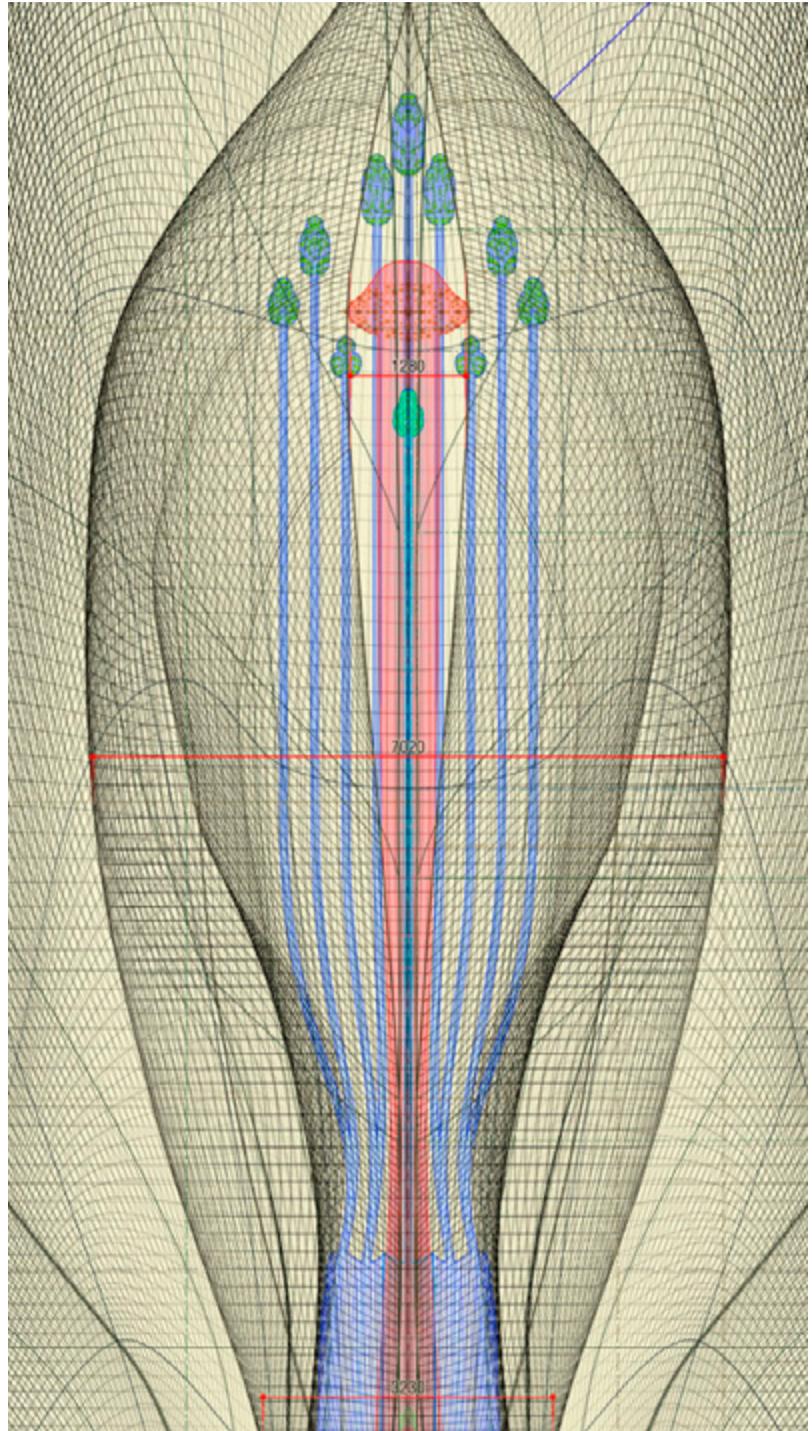
Inorganic flora - Botanical diagram - *Lathyrus odoratus*

Loc : unidentified Coll : macoto murayama

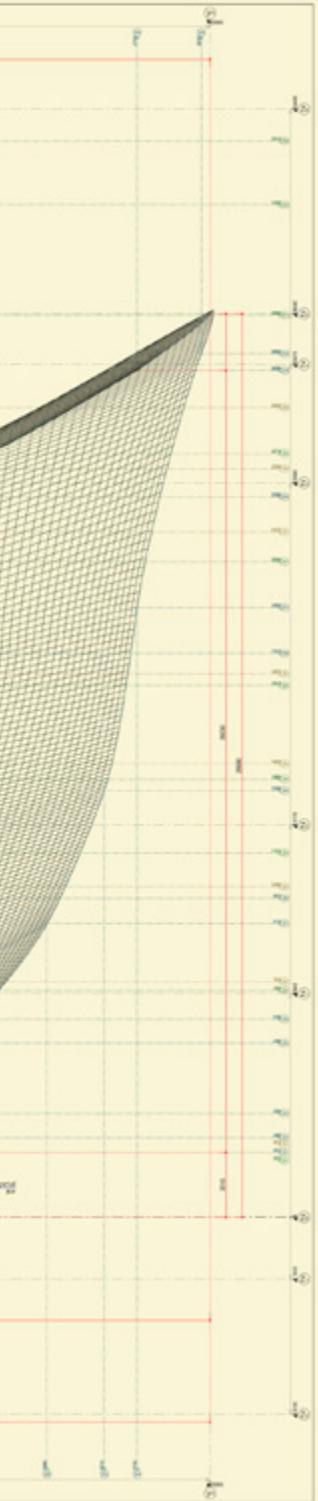


Lathyrus odoratus L. - vista frontal - ow (y detalle)

Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



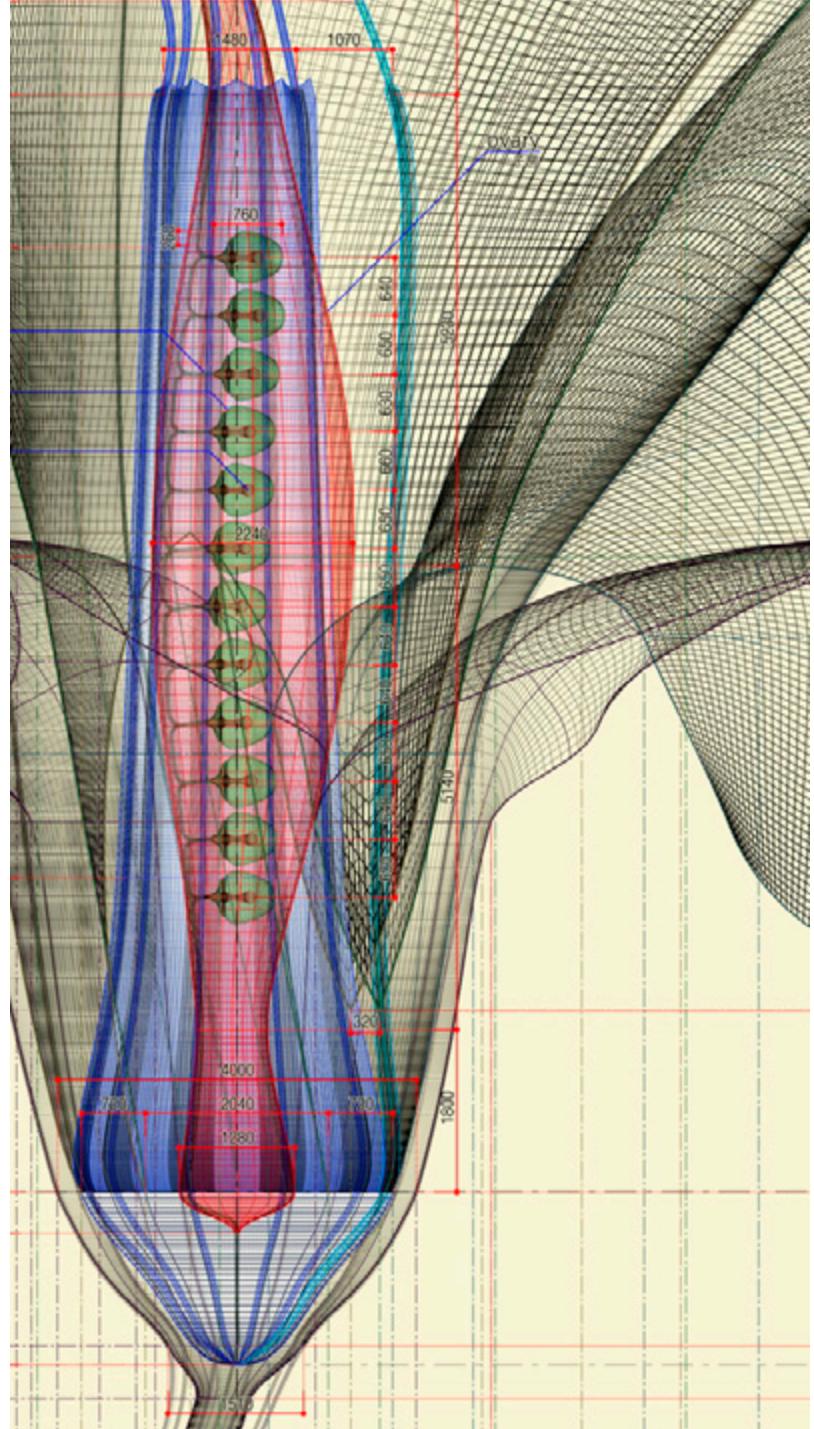
Loc : unidentified Coll : macoto murayama

