



**Gunter Pauli**

**La economía azul (2011)**

En tiempos de zozobra económica, cuando los expertos parecen incapaces de ofrecer otras soluciones que no sean parches o recetas con los mismos modelos, apenas disimulados, que han causado la crisis global, la propuesta de Gunter Pauli desprende el aroma de lo revolucionario y lo posible a la vez. Revolucionario porque va más allá de dos modelos que se han revelado ineficaces: la economía financiera, basada en el crédito y la deuda, y la «economía verde», que trata de preservar el medio ambiente a costa de grandes inversiones que la vuelven inviable. La «economía azul» parte de una premisa sencilla: servirse del conocimiento acumulado durante millones de años por la naturaleza para alcanzar cada vez mayores niveles de eficacia, respetando el medio y creando riqueza, y traducir esa lógica del ecosistema al mundo empresarial.

Presentado como informe para el Club de Roma, *La economía azul* expone cien iniciativas empresariales innovadoras que pueden generar cien millones de empleos en los próximos diez años.



Gunter Pauli La economía azul

Gunter Pauli

# LA ECONOMÍA AZUL

10 años  
100 innovaciones  
100 millones de empleos



DIVULGACIÓN  
Actualidad

booket

www.booket.com  
www.planetadelibros.com

TUSQUETS  
EDITORES

P.V.P. € 10118318



9 788490 660201

3409

booket

ACTUALIDAD

booket

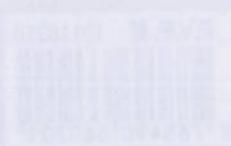
# LA ECONOMIA AZUL

10 años  
100 innovaciones  
100 millones de empleos

10 años



10 años de innovación



10 años



La economía azul es una economía innovadora que genera empleo, crea riqueza y mejora la calidad de vida de las personas.

El propósito de esta iniciativa es promover la innovación y el emprendimiento en el sector privado, así como la inversión en investigación y desarrollo. Esto se logra a través de programas de apoyo a emprendedores, fondos de inversión y alianzas estratégicas con el sector público y académico.

## 2 Emular los ecosistemas para una economía azul

*Motanai* (Nadie quiere desechos).

Proverbio japonés

Una economía vibrante es esencial para la sostenibilidad. A la inversa también es cierto. Sin una auténtica sostenibilidad, la economía no puede continuar funcionando. Con esto en mente, quizás el lector no se sorprenda al saber, como aprenderá mientras lee este libro, que una solución a los presentes males de nuestra economía reside en comprender y aplicar la lógica ecosistémica. La naturaleza exhibe una auténtica economía, y una auténtica sostenibilidad, todo el tiempo. Si nuestras economías se desarrollaran con la naturaleza como modelo, podríamos emplear la energía y los recursos de manera eficiente y sin generar residuos, y además crearíamos cientos de millones de puestos de trabajo. Los modelos ecosistémicos contienen la llave para la abundancia, así como los medios para distribuirla entre todos. Un sistema económico inspirado en los ecosistemas funcionaría con lo que ofrece el entorno local, como los recursos energéticos naturalmente renovables que ante todo expresan las leyes de la física. La física describe las fuerzas subyacentes de las que cada especie planetaria hace un uso dinámico. Esta visión es la vía hacia la sostenibilidad. La transformación del actual ciclo económico descendente basándonos en la lógica ecosistémica nos permitirá satisfacer las necesidades básicas y crear una auténtica economía, una economía azul, una economía de abundancia.

Emular la eficiencia funcional y material de los ecosistemas y los hábitats naturales es una manera pragmática de lograr la sostenibilidad y una alta eficiencia en la utilización de los recursos, sin renunciar a la competitividad y generando valor añadido. El aprovechamiento de los nutrientes y la energía es otro aspecto de la elegancia ecosistémica que haríamos bien en emular. Es el método de la naturaleza para transformar una aparente escasez en suficiencia y, en última instancia, abundan-

Ciclar

cia. Podemos representar esta idea como una cascada, como un flujo de nutrientes que no requiere otro motor que la fuerza de la gravedad. Esta metáfora visual nos ayuda a comprender el transporte de nutrientes de un reino biológico a otro, para beneficio de todos. Los minerales absorbidos nutren a los microorganismos, los microorganismos nutren a las plantas, las plantas nutren a otras especies, y el desecho de unos es el alimento de otros. La cascada de energía y nutrientes conduce a la sostenibilidad mediante la reducción o eliminación del aporte externo de energía, o de otra índole, y mediante la eliminación de los desechos y sus costes, no sólo en forma de contaminación, sino también de uso ineficiente de los materiales.

Por todo el mundo hay ejemplos de iniciativas empresariales prósperas y plenamente consolidadas que ilustran cómo una economía azul puede beneficiar no sólo a la Tierra, sino también a sus habitantes, haciendo accesibles a todo el mundo la seguridad alimentaria, la seguridad laboral y la ocupación contributiva. Podemos echar un vistazo a la notable transformación de la pradera de Vichada, en Colombia, lograda por Paolo Lugari en Las Gaviotas. Podemos estudiar el proyecto para garantizar el alimento y el empleo en África occidental impulsado por el padre Godfrey Nzamujo en Benín. Podemos seguir la visión de Håkan Ahlsten y los ciudadanos de Gotland para mantener y renovar su tierra y su cultura; o los esfuerzos de los picuris para convertir troncos de pequeño diámetro resultado de un incendio en materia prima para un biosistema integrado que genera empleo, alimento, combustible y materiales de construcción de manera sostenible. Lo que tienen en común todos estos ejemplos es que emulan a la naturaleza en cuanto al aprovechamiento de los nutrientes y el uso de fuentes de energía que funcionan conforme a las leyes de la física. Además, en cada uno de ellos se logra la seguridad alimentaria y energética, junto con otros múltiples beneficios, como la liquidez positiva, la reducción de la intensidad material y el ahorro de energía.

### *Plenitud a partir de la escasez*

Cuando Paolo Lugari propuso reconvertir la pradera de Vichada (Colombia) en la selva que había sido en el pasado, nadie que se basara en la

ciencia de su tiempo lo creyó posible. Junto a la orilla occidental del Orinoco había un herbazal sin ningún valor. El pH era ácido, el agua no era potable y el acceso no era fácil, ya fuera por tierra, mar o aire. ¿Quién podía estar interesado en comprar siquiera media hectárea? Lugari perseveró, plantando sin experiencia ni fondos, aplicando un enfoque creativo para regenerar el herbazal seco y despojado y transformarlo en un oasis de exuberante biodiversidad tropical. Ahora, un cuarto de siglo más tarde, Lugari invita a los visitantes a recorrer 8000 hectáreas de selva regenerada. Él y su equipo descubrieron que la simbiosis entre los hongos micorrízicos y el pino caribeño no sólo aseguraba la supervivencia del 92% de los plantones, sino que también modificaba los atributos físicos de la región. ¿Cómo?

Cuando se le inocula el hongo *Pisolithus tinctorius*, el pequeño pino macho (*Pinus caribaea*) crea un discreto espacio sombreado que protege el suelo y las raíces de los rayos ultravioleta. Aunque el estrés térmico sigue siendo elevado, lo que da lugar a una gruesa alfombra de agujas de pino caídas, el pino crece hasta alcanzar la madurez porque está bien nutrido por el hongo. Esta alfombra incrementa la humedad del suelo, lo que permite atrapar diferentes formadores de humus que de otro modo serían arrastrados por el agua.

Otro efecto importante es que esta cubierta de humus también modera la temperatura del suelo. Cuando la lluvia cae sobre un suelo caliente, el agua no puede ni siquiera infiltrarse en la superficie porosa, de modo que es arrastrada por la escorrentía. Cuando la lluvia cae sobre un suelo más fresco, es más probable que sea absorbida. Así pues, el incremento de la permeabilidad del suelo, causado por la inversión del diferencial de temperatura entre la lluvia y la capa superficial, crea un entorno en el que pueden arraigar nuevas semillas. A medida que el bosque emergente se desarrolla, la diversidad florece y la lluvia se hace más abundante. La pradera seca, con escasa agua potable y un suelo ostensiblemente ácido, se ha convertido no ya en un bosque, sino en una selva pródiga en agua potable y con un suelo más rico, ideal para el florecimiento de la vida vegetal.