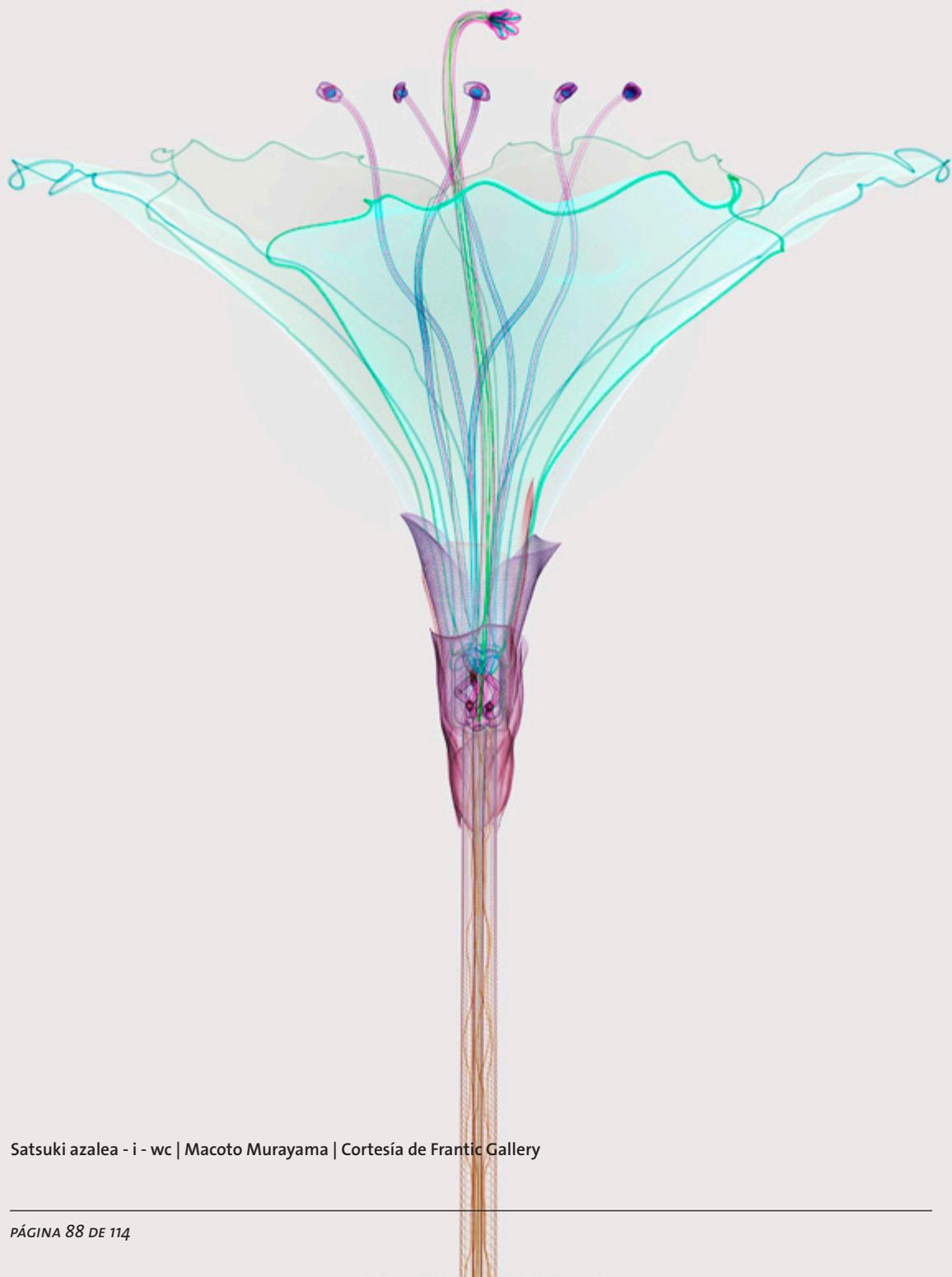


Lathyrus L. - side view S = 20 : 1 SI units = μm

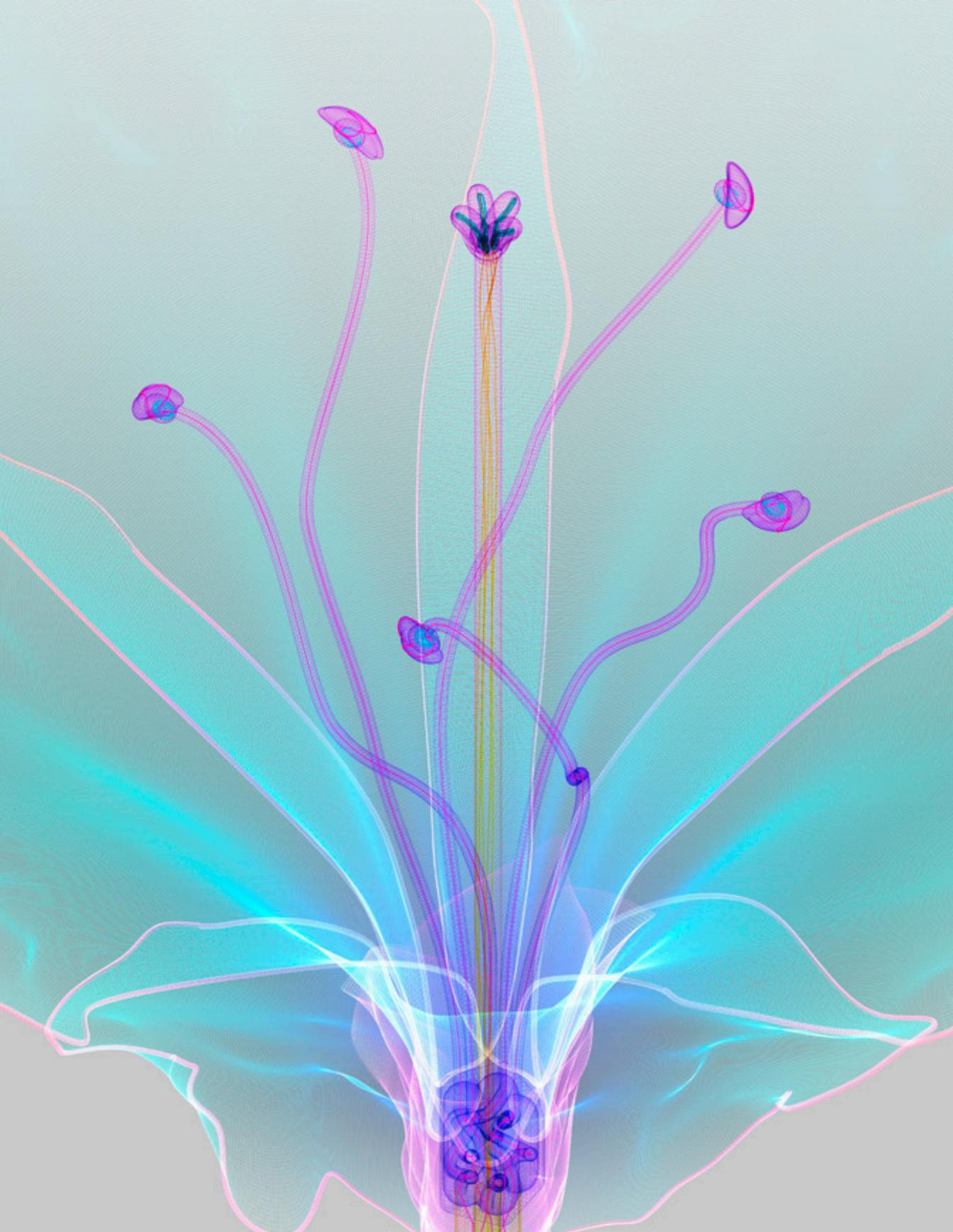
Lathyrus odoratus L. - vista lateral - ow (y detalle)

Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

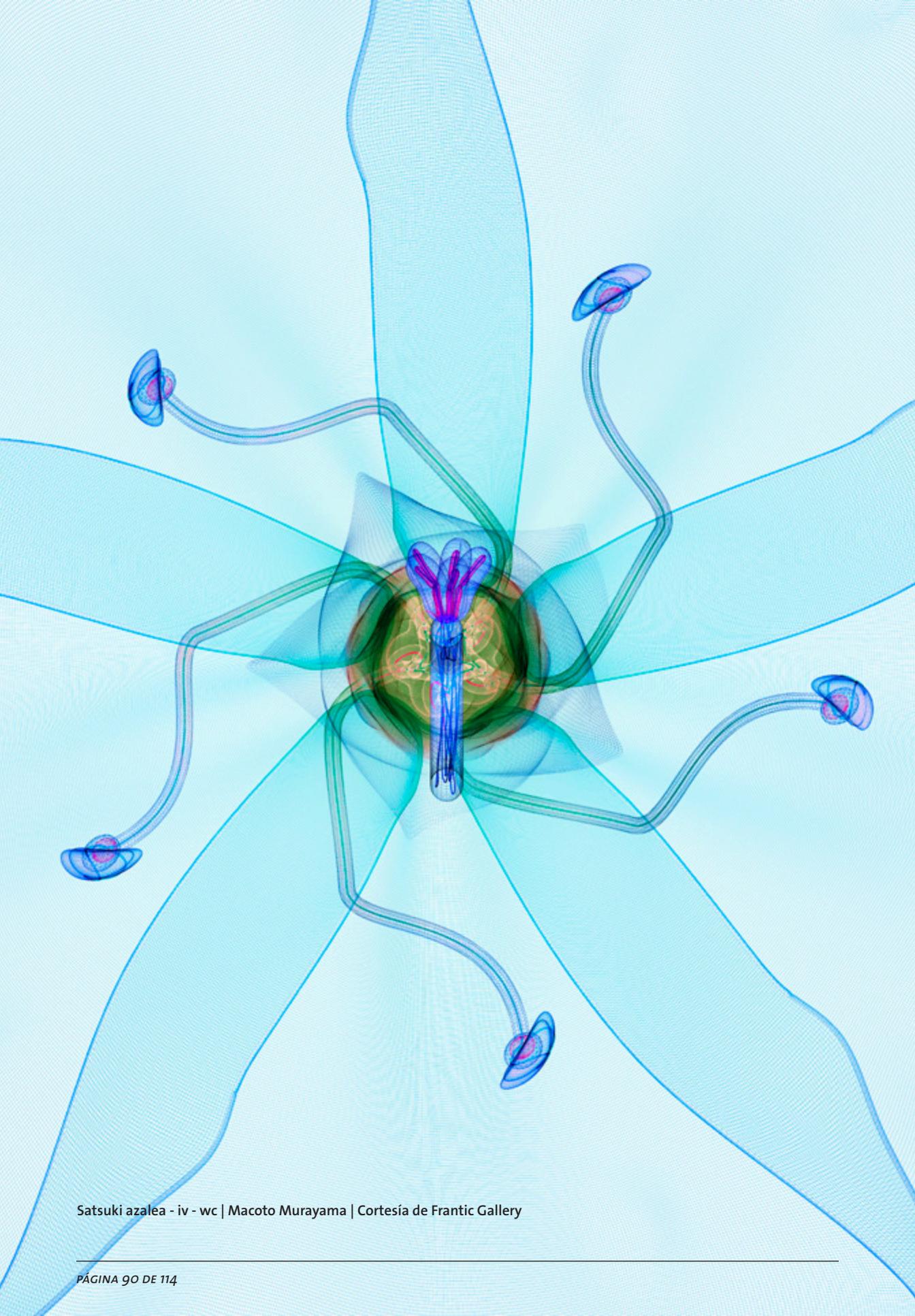




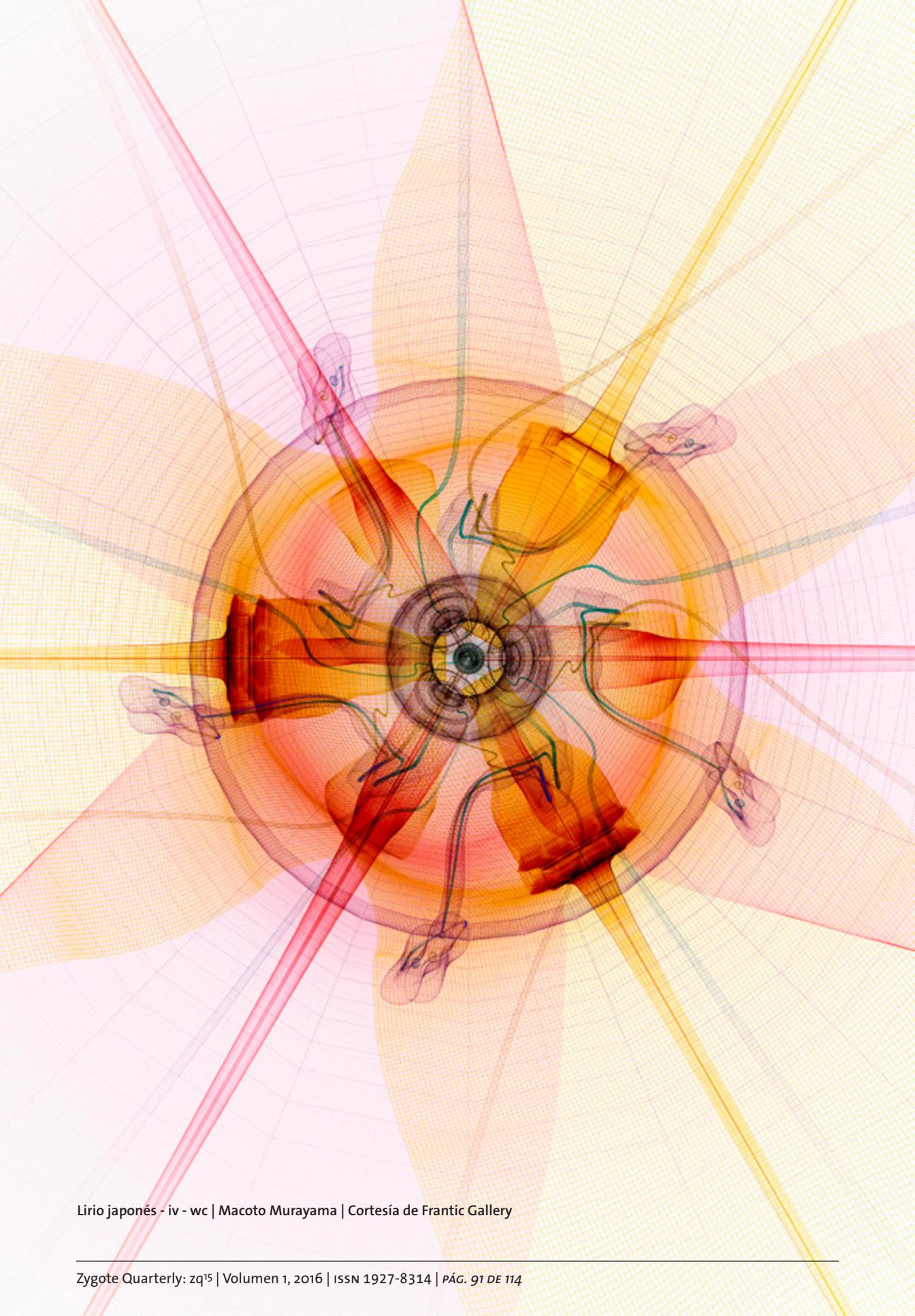
Satsuki azalea - i - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



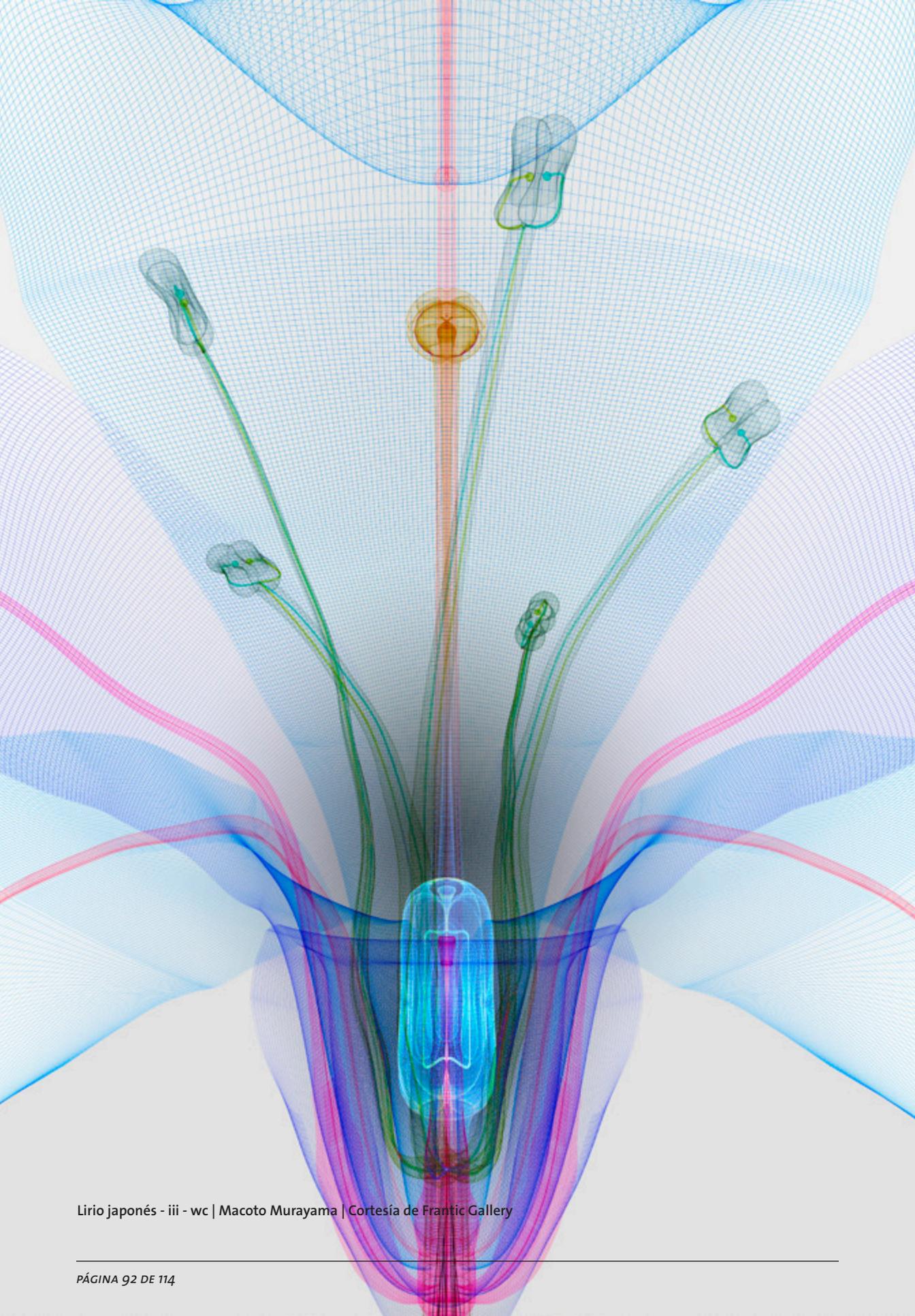
Satsuki azalea - iii - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



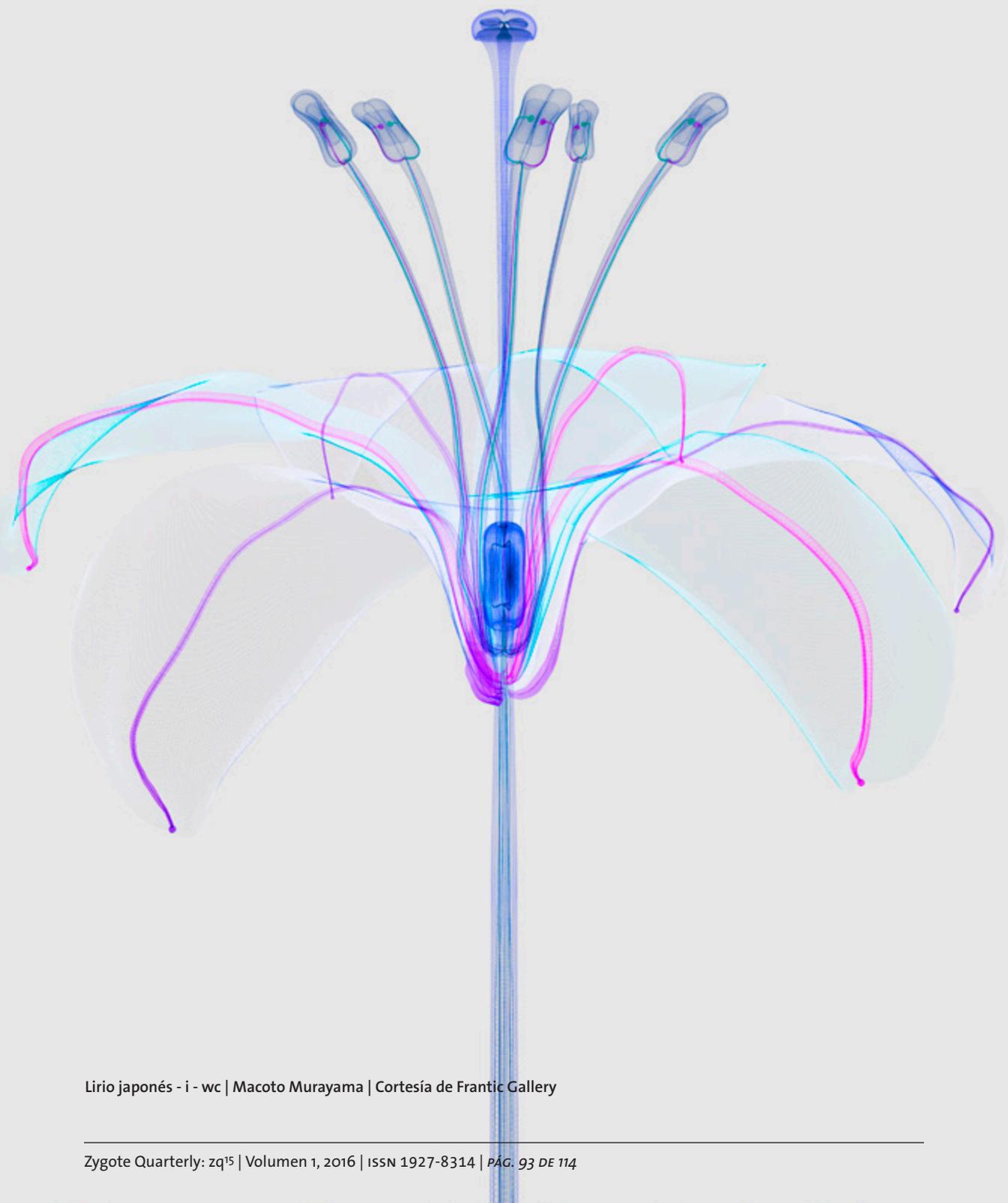
Satsuki azalea - iv - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