Un equipo de filmación japonés, que había viajado hasta Las Gaviotas para grabar lo que pocos podían creer, vio acercarse unas nubes por encima de la pradera. En cuanto las nubes se situaron sobre la parcela de selva, el equipo experimentó con asombro la refrescante lluvia que

comenzó a caer. De hecho, la selva verde es más fresca que las llanuras recalentadas por el sol. Así, cuando la superficie es más fresca, las nubes precipitan su humedad gracias al punto de condensación más bajo. Al dejar atrás 450 años de agricultura de siega y quema y del cultivo de hierbas invasoras empleadas como pasto para el ganado, Las Gaviotas aunó hongos y árboles en una elegante simbiosis, creando las condiciones para que toda una selva reviviera.

A pesar de estos asombrosos cambios meteorológicos y edafológicos, quizás el resultado más pregonado de todos haya sido el igualmente asombroso incremento del valor de la tierra. La tierra que produce es una tierra valiosa. En un periodo de veintiún años, el valor de cada hectárea de pradera convertida en selva, medido solamente por el agua potable, el alimento que se puede recolectar y la disponibilidad de modos de vida, se multiplicó por 3000. Antes de la regeneración de la selva, la gente de la región en torno a Las Gaviotas no tenía empleo. Sufría trastornos gastrointestinales y no disponía de ningún suministro fiable de agua para el consumo ni de una asistencia sanitaria razonable. Sólo una generación después, el agua es un bien comunitario distribuido de manera casi gratuita. La venta del excedente de agua a los ricos de Bogotá, que están dispuestos a pagar por ella lo mismo que por una botella de agua de marcas importadas como San Pellegrino o Evian, proporciona a Las Gaviotas un flujo de dinero importante.

Animado por ese sustancioso flujo de dinero, así como por el repertorio de tecnologías con patentes de ámbito mundial, los generosos salarios y las contribuciones a la comunidad local de 2000 habitantes, William B. Harrison Jr., presidente de JP Morgan, abanderó la expansión de Las Gaviotas de 8000 a 100.000 hectáreas. Basándose en el análisis de mercados emergentes de JP Morgan, ofreció a Álvaro Uribe, entonces presidente de Colombia, un paquete de inversión de 300 millones de dólares. Dicha expansión podría generar alrededor de 100.000 puestos de trabajo a lo largo de la próxima década, y además compensar las emisiones de carbono de países como Bélgica y Holanda.

Allí donde los servicios gubernamentales y los negocios tradicionales nunca habían beneficiado a la población local, la visión de un hombre y su trabajo innovador satisfizo las necesidades de la gente. Este logro en el cuidado social y medioambiental, sin dejar de abrazar los ideales empresariales, tuvo éxito a base de emular los procesos naturales de los

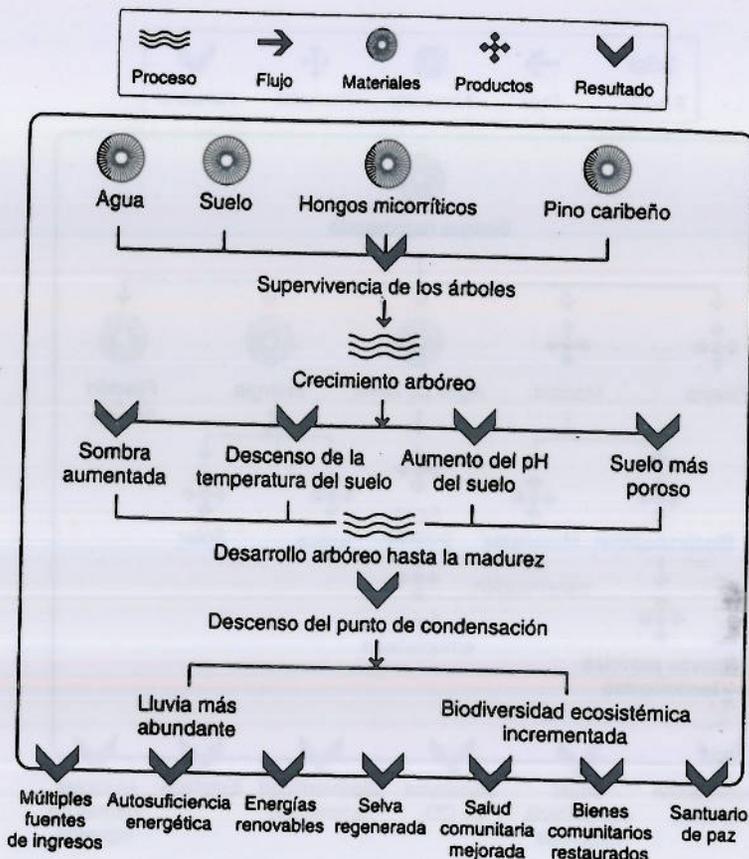


Figura 2. La simbiosis restaura una selva.

ecosistemas. El éxito de Las Gaviotas muestra que es la interacción de presión, temperatura, tensión superficial, conductividad, magnetismo y mucho más lo que hace que el viento sople y los árboles crezcan. En cuanto entendamos las conexiones dinámicas e interacciones de los tapices entretejidos de la naturaleza, se desplegarán ante nosotros enfoques totalmente nuevos.

*Handwritten notes:*  
 Magnitud      Presión      Hace que con viento sople y los árboles crezcan.  
 conductividad      Tensión superficial

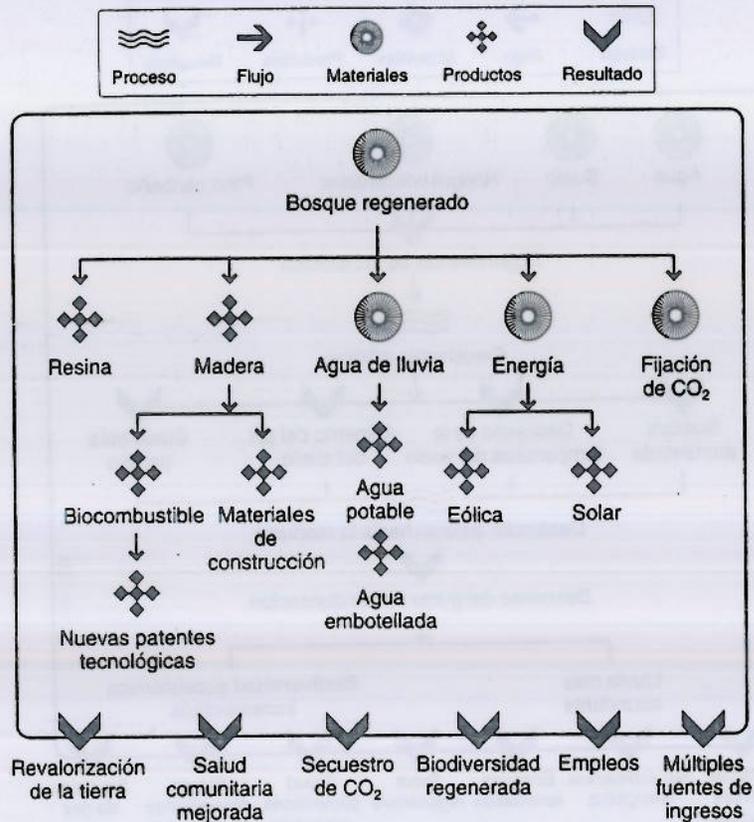


Figura 3. De la escasez a la abundancia: una cascada de valor añadido.

### Seguridad alimentaria en África

El Centro Songhai, con sede en Porto Novo, capital de Benín, en África occidental, lo dirige el padre Godfrey Nzamujo, un monje dominico. En 1985, justo un año después de que Paolo Lugari pusiera en marcha su programa de reforestación en Las Gaviotas, el padre Nzamujo emprendió un programa para combatir el hambre y proporcionar alimento a los africanos. Comenzó con unas pocas hectáreas de terreno pantanoso concedido por el anterior presidente de Benín. Hoy, tras un

cuarto de siglo, ha dado un giro completo, de la degradación medioambiental a una impresionante demostración de las posibilidades que existen en África para alcanzar la seguridad alimentaria y laboral.

Bajo la batuta del padre Nzamujo, Songhai desarrolló un sistema lógico para aprovechar los nutrientes y la energía con resultados notables. Las aguas residuales (grises y negras) procedentes de los retretes y la limpieza, así como cualquier desecho de origen humano o animal, se depositan en un digestor de tres cámaras. Luego se añade jacinto (una planta acuática invasora local) troceado. En el digestor, la biomasa combinada produce metano, que proporciona energía para uso local. Tras la mineralización, la materia remanente sirve para nutrir el zooplankton, el fitoplancton y el bentos, que a su vez sirven para alimentar peces en el proyecto de acuicultura. El diseño del digestor proporciona altos niveles de producción de gas y saneamiento, imitando el cambio ácido-alcalino con el que nuestro cuerpo mantiene a raya las bacterias indeseables. El pH pasa de ácido en el digestor a altamente alcalino en los pantanos vecinos poblados de algas. Las bacterias anaeróbicas, complementadas por la luz solar, contribuyen a la poderosa transformación del CO<sub>2</sub> en oxígeno que llevan a cabo las microalgas, y completan el diseño de sistemas naturales que eliminan los patógenos. El profesor George Chan, que dedicó toda su vida al diseño de ese tipo de granjas con sistema de gestión de residuos integrado, estaría orgulloso de los resultados.

Songhai también tenía que afrontar otro gran reto higiénico: las moscas. Aunque se pensó en la fumigación química, esto no era recomendable en un entorno de producción de alimento que aspiraba a adquirir el sello de orgánico. La estrategia que adoptó el padre Nzamujo fue extraordinaria: acudir a las larvas para resolver el problema.

Todos los despojos del matadero de Songhai se almacenan en un área especial con cientos de pequeños cuadrados de cemento bordeados por canales de apenas un palmo de profundidad y que son patrullados por carpas. El área abierta está cubierta por una gran malla que cierra el paso a los pájaros. El ancho de malla es lo bastante amplio para permitir el paso de las hambrientas moscas, las cuales medran en los despojos que no se pueden transformar en producto comestible. Este festín para las moscas se convierte en un gran criadero de larvas, con una capacidad de producción cercana a una tonelada de larvas por mes. Pero en el

resto del centro no se divisa ni una sola mosca. Todas las moscas convergen en lo que para ellas es una deliciosa sopa de nutrientes, donde comen hasta hartarse y ponen huevos en abundancia. Luego se rocían con agua los despojos medio digeridos, de manera que las larvas presentes queden flotando y puedan recolectarse fácilmente.

¿Qué se puede hacer con las larvas? Su aprovechamiento local primario es como alimento barato para peces y codornices. Tanto los huevos de codorniz como el pescado contribuyen a una buena nutrición y a la seguridad alimentaria. Pero son las enzimas que contienen las larvas las que ofrecen un valor económico potencial aún mayor. Tienen propiedades medicinales que se han demostrado eficaces para curar heridas mediante la estimulación del crecimiento de fibroblastos. ¿Cómo pueden extraerse las enzimas sin dejar de emplear las larvas vivas como alimento para peces y codornices? La solución, tan brillante como simple, ¡es sumergir las larvas en agua salada para que regurgiten!

He aquí otro ejemplo de un diseño ecosistémico de gran elegancia. El objetivo inicial del padre Nzamujo era reducir las enfermedades mediante un procedimiento natural que eliminara las moscas. Esa solución proporcionó a su vez las enzimas que permiten una cicatrización natural efectiva. Además de las propiedades medicinales de las larvas de mosca que la biología y la bioquímica ponen claramente de manifiesto, una nueva hipótesis propone que estas enzimas generan un pulso eléctrico apenas medible, indetectable sin una instrumentación apropiada. Este pulso estimularía la regeneración celular y promovería la cicatrización. Las larvas han aprendido a aplicar las leyes de la física (en este caso, la electricidad y el magnetismo) como estímulo para la cicatrización.

El tratamiento con larvas está aprobado por gobiernos de todo el mundo, especialmente para pacientes diabéticos. Al parecer, la versión purificada (sin las larvas) pronto será regulada. Ésta sería una noticia más que bienvenida, ya que la principal causa de amputaciones en África son las heridas no tratadas.

### *Una isla flotando en un sueño*

Hace casi un milenio, los grandes mercaderes de Florencia y Rusia levantaron iglesias y almacenes en Gotland, una pequeña pero notable

isla situada en el centro del mar Báltico. La llegada a Visby, la capital, deja una impresión duradera en los visitantes. El gran muro de piedra que rodea la ciudad abarca no sólo los edificios históricos y las catedrales, sino generaciones de tradición.

Al entrar en el siglo XXI, los isleños comenzaron a buscar maneras de prosperar en una economía globalizada. Parecía que la única opción era el turismo. De hecho, con casi un millón de visitantes al año, el turismo es el principal motor de la economía de Gotland. La población local se multiplica por diez durante las vacaciones de verano, para luego mantenerse baja el resto del año.

Pero la voluntad de los ciudadanos era procurar un futuro para su tierra, en particular para las generaciones venideras, que de otro modo abandonarían la isla sin pensárselo. Su idea era proyectar una comunidad sostenible, en armonía con los recursos de la tierra y con el trasfondo de sus monumentos históricos y su reconocimiento como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. A invitación del profesor Carl-Göran Hedén, miembro de la Real Academia de Ciencias Sueca, la comunidad emprendió una búsqueda de soluciones que reunió a estudiosos, banqueros, legisladores, investigadores y hombres de negocios.

Cualquier observador en busca de oportunidades de desarrollo que fueran más allá del turismo se fijaría de inmediato en el paisaje. Tachonado de pintorescas iglesias y casas, el paisaje agrícola ha sido primorosamente modelado a lo largo de los siglos. La introducción de la remolacha azucarera hace cien años fue lo bastante exitosa para crear una nueva industria. Pero la falta de una economía de escala adecuada hizo que la producción de azúcar cesara al consolidarse la globalización. Había pocos incentivos para la agricultura, salvo para las zanahorias. Famosas por su color arenoso, las zanahorias de Gotland adquieren un sabor excelente en el suelo alcalino de la isla. Aunque producir zanahorias no era un problema, venderlas desde un sitio perdido en medio del Báltico era todo un desafío. Además, era corriente que los proveedores de los supermercados rechazaran una proporción sustancial de la cosecha, por no cumplir sus rigurosos criterios de selección en cuanto a la forma de los productos.

Los ciudadanos concibieron una solución innovadora que sacaba partido del flujo natural de nutrientes a la vez que generaba valor añadido y empleo. Al banquero local, Håkan Ahlsten, le sedujo la idea de

elaborar un producto simple: tarta de zanahoria. Con un acceso tan fácil a una materia prima fresca y abundante, era imposible pasar por alto la posibilidad de crear una empresa de tartas de zanahoria. Se llegó a un acuerdo, y pronto se elaboró una deliciosa receta de tarta de zanahoria. Congeladas después de ser hornearlas, las tartas de Gotland tuvieron mucha demanda en toda Suecia y en mercados tan lejanos como el asiático. En cinco años, el número de puestos de trabajo en la pastelería local pasó de cinco a treinta.

La siguiente gran iniciativa vino precipitada por el deseo de aumentar el valor de mercado aprovechando la cosecha entera. El señor Yngve Andersson, otro de los ciudadanos importantes de Gotland, invirtió en el diseño y la construcción de un centro de clasificación de zanahorias donde la práctica totalidad de la cosecha podía almacenarse, clasificarse y procesarse mediante maquinaria sofisticada. La ingente cosecha se clasificaba en categorías específicas. Cada variedad se envasaba por separado, desde zanahorias baby hasta aquellas que presentaban formas caprichosas, pasando por las largas y delgadas o las cortas y gruesas. Sorprendentemente, las zanahorias baby limpias y envasadas, antes tenidas por demasiado pequeñas como para tener algún valor, se vendían cuatro veces más que las de tamaño estándar. Las zanahorias más grandes no se envasan, sino que se destinan a zumo de zanahoria, un nicho de mercado muy rentable. Un dato interesante es que las zanahorias más grandes son las que producen más zumo (hasta un 40% más por unidad de volumen). La pulpa de zanahoria triturada no se desecha, sino que es un alimento ideal para los cerdos.