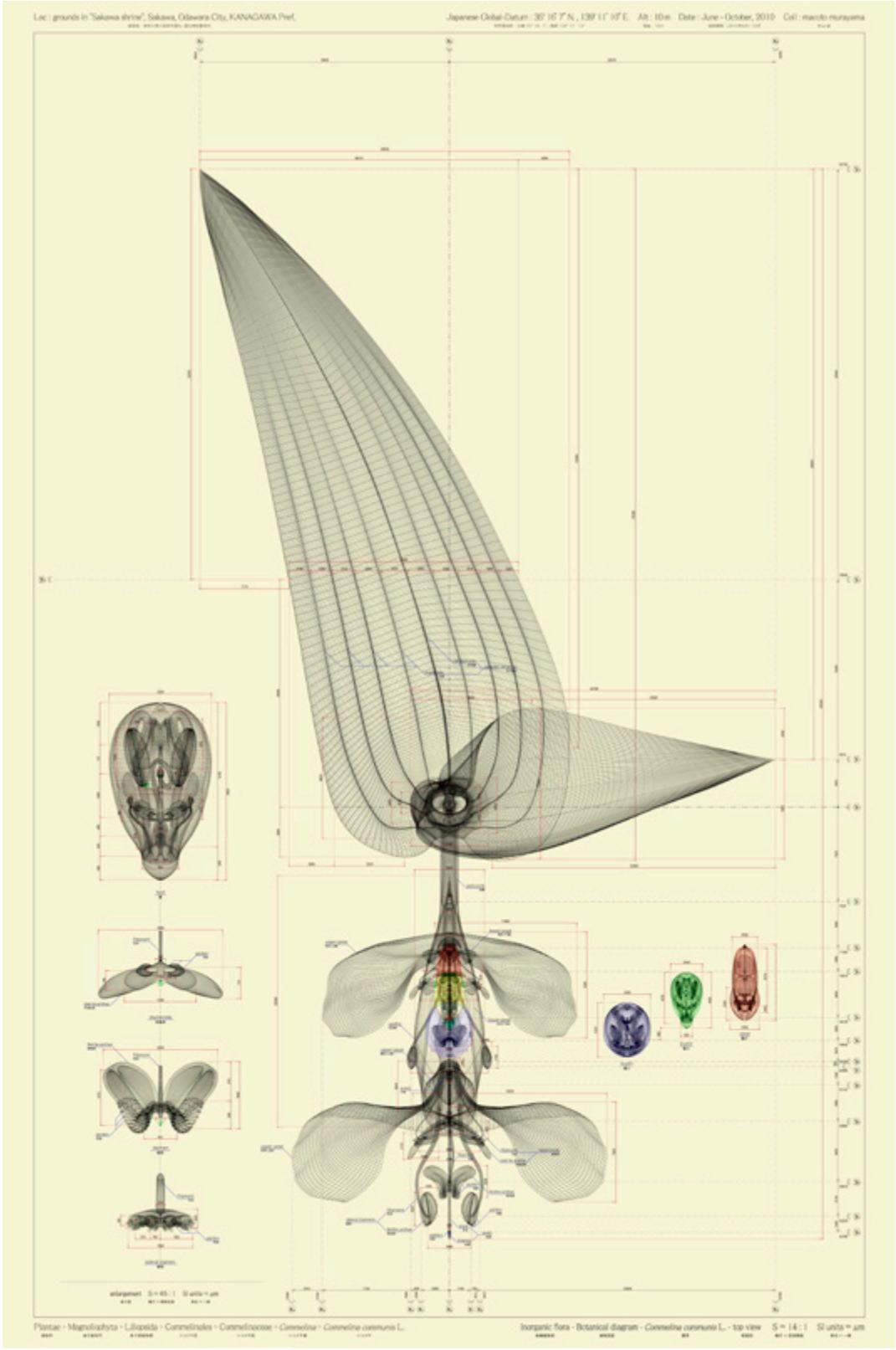
Lirio japonés - iv - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

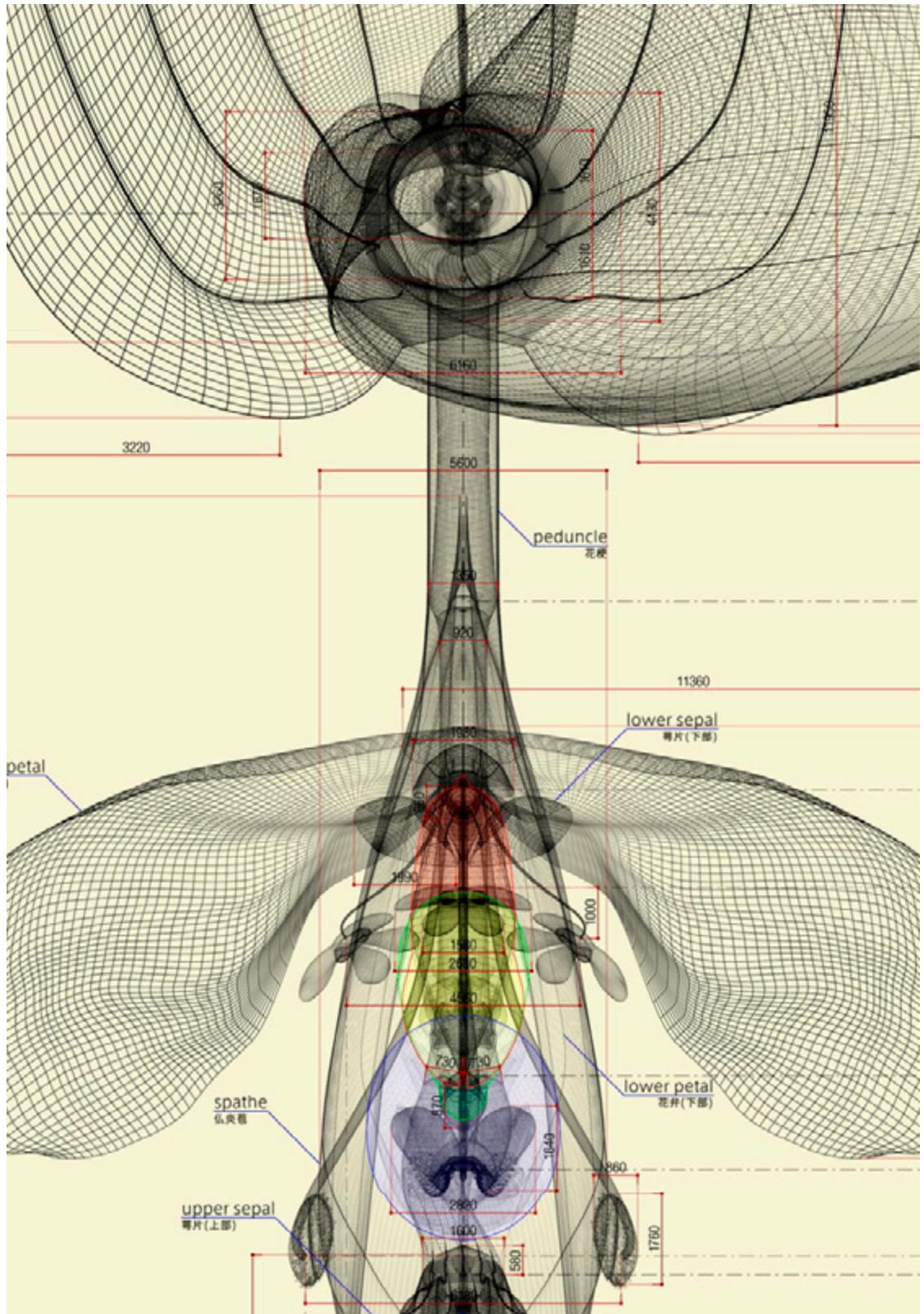


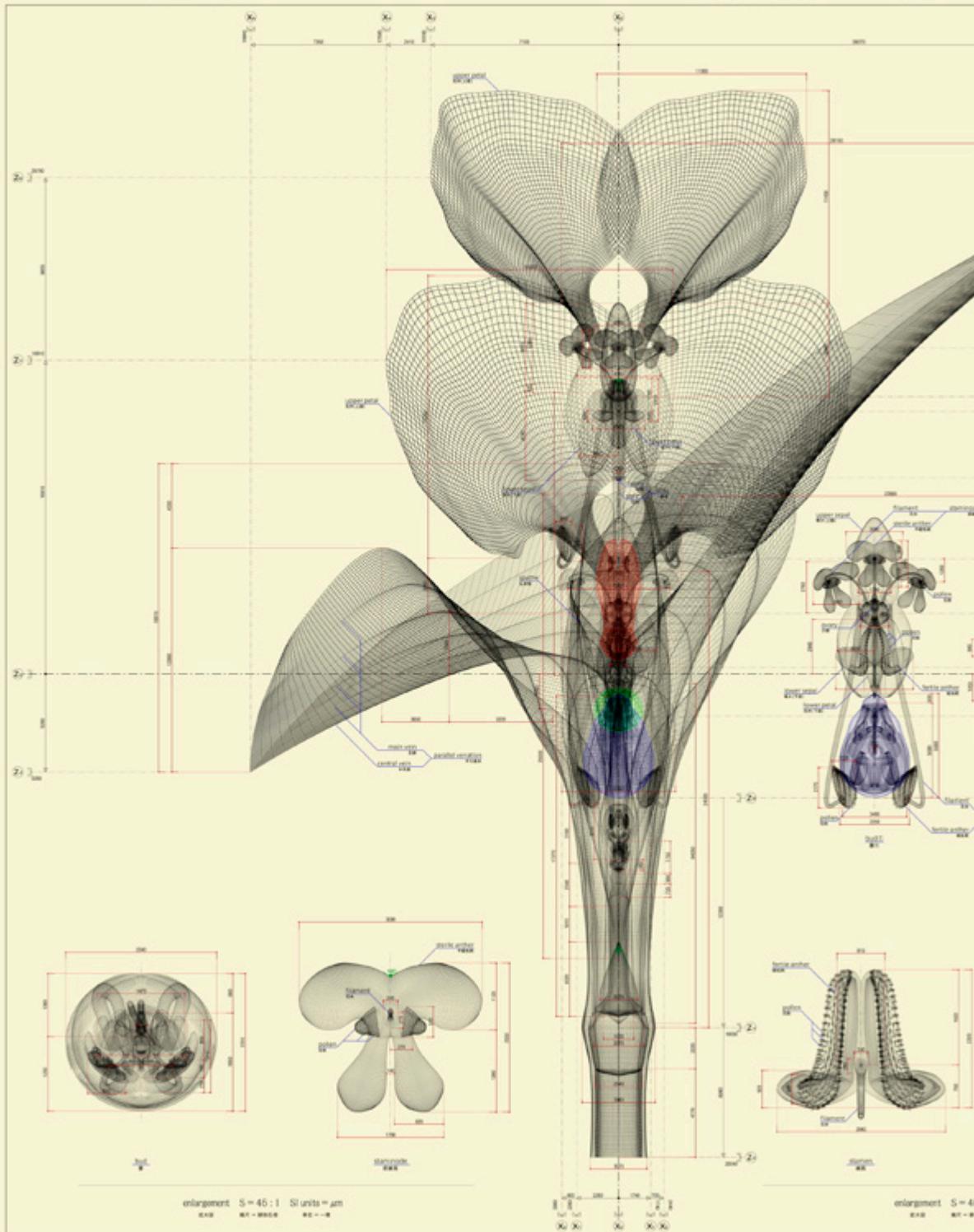
Lirio japonés - iii - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



Lirio japonés - i - wc | Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

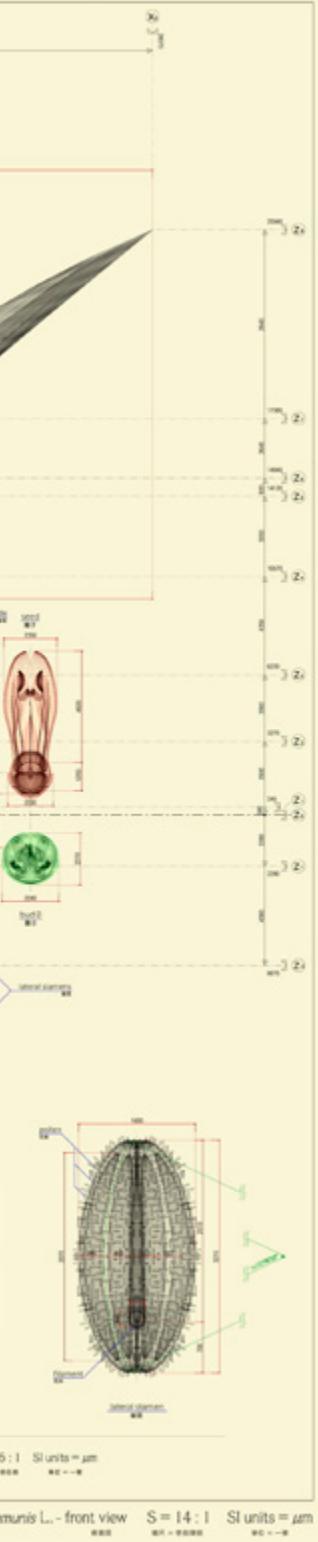






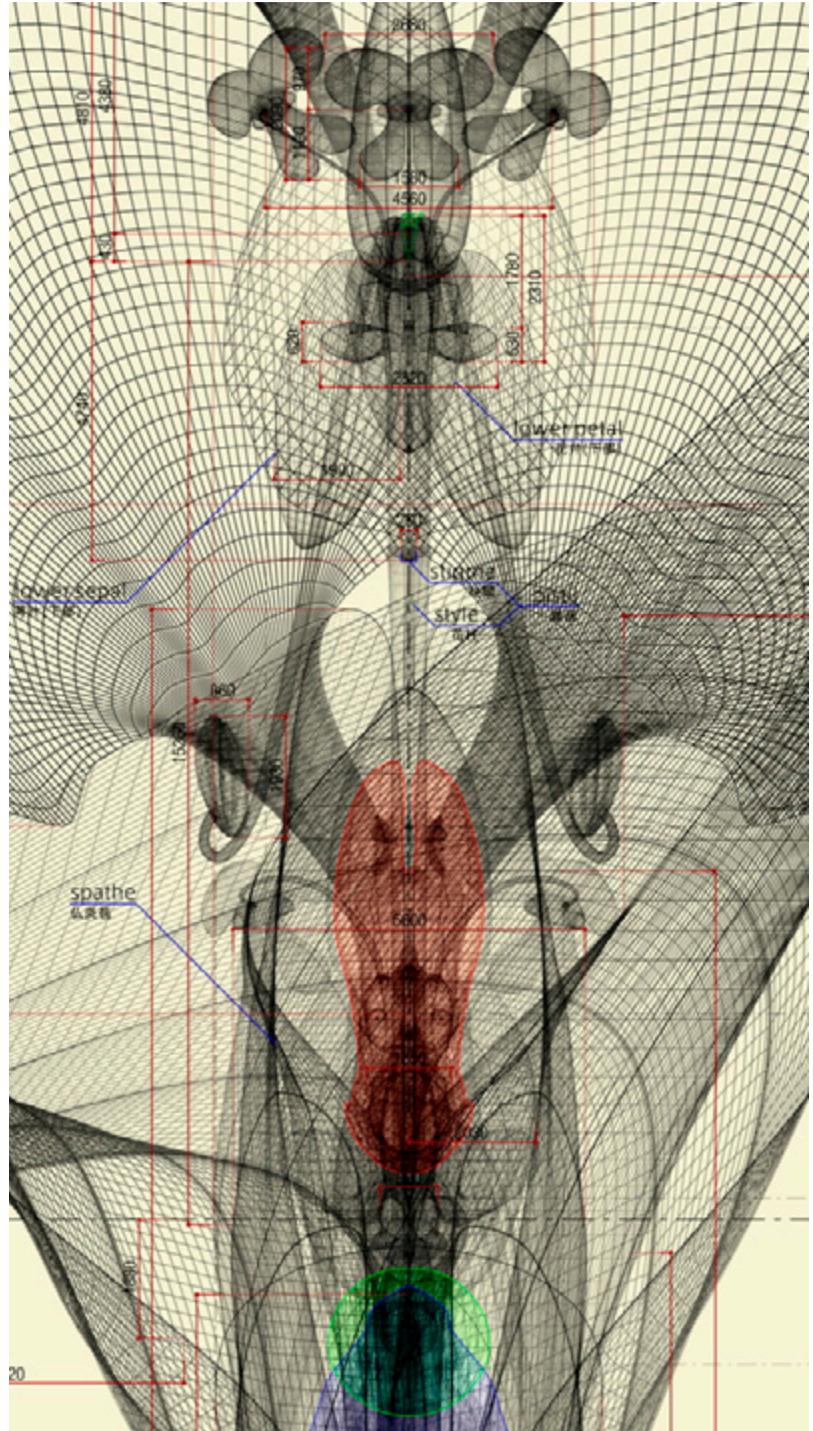
Plantae > Magnoliophyta > Liliopsida > Commelinales > Commelinaceae > *Commelina* > *Commelina communis* L.

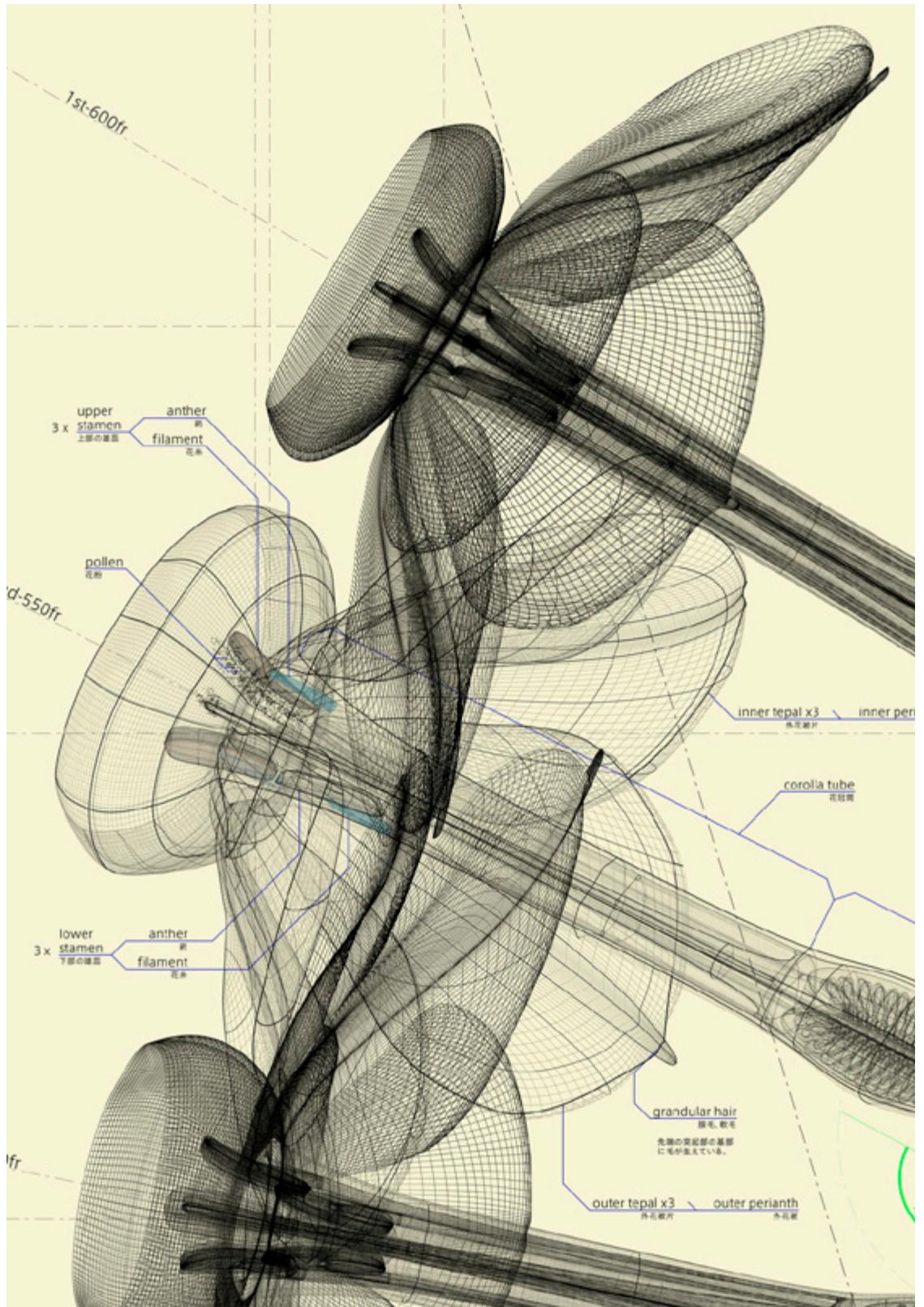
Inorganic flora - Botanical diagram - *Commelina communis* L.