La clasificación de la cosecha de zanahorias para aumentar su valor planteaba grandes retos. La maquinaria no podía dar abasto si el volumen total no se distribuía a lo largo de todo el año en vez de concentrarse en los seis meses de la temporada de recolección. Sin embargo, procesar la cosecha a lo largo de doce meses requería refrigerar el almacén a una temperatura constante de 0° C. Cuando el elemento persuasivo de un mejor precio apoyó la viabilidad de la empresa, el siguiente reto fue satisfacer la enorme demanda energética que exigía la operación.

Con las cuentas hechas, el señor Yngve Andersson decidió asumir el riesgo de alimentar la instalación exclusivamente con energía eólica. La operación completa (almacenamiento, clasificación, procesamiento, envasado y venta en segmentos de mercado, como las tartas de zanahoria

ultracongeladas) está enteramente alimentada por energía eólica. El capital invertido en este concepto se amortizó fácilmente gracias a las exportaciones. Se estima que el empleo total, directo e indirecto, se eleva a 250 puestos de trabajo. El replanteamiento del negocio de las zanahorias generó empleo, recortó costes y mostró a los gotlandeses una vía progresiva hacia la generación de empleo y la seguridad económica.

Encontrar valor a los recursos locales disponibles crea industrias sostenibles y competitivas que pueden influir en las economías, aunque se sitúen en una isla perdida en el mar Báltico. En honor de los isleños hay que decir que la iniciativa descrita no fue la única que tomaron. Otros avances evidencian el espíritu pionero de Gotland. Las zanahorias son el caso más llamativo, pero la combinación de pan y cerveza es igual de encomiable. La cervecería de la isla suministra una cerveza excelente a la población local. El grano sobrante del proceso se transporta en barco hasta la panadería local, Eskelunds Hembageri AB, donde se transforma en pan: otro buen ejemplo de conversión del desecho de un proceso en materia prima de otro. En el uso de los recursos locales disponibles, en la circulación de los nutrientes y en el estímulo a los empresarios para que pongan en práctica ideas competitivas, los ciudadanos de Gotland están años por delante de sus coetáneos.

### *Soluciones progresivas de los picuris*

Los incendios forestales devastadores a menudo son noticia. Cada año, los incendios arrasan ecosistemas enteros al oeste de Estados Unidos. La Oficina de Gestión de la Tierra de Nuevo México obtuvo una subvención del gobierno federal para sufragar la retirada de la madera de pequeño diámetro (menos de 18 centímetros) de las tierras de los picuris (una de las tribus de la etnia pueblo). Tanto si se quemaban como si se arrojaban a un vertedero, estos detritos iban a contribuir a la carga atmosférica de carbono. Lynda Taylor y Robert Haspel propusieron una alternativa y trabajaron junto al consejo de ancianos de los picuris para hallar una solución que canalizara los nutrientes y la energía en armonía con las costumbres de la tribu.

El objetivo de eliminar la madera de pequeño diámetro para reducir el riesgo de incendios se cumplió con prontitud. Una vez seca, el grueso

de la madera cortada se colocó en contenedores marítimos reciclados de 12 metros y se sometió a un proceso de combustión incompleta por retención de humos para convertir la madera en carbón vegetal. Para honrar la tradición de los pueblo, sin embargo, había que eliminar las pistas forestales dejadas por los vehículos desbrozadores. La madera hecha paja fue inoculada con esporas de una seta nativa y después se diseminó sobre las pistas. Tan sólo dos años después, ya no se veía pista alguna. Las setas son consumidas por los miembros de la tribu, mientras que el sustrato fúngico, rico en aminoácidos, sirve de pienso para la manada de bisontes de la familia Sam. Con alimento de sobra para el ganado y el apoyo continuado de Taylor y Haspel, la familia Sam suministra carne de bisonte a los mercados locales.

Lo que comenzó como un intento de reducir el riesgo de incendios se convirtió en un biosistema integrado que genera empleo, alimento, combustible y materiales de construcción, sin necesidad de productos químicos ni gasolina. La experiencia de los picuris es un ejemplo de desarrollo económico basado en los sistemas naturales, que hace uso de los recursos locales disponibles y se edifica sobre las tradiciones de los nativos norteamericanos.

Cuando sustituimos los viejos estándares por algo muy diferente que hace circular los nutrientes y la energía, emerge un paradigma económico enteramente nuevo. Cuando se reinterpretan la naturaleza y la función de la energía y los nutrientes, surgen soluciones notables que nos permiten aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, construir industrias competitivas y adoptar innovaciones que generan empleo y valor añadido. Así es como los ecosistemas evolucionan hacia una mayor eficiencia, requiriendo cada vez menos consumo de energía para cada vez más especies. Es una circulación abarcadora que conduce a la abundancia a todos los niveles.

### Bagazo, una solución dulce

El enorme volumen de residuos agrarios que genera nuestra industria alimentaria también puede gestionarse de forma ingeniosa a imagen y semejanza de los ecosistemas. Consideremos el caso del azúcar de caña. El contenido en azúcar de la planta es del 10-15%. Así, cada tone-

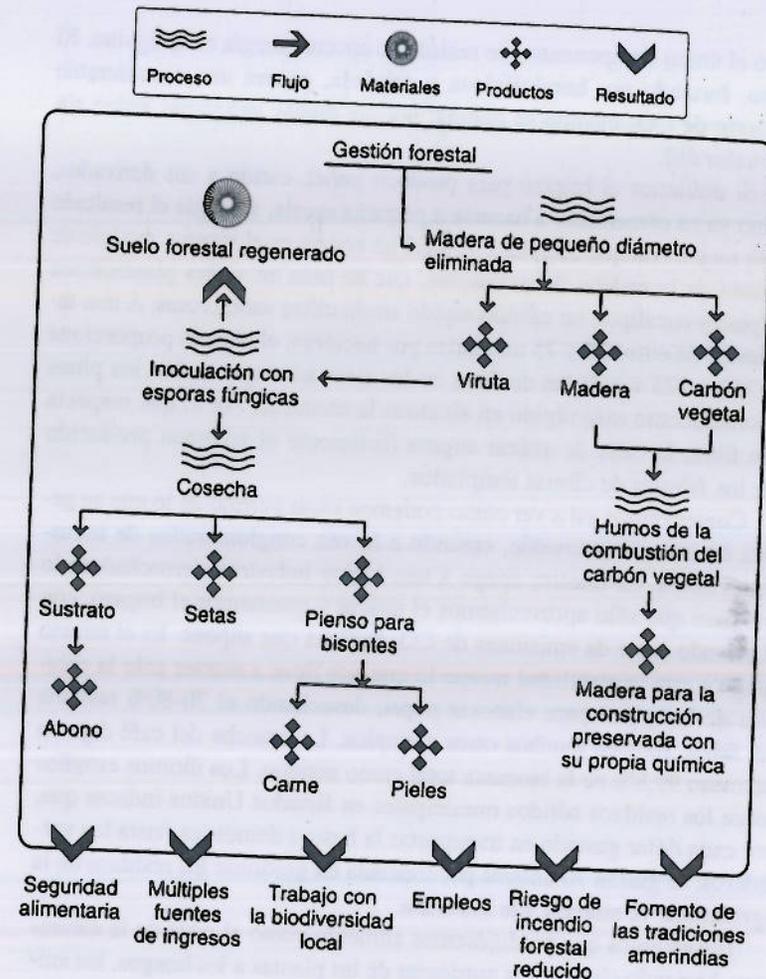


Figura 4. Soluciones de los picuris.

lada de azúcar obtenida sólo representa una pequeña parte de la biomasa fuente. El resto, un residuo conocido como *bagazo*, suele incinerarse. Los sistemas naturales apenas recurren al fuego como fuente de energía, mientras que nosotros lo empleamos todo el tiempo. La quema del bagazo proporciona una fuente de combustible barata y accesible,

pero el único componente que realmente aporta energía es la lignina. El resto, formado por hemicelulosa y celulosa, genera una considerable emisión de CO<sub>2</sub> cuando se quema, porque dichas sustancias arden sin dar calor útil.