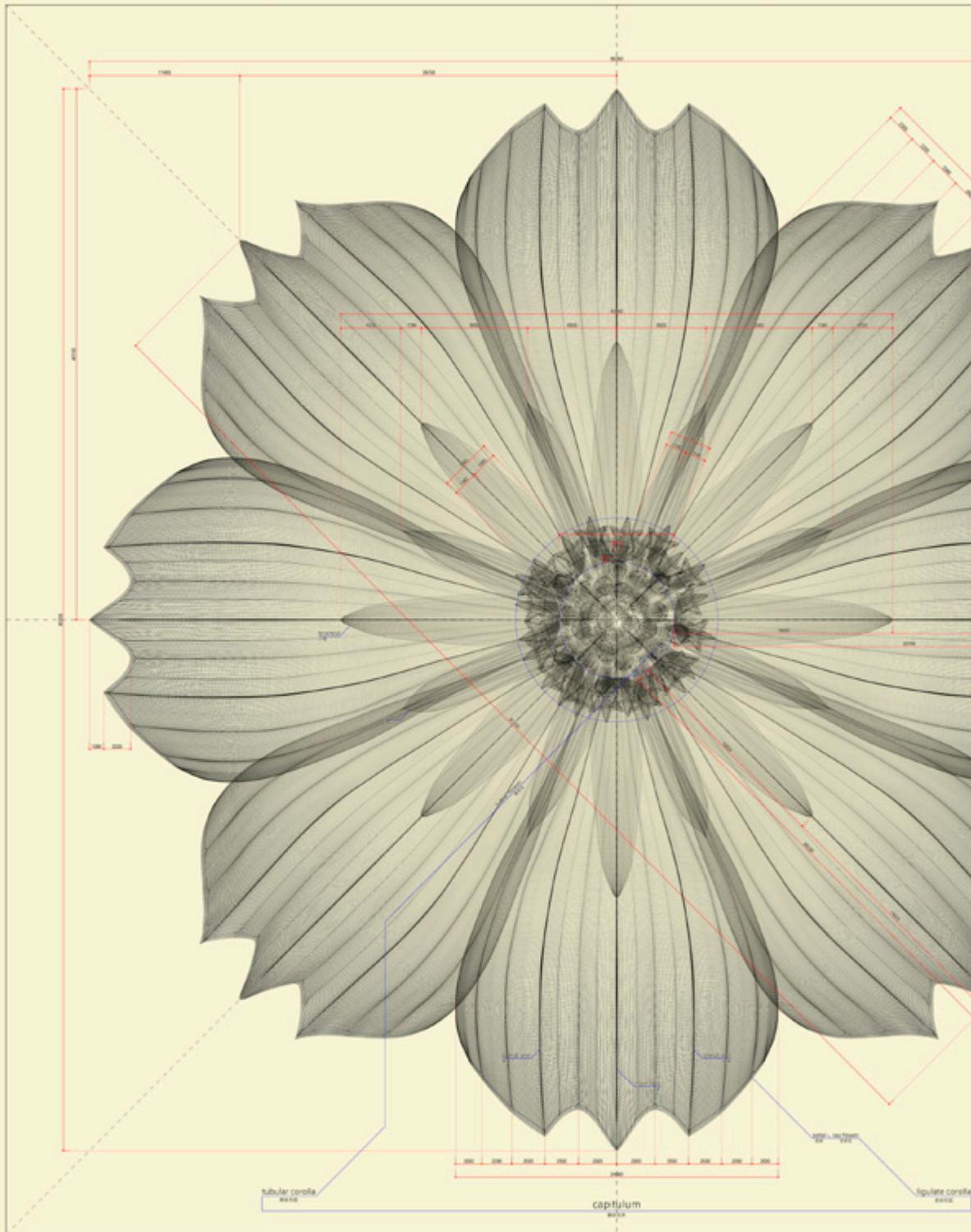


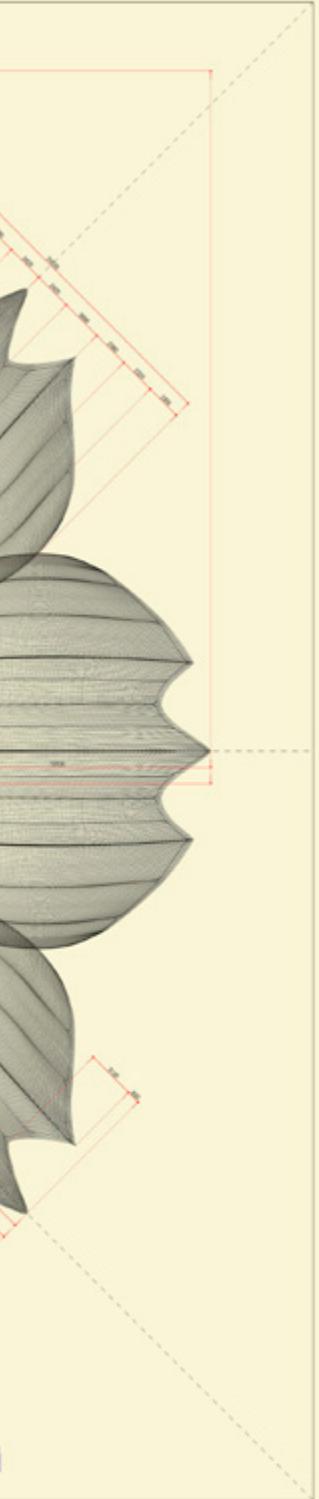
Commelina communis L. - vista frontal - ow (y detalle)

Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



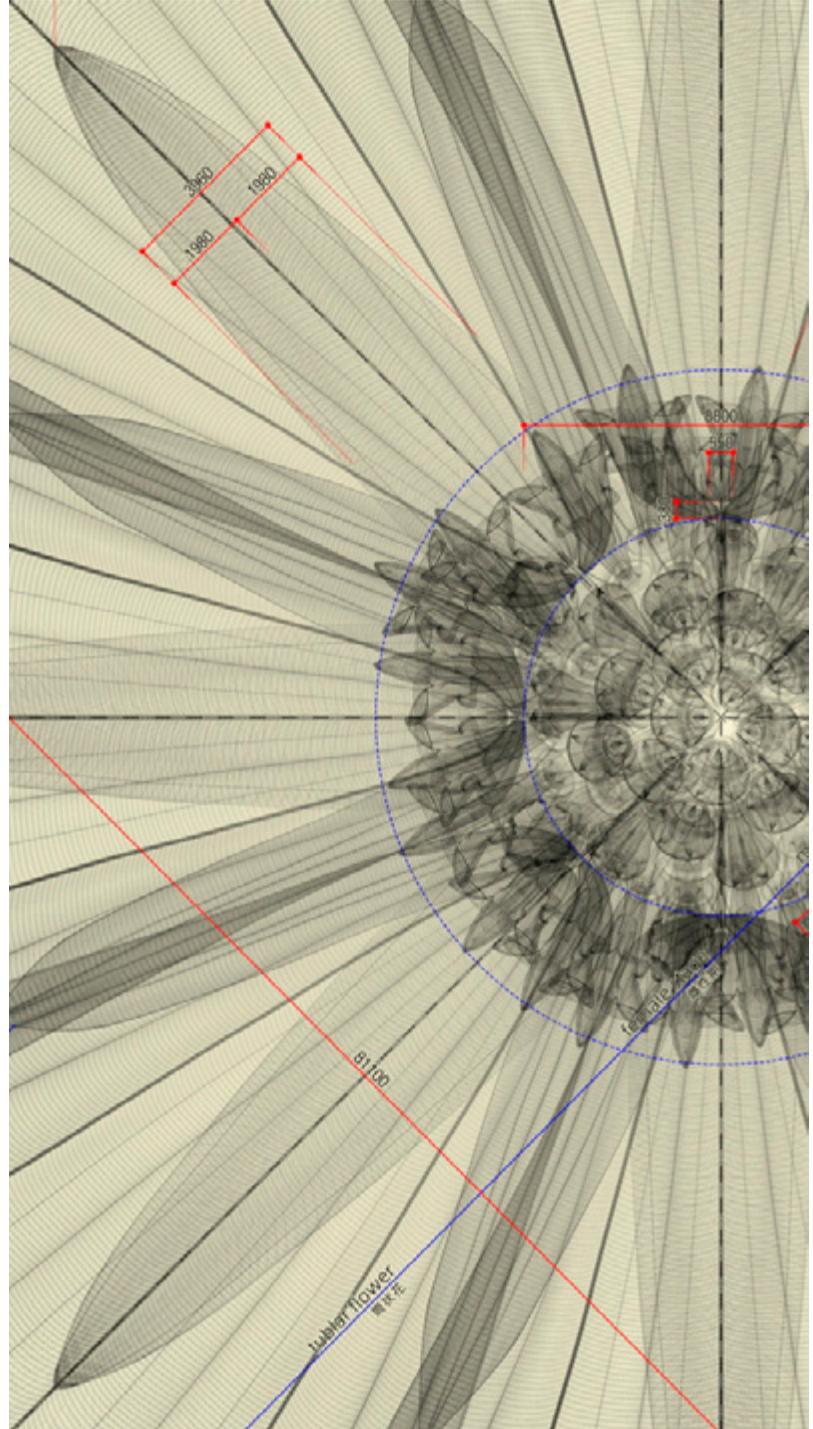






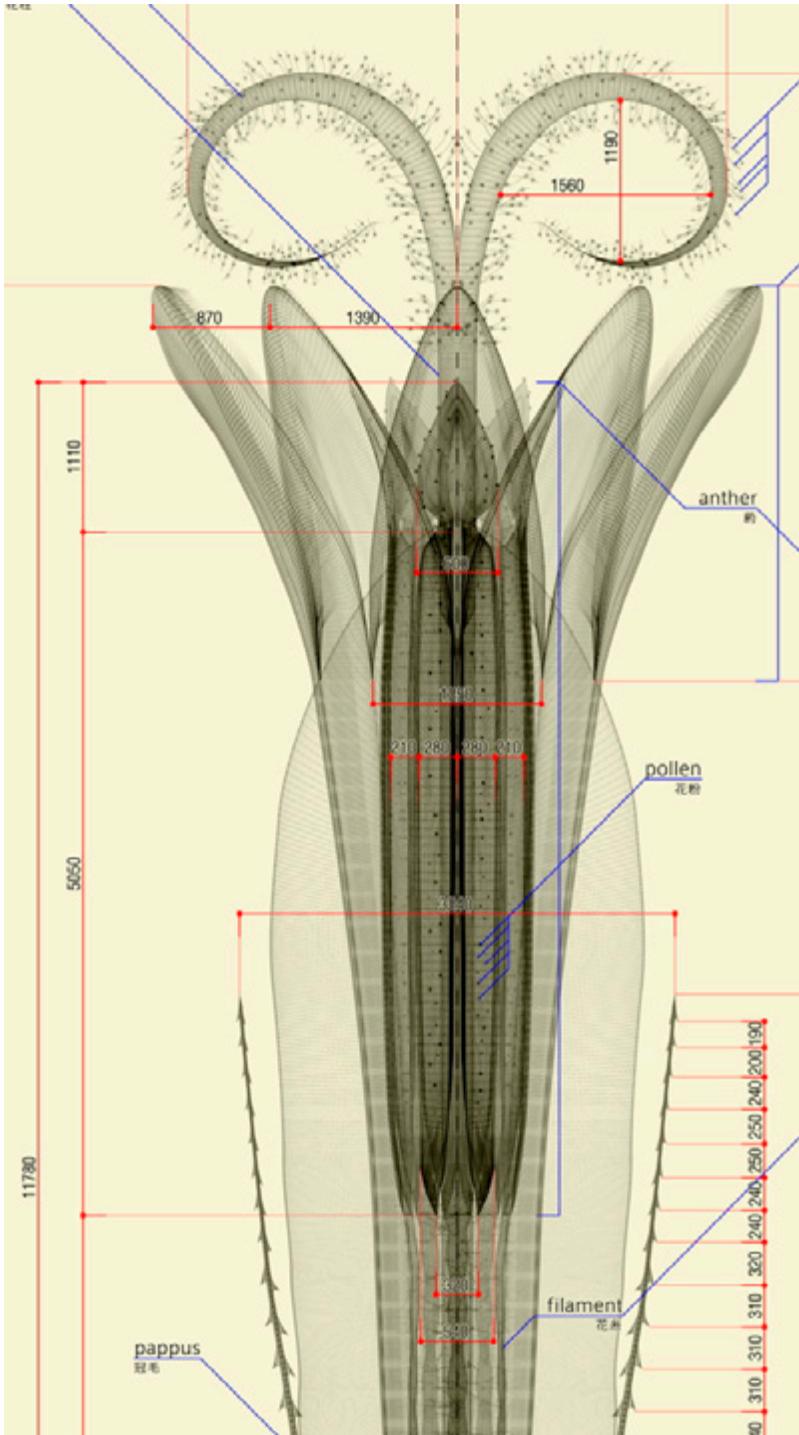
ureus Cav. - top view S = 10 : 1 SI units = μm
1000 0.1 - 0.01 0.01 - 0