Si usáramos el bagazo para producir papel, cartón y sus derivados, como ya ha comenzado a hacerse a pequeña escala, sin duda el resultado sería mejor. Aunque esta fibra tropical no encaja en el vigente modelo de gestión de la cadena de suministro, que se basa en vastas plantaciones de pino y eucalipto, un cálculo rápido arroja cifras asombrosas. A una tasa anual de entre 35 y 75 toneladas por hectárea, el bagazo proporciona de 250 a 525 toneladas de fibra en los siete años que tardan los pinos de crecimiento más rápido en alcanzar la madurez. Por lo que respecta a la fibra, la caña de azúcar supera fácilmente el volumen producido por los árboles de climas templados.

Comenzamos así a ver cómo podemos sacar partido de lo que se genera de manera renovable, creando a la vez conglomerados de industrias viables. Es nuestro apego a una lógica industrial derrochadora lo que hace que sólo aprovechemos el azúcar y quememos el bagazo, con el elevado coste de emisiones de CO<sub>2</sub> dañinas que supone. Es el mismo apego a esta contabilidad miope lo que nos lleva a extraer sólo la celulosa de los pinos para elaborar papel, desechando el 70-80% restante del árbol. Existen muchos otros ejemplos. La cosecha del café deja un pasmoso 99,8% de la biomasa total como residuo. Los últimos estudios sobre los residuos sólidos municipales en Estados Unidos indican que, por cada dólar gastado en transportar la basura doméstica hasta los vertederos, se gastan 70 dólares por tonelada en gestionar los residuos de la agricultura, la minería y la industria.

Imaginemos que produjésemos alimento como el resto de la naturaleza, haciendo circular los nutrientes de las plantas a los hongos, los animales, las bacterias, las algas, y vuelta a empezar en distintas direcciones y combinaciones según el hábitat específico. Las únicas fuentes de energía requeridas son la luz y la gravedad, disponibles de manera inmediata y gratuita. He aquí los vislumbres de una nueva economía, enraizada en modelos robustos que canalizan los nutrientes y generan alimento, hábitat, empleo, energía e ingresos de maneras renovables.

### *Sistemas urbanos totalizadores*

El modelo de circulación también se está aplicando en ámbitos urbanos e industriales. El Centro de Investigación y Desarrollo de la Eco-ciudad en Kitakyushu (Japón) se erige sobre los ruinosos restos de un vertedero contaminado al borde de la bahía de Dokai, otrora conocida como el Mar de la Muerte. En sus inicios un floreciente emporio metalúrgico, Kitakyushu fue finalmente abandonada a sus ciudadanos cuando la competencia internacional hizo que el precio del acero se desplomase. El gobierno provincial tuvo un papel crucial a la hora de respaldar un cambio estructural de la industria pesada a una industria medioambiental. Bajo la dirección de Yoshihito Shirai, el Plan Eco-urbano de Kitakyushu transformó toda la parte oriental de lo que había sido el vertedero de Hibiki, desarrollando y promocionando industrias medioambientales y tecnologías avanzadas. Cada año, un contingente internacional de miles de aprendices y voluntarios acuden a la eco-ciudad para conocer y estudiar tecnologías de las tres erres (Reducir, Reutilizar, Reciclar) y, de vuelta en sus zonas de origen, desarrollar proyectos y compartir su recién adquirida pericia.

Está claro que aprovechar el momento presente no sólo es efectivo, sino también esencial para el liderazgo gubernamental e industrial. Al mismo tiempo, un nuevo modelo económico únicamente triunfará si promueve las iniciativas empresariales populares. Ahí es donde la capacidad de inspirar al no inspirado, de alcanzar lo no alcanzado, la ocasión de trabajar en común con quienes a menudo no se cuenta ni se les concede una oportunidad, ofrece un cambio de percepción clave para conseguir un mundo diferente. Dar poder a los jóvenes, en particular a los que están atrapados en bolsas globales de desempleo y pobreza, puede tener un enorme impacto económico. Las demandas de austeridad no atraen a los que deben soportarla. Si uno está sin trabajo, hambriento, explotado o anémico, el sustento es más que un tema de conversación: es una cuestión de supervivencia inmediata. Si obráramos tal como lo hacen los sistemas naturales, sería del todo posible crear más empleos, a la vez que se incrementarían la productividad y se aprovecharían mejor los recursos. Nunca oiremos hablar de árboles, hongos o peces desempleados.

¿Cómo puede nuestra sociedad lograr la abundancia? ¿Cómo podemos obtener de manera continuada recursos renovables para alimentar-

nos, cobijarnos, ganarnos la vida y el bienestar? Al emular los exitosos procedimientos que encontramos en los ecosistemas naturales, podemos comenzar a elegir modelos con un alcance generoso y una propensión al reciclado, cuya meta sea la gestión planetaria y biológica, y cuyo futuro sea la perpetuidad. Ésa es la auténtica economía. Cuando comenzamos a captar la plenitud de este paradigma, la imagen de una economía azul se eleva como un ave fénix de las cenizas de la inestabilidad económica, hallando fuerza e inspiración en la naturaleza.

### 3 La eficiencia material y energética de la naturaleza

La naturaleza emplea los hilos más largos para tejer sus patrones. Cada retal de su tejido revela la organización del tapiz entero.

Richard Feynman

#### *Estructura y flujo*

Los enfoques simples y pragmáticos sobre la climatización de interiores son lecciones que podemos extraer de la física de las corrientes de agua y aire, así como de la elegante simplicidad de los métodos perfeccionados por especies tan variadas como las termitas, las cebras, los escarabajos del desierto del Namib y los mejillones. Si adoptamos este nuevo marco, podremos conseguir más con menos energía y asegurar unas condiciones sanitarias mejores de lo que nunca habíamos imaginado. Incluso podremos eliminar componentes y productos que en la construcción moderna se consideran indispensables. ¿Cómo es eso posible?

Los edificios que, para reducir el consumo de energía, se cierran y aíslan completamente tienen pocas posibilidades de autorregularse. Se requieren bombas que hagan circular volúmenes controlados de aire a través del edificio para que sus ocupantes lo encuentren confortable. Por desgracia, los edificios cerrados acumulan humedad, sobre todo en el sótano (el aire húmedo es más pesado y tiende a bajar). Los dormitorios se calientan con aire seco que carga nuestro aparato respiratorio, y el uso generalizado de equipos electrónicos provoca la acumulación de partículas de polvo, muchas de las cuales son electrostáticas. Los ácaros proliferan en las alfombras porque las ventanas de triple vidrio, provistas de un filtro ultravioleta, les proporcionan el mejor entorno para reproducirse.

Los ácaros del polvo son parientes microscópicos de las arañas. Estas diminutas criaturas se alimentan de los detritos que dejan los ocupantes de un edificio, y son los culpables habituales de las alergias dermatológicas y respiratorias causantes de eccemas y asma. Eliminar los ácaros re-

quiere una química agresiva, que puede circular durante meses en un edificio cerrado, junto con los productos volátiles que forman parte de la composición de la mayoría de colas para muebles y alfombras. Esto no es lo que se dice un edificio ecológico y energéticamente eficiente. Aunque lleguemos a ahorrar un 30% de energía (de hecho, toda la electricidad podría generarse mediante paneles solares), el empleo de productos químicos caros y el estrés inmunitario son efectos colaterales indeseables. Por otro lado, si el diseño de edificios energéticamente eficientes incluyera soluciones con una eficacia probada, avaladas por el éxito de especies que llevan millones de años viviendo en un hábitat similar, entonces notaríamos una diferencia radical en la configuración y el funcionamiento de los edificios saludables. De hecho, tales edificios pueden resultar doblemente eficientes si se reducen los costes tanto de la energía como de la asistencia sanitaria, por lo que la inversión sería menos arriesgada y la amortización más segura. ¿Cómo?

### *Termitas, las maestras del flujo*

Los primeros granjeros de la Tierra fueron las termitas y las hormigas. Es posible que ya hace cien millones de años las termitas se vieran en la necesidad de sobrevivir a condiciones meteorológicas cambiantes. Su adaptación implicó un sistema de cultivo en invernadero. Para ello perfeccionaron un método de control de la temperatura y la humedad internas del nido, que permitía un cultivo eficiente de hongos, el principal alimento de las termitas. De este modo lograron una seguridad alimentaria que las llevó de ser cazadoras-recolectoras a sedentarias mucho antes de la evolución del *Homo sapiens*.