Cosmos sulphureus Cav. - vista superior - ow (y detalle)
Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery

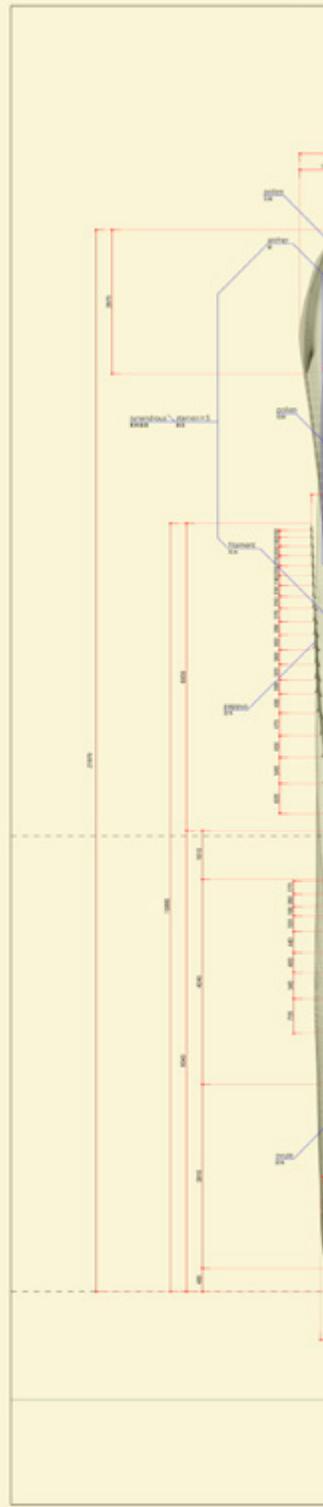


Cosmos sulphureus Cav. - flor tubular - vista superior delantera - ow (y detalle)

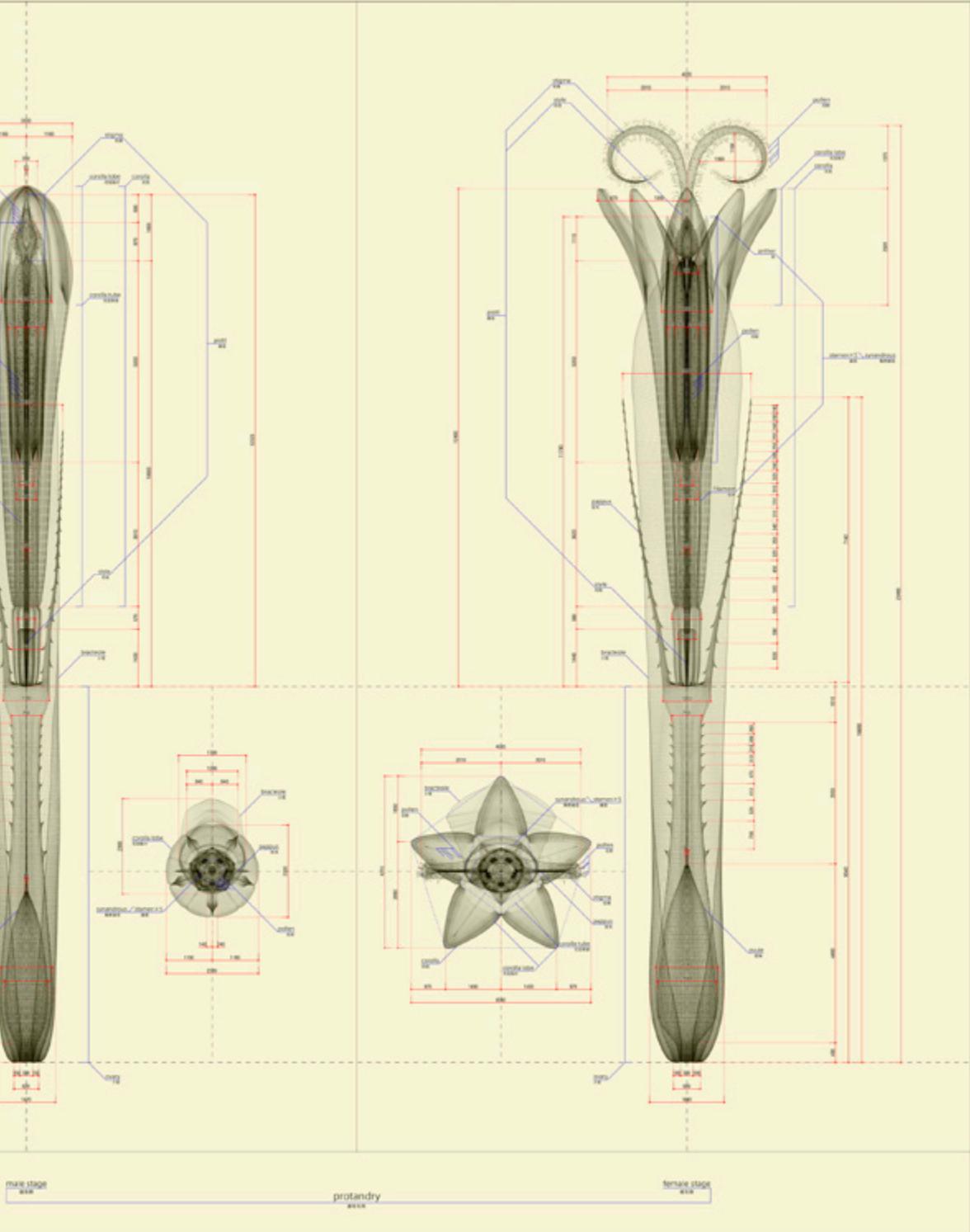
Macoto Murayama | Cortesía de Frantic Gallery



Loc : GIFU Pref, beside roadside of the brook which



Plantae > Magnoliophyta > Magnoliopsida > Asterales





Dosel

Foto: *Tom*, 2009 | Flickr cc



Opinión
*¿Por qué los
paneles solares no
parecen árboles?*

Steven Vogel

¿Por qué los paneles solares no parecen árboles?

“Creo que nunca veré un poema tan lindo como un árbol.”

Incluso quienes no somos bucólicos ni pastores hemos compartido el sentimiento detrás de las palabras centenarias de Joyce Kilmer. Para el caso, la naturaleza también comparte ese sentir. Las plantas maderables como los árboles han evolucionado repetidamente e incluyen a los organismos más grandes que jamás hayan existido. Un árbol provee madera, desde siempre el material estructural más versátil que tenemos, semillas y frutos que nos resultan nutritivos, cobertura contra la exposición solar excesiva, y refugio contra los vientos erosivos y fríos. Un árbol, pues, debe ser obviamente un buen diseño, adecuado para estructuras de gran escala, como las que los humanos construimos.

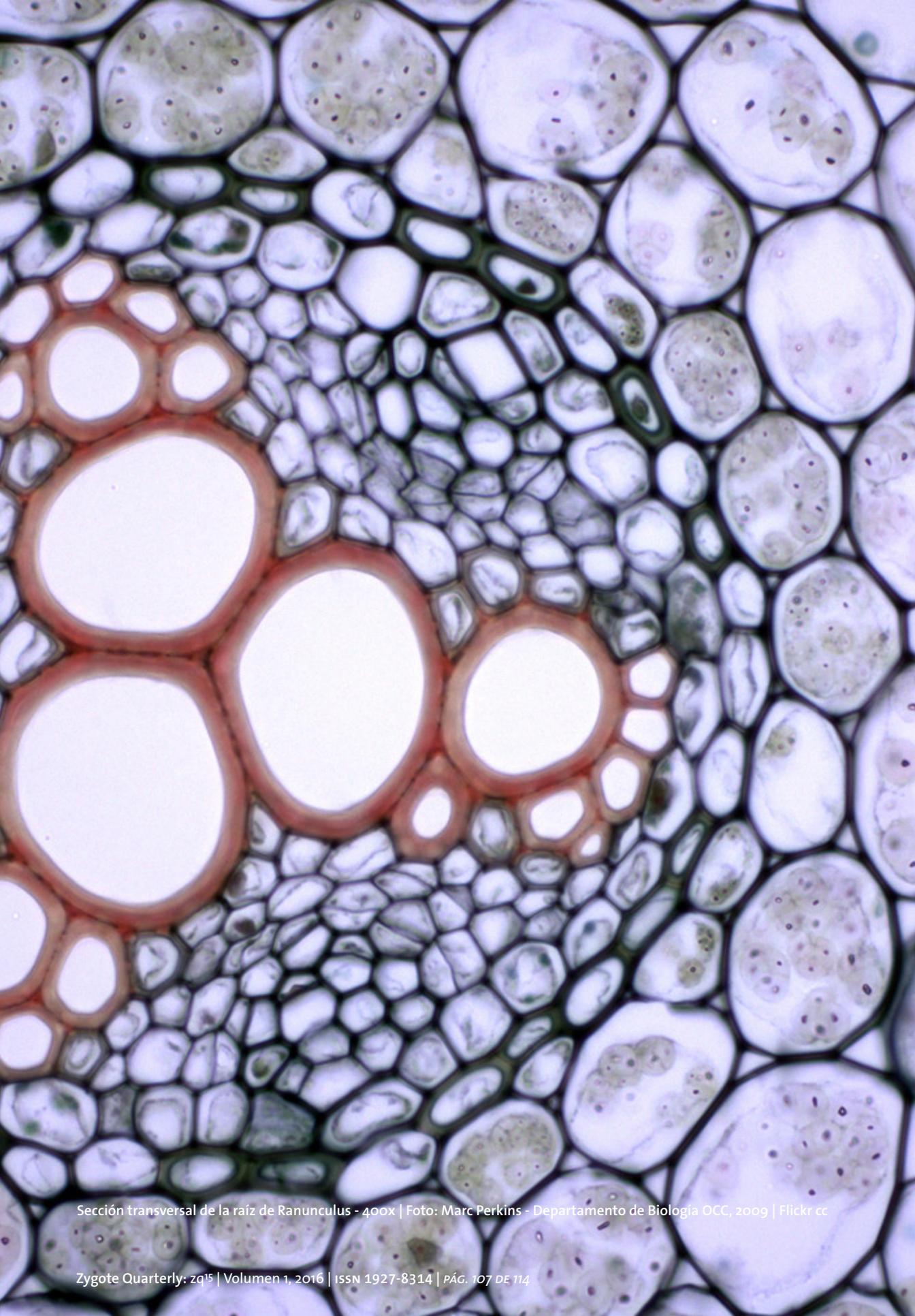
¿O deberíamos considerar su diseño como terriblemente fallido? Treinta metros y medio de tronco no pone a la maquinaria fotosintética más cerca del sol, lo que simplemente refleja la incapacidad de los árboles de negociar colectivamente un tratado para limitar el tamaño de los troncos. Esa altura requiere de una enorme y poco productiva inversión en madera. También significa darle a la corona, una parte propensa al arrastre, un largo brazo palanca que hace más fácil que el tronco se rompa o que el árbol se desgarre del suelo.

Típicamente, las hojas están divididas, son delgadas y flexibles, ya que lidian con los problemas

de soportar peso en alto y muchas también con el costo de reemplazarse anualmente. Están dispuestas en capas porque parece que no pueden formar una superficie absorbente continua. Más aún, las hojas penden de ramas expansivas que salen de un solo tronco porque casi ningún árbol forma marcos eficientes con soporte.

Los árboles levantan cantidades prodigiosas de agua, cantidades muy superiores a las requeridas para la fotosíntesis (por alguna causa el agua debe dispersarse hacia afuera del árbol para que el dióxido de carbono entre), incluso si las tasas de la misma varían ampliamente. Llevan a cabo esta peculiar tarea con una bomba única que no tiene partes móviles y funciona con energía solar. Uno podría citar con facilidad muchos más ejemplos de sus características peculiarmente problemáticas.

Sin embargo, aunque podría decirse que estas características, son disfuncionales en lo abstracto, “tienen sentido”. Efectivamente, deben tener sentido pues son el resultado *ipso facto* de la selección natural. Un organismo tiene poca realidad funcional fuera de su contexto evolutivo y ambiental; concurrentemente tiene poco sentido buscar dispositivos funcionales sin tomar inmediatamente en cuenta el contexto. Ni toda la antigüedad ni toda la ubicuidad pueden hacer que el diseño de un árbol sea atractivo para



Sección transversal de la raíz de Ranunculus - 400x | Foto: Marc Perkins - Departamento de Biología OCC, 2009 | Flickr cc



Bambú | Foto: halbewelt, 2013 | Flickr cc

nuestros paneles solares, ya sea para generar calor, energía o químicos de la fotosíntesis. Por el contrario, los detalles de diseño pueden enseñarnos más que el esquema general.

Veamos ese tronco. Comparado con nuestras columnas estructurales, los troncos, en particular los jóvenes, se flexionan con facilidad. La mayoría son sólidos, y no huecos, con lo que evitan los problemas de ovalización y pandeo local que se presentan en nuestros tubos huecos. Los culmos huecos del bambú, por cierto, minimizan este problema con las maderas más duras (más alto módulo de elasticidad), además de prevenir la ovalización con diafragmas periódicos.

El típico diseño del tronco de un árbol ofrece múltiples detalles instructivos. Por ser estructuras de un material anisotrópico con fibras longitudinales (como en nuestra fibra de vidrio), aguantan la tensión mejor que la compresión. Para compensar esto existe el pretensado en la tensión: cuando la sierra se encaja en el tronco, el corte abre en vez de unir. Por ser columnas no huecas, son mínimamente sensibles al abuso en la superficie o a la iniciación de fisuras, y se cubren a sí mismas con pieles elásticas, una suave corteza dividida que absorbe golpes y provee una barrera contra el fuego, o bien unas capas tipo escamas que se traslapan. Siendo columnas estructurales flexibles, no solo están pretensadas sino que también a menudo están recubiertas con una corteza gruesa y continua cuyo coeficiente de Poisson es cerca de cero, no el típico 0.3 de los ferrometales o el isovolumétrico 0.5. Por ello doblar las columnas no causa pandeo en el lado cóncavo. Aprovechamos la peculiaridad del corcho cuando lo usamos para hacer tapones cilíndricos que pueden ser empujados hacia adentro sin causar un incremento temporal en la

circunferencia. Si efectivamente queremos construir columnas que sean flexibles o que puedan tener superficies vulnerables, entonces algunos de estos dispositivos podrían ser atractivos.

Si no nos resultara tan familiar, la madera misma se consideraría extraña y maravillosa. Aun seca y cortada retiene propiedades mecánicas particulares, lo que a menudo representa una molestia para la carpintería y ebanistería. Por ejemplo, una pieza de madera alargada generalmente se tuerce más fácilmente de lo que se dobla, con coeficiente de torsión / doblado aproximadamente cuatro veces mayor que la de nuestros metales o plásticos ordinarios. En la naturaleza esto probablemente hace al árbol menos vulnerable a la carga torsional que se presenta cuando hay vientos irregulares o en árboles que tienen copas asimétricas por roturas o malas podadas. Es instructivo considerar el caso contrario, las maderas de las raíces y enredaderas se tuercen y doblan de maneras más conocidas. Aquí deberíamos encontrar lecciones particularmente valiosas: en la manera en la que la anisotropía estructural de un tronco contribuye a este comportamiento inusual y en cómo los compuestos anisotrópicos se fabrican de manera más eficiente que nunca.

Consideremos las hojas, en particular las decíduas que nos resultan familiares. Para interceptar la mayor cantidad de luz solar con el menor material, deben minimizar su grosor. Si van a ser mudadas anualmente, su inversión en material también deberá mantenerse baja. Ambas consideraciones sugieren estructuras flexibles en vez de rígidas.

Las estructuras delgadas y flexibles que tienen una gran área de superficie expuesta al viento podrían imponer un alto arrastre en sus so-

portes, como sucede con las banderas. Las hojas minimizan esto al reconfigurarse en formas de bajo arrastre durante los periodos de vientos fuertes. También es posible que sean propensas a romperse, roerse, o deshacerse en tiras. Además de limitar el arrastre, el refuerzo de la fibra anisotrópica ayuda a minimizar estas formas de deterioro. ¿Qué hoja se puede rasgar horizontalmente con facilidad? Aún más, sus bordes, especialmente los de las partes hendidas de las hojas, tienen un borde extra, lo que le da tridimensionalidad a su estructura plana y dificulta que se generen fisuras, ya sea por la acción del viento o de algún herbívoro.

Si queremos hacer estructuras delgadas y baratas para cualquier propósito, algunas de las estrategias de las hojas son candidatas obvias -flexibilidad, borde extra, refuerzo de fibra anisotrópica, y reconfiguraciones específicas de forma para minimizar el estrés y la turbulencia.

Menos entendidos que los problemas mecánicos de las hojas son sus desafíos térmicos. Ambos lados de la hoja del balance energético ponen a prueba su diseño. Las estructuras que deben exponerse a la luz del sol para funcionar a menos de la eficiencia perfecta no pueden evitar generar algo de carga térmica. Incluso las temperaturas moderadamente elevadas inhabilitan las estructuras cuyos componentes funcionales - particularmente enzimas - consisten en proteínas termolábiles. Efectivamente llevan a cabo un poco de evaporación para enfriarse, pero a menudo no se pueden permitir el enorme gasto de agua. Las hojas evitan casi la mitad de su carga térmica potencial con el solo hecho de no absorber los rayos del sol que llegan en longitudes de onda muy largas para el uso fotosintético; específicamente el infrarrojo cercano. El enfriamiento

por convección juega un papel muy importante, pero se convierte en un problema durante los momentos de calma en el movimiento local del aire, especialmente porque estas estructuras finas tienen un tiempo de respuesta corto, calentándose un grado cada pocos segundos.

Casi siempre basta un conjunto de trucos en una variedad de combinaciones para evitar la muerte térmica. Muchas hojas tienen formas, a menudo lobuladas o alargadas, que las empatan con cualquier movimiento de aire que ocurra y con sus propios flujos libres, ascendentes y convectivos. En los sitios con poca agua por lo general las hojas son pequeñas, lo que mejora el emparejamiento convectivo, y gruesas, lo que aumenta sus tiempos de respuesta y baja las temperaturas pico durante espacios sin viento breves. Las hojas delgadas y no lobuladas por lo general se cuelgan hacia abajo cuando sufren calor y no han recibido agua suficiente, lo que reduce su exposición al sol y mejora su acoplamiento convectivo.

Algunos trucos aún más sutiles merecen ser mencionados. Al parecer, las hojas prefieren evitar la retención prolongada de agua en su superficie, quizá por el peso, quizá porque promueve el crecimiento de microorganismos. La cualidad hidrofóbica de la superficie de las hojas ha recibido gran atención recientemente, en particular porque muchas son "súper hidrofóbicas" - mucho más que las superficies cerosas ordinarias, cualidad que logran mediante una combinación de capas químicas con texturización física. Una característica reconocida desde hace mucho es la forma de la punta de la hoja, alargada y puntiaguda, para deshacerse de las gotas recolectadas. Una hoja con punta corta retiene más agua.

Las puntas largas de las hojas son más comunes en los bosques tropicales, donde las plantas se pueden mojar más que en ningún otro lugar; son poco comunes entre las hojas de latitudes más altas, quizá porque las puntas que promueven la eliminación de agua líquida promoverían la formación de carámbanos más pesados. Podríamos usar estos dispositivos para estructuras en las que preferimos deshacernos del agua o que se sequen al aire rápidamente.

Para el caso, los árboles manejan de manera admirable el control de la hidrofobicidad local. El mecanismo mediante el cual la sabia sube solo funciona si las paredes internas de los conductos, el xilema, son altamente hidrofílicas; de otra manera esas paredes ofrecerían puntos de nucleación y causarían la ruptura de las columnas de líquido continuas con sus presiones negativas extremas. Las paredes de las células que recubren los espacios de aire dentro de las hojas deben también ser hidrofílicas para que la tensión superficial en las interfaces entre aire y agua pueda evitar que el aire entre en el sistema y altere las columnas de líquido. Al mismo tiempo, la superficie externa de las hojas, como se ha mencionado anteriormente, funciona mejor si es altamente hidrofóbica. Entonces solo unos cuantos micrómetros separan superficies con propiedades extremadamente diferentes. Efectivamente nos preocupamos por la tensión superficial, pero pocas veces- si acaso-- construimos dispositivos que hagan uso de ambos extremos a tal proximidad, y ni mencionar dispositivos que sometan a los líquidos a presiones negativas de varias atmosferas.

No, los colectores solares no debieran parecer árboles. Empezando con su altura terriblemente costosa, mucho del diseño de los árboles resuel-

ve problemas que no nos conciernen. Los árboles son “un triunfo de la ingeniería sobre el diseño”, como lo expresa el biólogo Martin Wells (de una familia de acuñadores de frases) en un contexto análogo. Están haciendo lo mejor que pueden con lo que tienen. En ese esfuerzo de hacerlo mejor, existen todo tipo de detalles tecnológicamente atractivos. x



Hoja de cítricos (cultivo): Al igual que otros miembros de la familia *Rutaceae*, las hojas de los cítricos tienen glándulas translúcidas

Foto: Lairt Keiows, 2010 | Wikimedia Commons







ISSN 1927-8314