Este admirable dominio de la temperatura, la humedad y la presión atmosférica se basa en las leyes de la física y en una ingeniería compleja como la aplicada en la construcción y la agricultura. Las termitas han perfeccionado el diseño de chimeneas allí donde el aire se calienta y asciende de manera predecible, creando un diferencial de presión dentro del nido. El nido está conectado a su entorno mediante minúsculos túneles subterráneos, a través de los cuales entra aire exterior para compensar la presión. Esto ilustra perfectamente la tercera ley del movimiento de Newton: para toda acción, hay una reacción opuesta de igual

magnitud. No obstante, dado que el aire que fluye por los túneles subterráneos se mantiene dentro de un estrecho intervalo de temperatura, estabilizado por la temperatura del suelo subyacente, la humedad y la temperatura del exterior determinan cuánta humedad permanece en el aire que entra en el nido. Las termitas saben diseñar y construir sus nidos en cualquier región del mundo, en cualquier clima, asegurando unas condiciones de crecimiento ideales para el rico micelio blanco que constituye su principal fuente de alimento.

A finales de la década de 1950, el arquitecto sueco Bengt Warne se dedicó a observar termiteros en Zimbabue. Sus dibujos originales del flujo de aire en el termitero, publicados en *På Akaciens Villkor* (Sobre las condiciones de las acacias), parecen simples, pero pedían a gritos una adaptación a los usos de la arquitectura moderna. Fue otro brillante arquitecto sueco, Anders Nyquist (que conoció a Warne pero nunca colaboró con él), quien desarrolló las fórmulas matemáticas que plasmaban las intuiciones de Warne, en un modelo que deja anticuados los sistemas de climatización actuales. Basándose en estudios de la arquitectura de las termitas, Nyquist descubrió que es posible diseñar edificios que ahorren energía, se calienten o enfríen siempre que sea necesario y proporcionen bienestar sin que sus moradores tengan que permanecer en una habitación herméticamente cerrada. Cuando el aire no circula, rápidamente proliferan bacterias y microbios dañinos. En un espacio así, cuando una persona estornuda, todo el mundo pilla un resfriado. ¡Éste no puede ser el propósito de ahorrar energía!

La escuela Laggberg de Timrå, localidad situada en las afueras de Sundsvall (Suecia), fue diseñada por Nyquist adaptando la genialidad de que han hecho gala tanto las termitas en la naturaleza como las civilizaciones antiguas a lo largo de la historia para mantener un lugar caliente o fresco sin dilapidar energía ni recurrir a elaborados aislamientos químicos que mantengan el calor fuera o el fresco dentro. Un sistema de respiraderos y canales permite la conducción de aire para regular la temperatura y mantener el frescor.

Las habilidades de las termitas son excepcionalmente instructivas, aunque sean perseguidas en todo el mundo debido a su apetito presuntamente voraz por la madera. Si tuviésemos en cuenta que las termitas son tradicionalmente las responsables de la fertilización a largo plazo del suelo, quizá nos provocarían menos aversión y les tendríamos más

aprecio. De hecho, en general el 15% de la vegetación terrestre se convierte en fuente de nutrientes para los hongos consumidos por las termitas. Los detritos en descomposición producen un calor que las calienta en invierno, a la vez que enriquecen el suelo profundo para unas cuantas décadas.

De las termitas podemos aprender cómo refrescar continuamente el aire de un edificio sin calentarlo ni enfriarlo. Si el aire se renueva, habrá menos riesgo de que se produzca lo que se conoce como «síndrome del edificio enfermo»: el aire estancado y portador de microbios queda confinado y causa enfermedades como resultado de la contaminación fúngica y microbiana. En el mundo de las termitas, el mismo sistema controla la humedad, que determina la productividad del hongo del que se alimentan. El sistema de flujo de aire del termitero asegura de manera precisa y permanente una temperatura de 30 °C y una humedad del 61%. La única variable que las termitas no controlan es el agua. Si llueve mucho, el nido puede inundarse. Este entorno estresante es la señal para que el hongo *Termitomyces* (una delicadeza gastronómica incluso para nosotros los humanos) asegure la supervivencia reproduciéndose. La termita reina también sabe transportar esporas a buen recaudo, dentro de su boca, para reanudar el cultivo en un nuevo nido.

Resultó especialmente apropiado que el primer bloque de pisos que emula la ingeniosa solución de las termitas se erigiera en Harare, la capital de Zimbabue. El Eastgate Shopping and Office Centre, un edificio de diez plantas construido a finales de la década de 1980 por el grupo británico de ingeniería Arup, se calienta y enfría sólo mediante flujos de aire naturales. Los datos económicos de este innovador sistema son reveladores. Al eliminarse el espacio entre pisos ocupado por los conductos de aire, el umbral de rentabilidad baja del 55% al 46%, lo cual permite añadir un piso extra con la misma elevación y, en consecuencia, reducir los costes de inversión (en este caso supone un ahorro de 3,5 millones de dólares) y los gastos operativos entre un 10% y un 15%. Los bancos financian los proyectos de construcción que acreditan menos riesgos y más beneficios, y además precisan de menos capital y ofrecen alquileres más baratos. Características sostenibles tales como la conducción pasiva de aire, de bajo coste y sin necesidad de mantenimiento, en lugar del aire acondicionado mecánico, más caro, también atraen a los financieros.

### *Rayas de distinto color*

La cebra ofrece una perspectiva adicional sobre tecnologías que reducirían y hasta eliminarían la necesidad de aislamiento en muchas partes del mundo, mediante el control de la temperatura superficial. La cebra es capaz de bajar casi diez grados su temperatura superficial a base de corrientes de aire generadas por la alternancia de rayas blancas y negras. Ésta es otra ingeniosa derivación de las leyes físicas que aprendemos en la escuela, pero cuya aplicación práctica quizá no acabe de entenderse. Aunque el diseño arquitectónico busca la moderación térmica aprovechando la propiedad del color blanco de reflejar el calor, el caso de la cebra sugiere que los edificios deberían pintarse más bien de blanco y negro. El color blanco refleja la luz y, por ende, reduce el calor, mientras que el color negro absorbe la luz e incrementa la temperatura superficial. Esto hace que el aire sobre las bandas negras se caliente más y ascienda, creando un diferencial de presión con la presión más alta del aire sobre las bandas blancas, lo cual genera microcorrientes de aire que refrescan la superficie sin necesidad de ventilación mecánica. ¿Supone esto una diferencia significativa? Y, si es así, ¿tiene futuro comercial?

Un edificio de oficinas de Daiwa House en Sendai, Japón, también diseñado por Anders Nyquist, capitaliza esta interacción de blanco y negro. A la vez que regula la temperatura superficial externa del edificio, el contraste entre las superficies de color opuesto rebaja la temperatura interna en casi cinco grados (en pleno verano). Por extrapolación, podemos ver que el mero efecto térmico de las superficies blancas y negras reduce las temperaturas internas y permite un ahorro energético estimado de un 20%. Aunque por el momento no somos capaces de igualar a las cebras, lo cierto es que nosotros sólo llevamos unas pocas décadas ensayando este sistema, mientras que ellas lo han perfeccionado a lo largo de cientos de miles de años. Las diferencias de presión se compensan gracias a microrráfagas de aire. En vez de aislar el interior, la interacción física elimina calor del exterior, reduciendo la necesidad de aplicar forros de poliuretano (con aditivos ignífugos) o fibra de vidrio en el interior. De hecho, la cebra sólo tiene una capa aislante de grasa bajo las rayas negras, porque el tejido bajo las rayas blancas no la necesita. Tiene

todo el sentido: se ahorra material; es bien simple. El sistema funciona siempre que haya interacción entre el blanco y el negro, lo que está garantizado mientras brille el sol y se cumplan las leyes de la física.

Para ahorrar energía, los arquitectos recomiendan aislar las paredes y el techo de un edificio a fin de bloquear la transferencia de calor o frío. Los constructores suelen emplear poliuretano, o fibra de vidrio producida a partir de materiales extraídos de minas y procesados con un elevado coste energético. La cebra nos enseña que sacar partido de las predecibles leyes de la física para reducir el calor o el frío en el exterior se traduce en menos necesidad de productos químicos y de costosas instalaciones de calefacción o refrigeración. Esta interacción basada en la presión y la temperatura no requiere gastos adicionales y funciona sin pausa. De hecho, las leyes de la física no tienen excepciones.

### *Un desierto de abundancia*

La coloración oscura y la extraordinaria longevidad de *Welwitschia mirabilis*, una planta desértica, nos da otro motivo para considerar que, cuando se trata de combatir el calor, el blanco sin más sólo puede ofrecer confort a corto plazo. El desierto del Namib es una zona árida desde hace al menos 55 millones de años, y se piensa que es el desierto más antiguo del mundo. Un saltamontes que salte de una piedra y caiga accidentalmente en la arena se cocerá y morirá en cuestión de minutos. En este entorno sediento, donde llueve una vez cada siete años, *Welwitschia* no sólo sobrevive, sino que, con una longevidad estimada de 2000 años como mínimo, parece poseer el récord de la planta de la Tierra que vive más tiempo. *Welwitschia* ha refinado hasta rozar la perfección la captura del rocío que se condensa sobre sus dos hojas, así como la capacidad de acceder a la humedad que hay a dos metros bajo tierra.

Los colores claros reflejan la luz solar y reducen la absorción superficial de calor. Aunque nosotros valoremos las temperaturas frescas, en el medio desértico éstas no siempre son deseables. En el desierto, el interés principal no es refrescarse, sino rebajar el punto de rocío lo bastante para obtener predeciblemente una mínima cantidad de agua. Una superficie más fresca incrementa el punto de rocío y, en consecuencia, reduce la humedad disponible que puede recogerse cada mañana. Los

colores más oscuros inducen un descenso del punto de rocío con una superficie más cálida y un aire más fresco. Esto implicaría una mayor absorción de calor durante el día, si no fuera porque las plantas y los escarabajos del desierto son capaces de deshacerse del exceso de calor. Los miembros de este ecosistema desértico sobreviven a base de refrescarse mediante ventilación y conducción del calor, lo cual constituye una nueva demostración del uso ecológico de principios físicos.

El desierto del Namib también alberga una amplia gama de líquenes. Éstos en realidad no son plantas, sino una simbiosis o asociación de dos organismos: un hongo y un alga. El hongo asume el papel de cuerpo y recoge el agua procedente del rocío matinal y la niebla vespertina. El alga, por su parte, produce por fotosíntesis los nutrientes necesarios para la supervivencia del conjunto. Aunque con frecuencia su micelio tiene un grosor de apenas dos células, los líquenes quizá sean los mineros más competentes del mundo, capaces de penetrar incluso la roca sólida.

¿Cómo lo hacen?, podemos preguntarnos. Nuestra lógica para atravesar la roca proviene de Alfred Nobel, inventor de la reacción química conocida como dinamita, la única manera que conocemos por ahora de extraer menas minerales de las profundidades de la tierra. La humanidad recurre a la química, mientras que los sistemas naturales explotan primero la física. Los líquenes no usan dinamita; nada en la naturaleza haría uso de una fuerza tan excesiva y destructiva. El tamaño microscópico del micelio líquénico le permite infiltrarse fácilmente en los huecos que existen entre los cristales de roca. Cuando encuentra un átomo de magnesio, lo lleva a la superficie y lo pone a disposición de la vida vegetal o animal. Como resultado de la refinada y precisa técnica minera del líquen, la fauna y la flora del Namib accede a microminerales necesarios para poder funcionar en este entorno tan delicado. La aportación de cada especie asegura la supervivencia de todos los que viven en este marco de temperatura, humedad y luz.

### *Recogida de agua por atracción y repulsión*

*Onymacris plana*, un escarabajo también autóctono del desierto del Namib, no es que sea oscuro, sino que es negro del todo. Consigue resultados aún mejores que las plantas de su mismo hábitat al aprovechar

la conductividad térmica combinada con otro efecto físico: la hidrofobia extrema. A primera vista, la capacidad de un escarabajo desértico para repeler el agua puede parecer tan irrelevante como un limpiaparabrisas para un submarino. Sin embargo, un examen más atento, como el efectuado por el científico británico Andrew Parker, revela que todas las mañanas, tan pronto como el sol asoma en el horizonte, se forman gotas microscópicas de rocío en el cuerpo del animal. Estas gotículas son repelidas por la superficie hidrófoba de los élitros del escarabajo antes de que se evaporen, y se recogen en áreas hidrófilas circundantes. Esta interacción entre superficies hidrófobas e hidrófilas asegura al escarabajo del desierto del Namib un suministro de agua diario suficiente para beber y para lavarse. Curiosamente, este sistema de regulación de la humedad y la temperatura va en contra de la intuición: el color negro incrementa la capacidad de supervivencia en el clima más caluroso, y las superficies hidrófobas aseguran la obtención de agua.

### *Adherencia sofisticada*

A los geos no les importan las tormentas. Casi nada puede moverlos, pues se adhieren sin esfuerzo a todo tipo de superficies, mojadas o secas, rugosas o lisas. El geco se vale de fuerzas electrostáticas intermoleculares, atractivas y repulsivas, que son conocidas como «fuerzas de Van der Waals», en honor del físico holandés que las identificó científicamente por primera vez. ¡Asombroso! ¡Las cosas se pegan en virtud de la física subyacente! En el futuro, los productos innovadores inspirados en la solución del geco podrían competir con el Velcro®, inspirado a su vez en los ganchos de las semillas de la bardana, que han venido aplicando un sistema de adherencia sin pegamento desde tiempos inmemoriales. Incluso podríamos sugerir que las soluciones del geco y la bardana son más sofisticadas que, por ejemplo, la de los mejillones. Los dos primeros se valen de la física, orientando su biología al desarrollo de células que desempeñan la función deseada. Los mejillones, en cambio, dependen de la química. Esto no significa que les vaya peor. De hecho, constituyen una notable fuente de inspiración para la sustitución de las toxinas que los ingenieros químicos han venido incluyendo en la composición de los adhesivos comerciales.

Los mejillones están constantemente sometidos a los embates de las olas. En consecuencia, han perfeccionado un pegamento para adherirse a las rocas. Dicho pegamento resistente al agua es tan elástico que ni la ola más poderosa es capaz de despegarlos. Kaichang Li, de la Universidad de Oregón (Estados Unidos), estudió la resina producida por los mejillones y aplicó sus conclusiones a un pegamento comercial que la empresa Columbia Forest Products ha empleado para sustituir los epóxidos derivados del formaldehído, el pegamento estándar para los tableros contrachapados. La calidad del aire en los interiores es mucho mejor cuando los materiales de construcción no contienen formaldehído.

Cuando las empresas líderes recurren a la química verde para eliminar la química tóxica de sus productos e introducen innovaciones inspiradas en la naturaleza, están conciliando la rentabilidad con la sostenibilidad. Así pues, aunque admiremos al geco y la bardana por su elegante aprovechamiento de las fuerzas físicas para no tener que recurrir a la química, debemos mostrar al mejillón todo nuestro respeto por enseñarnos a eliminar toxinas de nuestros hogares, escuelas y oficinas.

### *Vórtices como bactericidas viables*

Los sistemas naturales no resuelven los problemas a base de rociar productos químicos agresivos. Es verdad que hay unas cuantas excepciones con mucha propaganda, como las serpientes, las ranas, las arañas y las setas venenosas. Pero su toxicidad casi siempre va dirigida contra otras especies, no contra miembros de su propia familia (aunque la viuda negra es una notoria excepción a esta regla, de las que nunca faltan en biología). Antes de recurrir a alguna química mortífera, sobre todo si es potencialmente mutagénica o carcinógena para los miembros de la misma familia, las especies naturales se valen de las fuerzas físicas. Allí donde las especies vivientes, en particular la fauna y la flora, son una evidente fuente de inspiración para la poesía o la tecnología, la parte inanimada de la naturaleza también tiene lecciones que darnos.

¿Alguna vez se ha interrogado el lector sobre la autolimpieza de los ríos? Éstos se sirven de la física y de las necesidades de nutrientes de dos familias diferentes de bacterias. El incesante movimiento de la corriente promueve la generación continua de vórtices en el agua. Un vór-

esta idea con el nombre de «ciclo de Krebs». Se trata de un cambio que vale la pena: reemplazar productos carcinógenos con un impacto negativo en nuestra salud por materiales alimentarios disponibles en abundancia a precios similares. Imaginemos la ventaja competitiva de los retardadores de ignición de Nilsson: ya no tenemos que escoger entre la muerte inmediata por fuego o la muerte lenta por cáncer. Podemos reemplazar unos productos que destruyen la vida por otros que la promueven. Las sustancias bioquímicas requeridas por las invenciones de Nilsson podrían obtenerse de los hollejos de uva, un subproducto de la producción de vino, o bien de las pieles de cítricos procedentes de la producción de zumos.

Estos productos ilustran de manera sucinta las ventajas del modelo de la economía azul. La suprema belleza de la tecnología de Nilsson es que tiene el potencial de resolver grandes desafíos ecológicos. Cuando los incendios devastan California o Colorado, el servicio forestal estadounidense se apresura a rociar la zona con productos químicos desde el aire. Ahora podemos cubrir el área con compuestos alimentarios en vez de fósforo, y asegurar así una rápida reparación de los destrozos sin perjudicar al ecosistema.

En el futuro, la misma tecnología podría servir para acabar con el riesgo de explosión en las minas. La concentración excesiva de metano de origen natural en el interior de los túneles puede provocar un desastre si salta alguna chispa al taladrar la roca. En la actualidad, las herramientas mineras están hechas de costosas aleaciones de níquel y cobalto para reducir el riesgo de chispas. Si se usaran los conductos de aire ya presentes para llenar los túneles con gases ignífugos no tóxicos, se podrían evitar las chispas y prevenir las explosiones. Además, disminuiría la demanda de níquel y cobalto, así como su onerosa transformación en metales de alto rendimiento.

Estos avances en física aplicada, química física, química y biología nos dan razones para creer que las innovaciones inspiradas en la naturaleza están conformando una nueva economía. Achim Steiner, director ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, declaró recientemente en una entrevista: «Muchas de estas tecnologías tienen usos comerciales. Ya no hablamos de teoría; se trata de resultados reales en el mundo real y en el mercado real».

### *Soluciones a los retos de la sostenibilidad*

La relación vital de las leyes y teorías de la física con las condiciones básicas de nuestros modos de producción, consumo y supervivencia no merece hoy mucha atención en las aulas de física. Pero es la observación de la física básica lo que nos permite apreciar que mínimos cambios de presión, temperatura y humedad crean productos y procesos excepcionales que, por su maestría, precisión y eficacia, eclipsan los resultados de la modificación genética. En vez de manipular la biología de la vida, podemos encontrar inspiración en el uso que la naturaleza hace de la física.

Las soluciones rápidas y aisladas no parecen capaces de resolver los complejos problemas a los que nos enfrentamos, tanto en nuestros domicilios particulares como en nuestro domicilio global, la Tierra. Las industrias que en el futuro alcancen el éxito reexaminarán la ciencia básica en busca de inspiración, y sus soluciones innovadoras aplicarán primero la física y luego la química. Si consideramos las fuerzas subyacentes y las condiciones sistémicas que predicen los resultados prescritos por la física, entonces comprenderemos por qué la química de la naturaleza difiere marcadamente de la química que hoy domina nuestras vidas. Las pocas moléculas retenidas en los productos y procesos de producción naturales reflejan el uso óptimo de la física. El geco y el mejillón representan dos sistemas distintos de adherencia, cada uno de los cuales funciona dentro de parámetros físicos bien definidos. La química verde e incluso la biología sostenible son metas importantes, pero un examen más profundo nos permitirá apreciar las fuerzas que determinan a ambas. Los modelos de la economía azul aplican la física en la medida de lo posible. Un enfoque tan diferente no tiene parangón entre los líderes del mercado.

Ésta bien puede ser la lógica que debemos seguir en una era de crisis económica. En vez de recurrir a la química, ya sea la tradicional o la verde, la naturaleza nos enseña cómo prescindir de ella. La química verde y la biología sostenible afrontan el desafío de encontrar financiación y superar los largos procesos de aprobación exigidos por las autoridades de los países desarrollados. Tales inconvenientes frenan las rápidas reconversiones empresariales que requiere la crisis económica. El marco competitivo del mercado necesita un estímulo que contribuya a acelerar los trámites legales a medida que surgen nuevas ideas a partir de nuestra observación y emulación de los logros de la naturaleza.

Imaginemos el impacto que pueden tener dichas innovaciones en el diseño de edificios. Casi la mitad de las cien innovaciones incluidas en nuestra lista podrían aplicarse a hogares, oficinas y fábricas. En primer lugar, y por encima de todo, los edificios así concebidos son más saludables para sus ocupantes. El beneficio adicional, como demuestra el Centro Pompidou de Jean Noel en Francia, es que todo el que tiene la oportunidad de explorar un edificio semejante no puede dejar de apreciar la elegante aplicación de las leyes físicas. Al adoptar los principios de la economía azul, nuestro uso actual de recursos no renovables puede reducirse a una pequeña fracción, además de requerir menos inversión y menos costes.

Una economía azul va más allá de la eficiencia y de un rendimiento óptimo de las inversiones. Una buena parte de lo que creemos necesitar es enteramente prescindible, y puede sustituirse por productos y métodos mejores y más simples que los usuales hoy en día. En vez de debilitar nuestra economía, tales alternativas pueden reforzarla, movilizand recursos materiales y dinero. Así pues, con una cartera de innovaciones basadas en las soluciones pragmáticas a problemas cruciales que ya han afrontado y resuelto numerosas especies planetarias, podemos redefinir el modelo competitivo. Tales innovaciones pueden contribuir a resolver muchos de los retos de sostenibilidad a los que nos enfrentamos y, a la vez, dar poder y prioridad a los empresarios más emprendedores. Cuando creamos vías para reforzar nuestra capacidad de respuesta frente a las necesidades básicas de todos —agua, comida, sanidad, vivienda y energía— con lo que hay disponible, estamos erigiendo una economía azul bien cimentada.

Las pocas ideas aquí expuestas, desde la manipulación del punto de rocío hasta la interacción entre color, conductividad térmica e hidrofilia, nos ponen en la pista de nuevas pautas de pensamiento. El diseño de un edificio o casa ya no tiene por qué girar en torno al ahorro de energía, sino al abandono de soluciones viejas como el poliuretano y la adopción de otras que vayan más allá del aislamiento. Se trata de un enfoque muy estimulante. La economía de crecimiento siempre se ha basado en consumir e invertir más. Aquí, en cambio, la reducción del consumo es un impulso para la economía, ya que un material o proceso que aplique una solución química agresiva debe ser reemplazado por una solución que recurra únicamente a las propiedades de la física.

Algo se sustituye por nada. Este lema establece el tono de nuestro modelo emergente de la economía azul.

## Indicar el camino a los líderes del mercado

Hoy tenemos una aberración temporal llamada «capitalismo industrial», que sin darse cuenta está liquidando sus dos fuentes más importantes de capital: el mundo natural y las sociedades que funcionan adecuadamente. Ningún capitalista sensato haría tal cosa.

Amory Lovins

### *Plantar un árbol*

De la cauta inversión de menos de 500 millones de dólares hace diez años, se ha pasado en 2008 a una inversión estimada de 84.000 millones de dólares para el desarrollo de tecnologías verdes, a pesar de los efectos disuasorios de la recesión mundial y la falta de liquidez. Hoy, las cien innovaciones aquí expuestas han generado unos 20.000 puestos de trabajo. Aunque este dato es alentador, es una minucia para un mundo que necesita un vasto caudal de mil millones de puestos de trabajo. Si el rescate de industrias e instituciones financieras moribundas puede ser dinero tirado, la inversión en innovaciones integradas en una cartera sistémica puede proporcionar el efecto catalítico que la economía mundial reclama con urgencia. Incluso alguien sin experiencia empresarial y con sólo una mínima comprensión de los principios fundamentales de la economía azul tendría opciones de prosperar. Si una nueva solución requiere menos gastos o energía, o si implica múltiples oportunidades de negocio, entonces el capital de partida o las microinversiones pueden ser el único impulso necesario para hacerla realidad.

Las crisis suscitan una libertad de innovación única, así como una excelente oportunidad para aquellos negocios que satisfacen necesidades básicas, allí donde el statu quo no tiene interés en actuar ni posibilidad de salir adelante. Las aventuras que contemplamos quizá sean ocasiones únicas e irrepetibles para reorientar nuestra economía. En los

