

ENTOMIMÉTICA

TRANSFERENCIAS AL DISEÑO DESDE LA MORFOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE LOS INSECTOS

Alejandro Soffia

Profesor, Universidad Andrés Bello.
Santiago, Chile

Más allá de sus características formales, los insectos poseen propiedades físicas que les han permitido adaptarse y sobrevivir en un ambiente hostil. La entomimética busca transferir estas propiedades al diseño, permitiendo que la arquitectura aprenda de aquellos seres vivos que han enfrentado al entorno con sus propias pieles y estructuras. En otras palabras, aquellos seres vivos que portan sus propias arquitecturas.

PALABRAS CLAVE · biomimé debate, optimización, reproductibilidad, sustentabilidad, arquitectura

El escarabajo *Onymacris unguicularis* vive en el desierto de Namibia donde el agua no es escasa: simplemente no existe. Entonces ¿cómo lo hace para sobrevivir? Su cuerpo presenta una superficie que actúa como un atrapanieblas que, en relación a la brisa marina cercana, produce la condensación necesaria para adquirir el vital elemento. No cabe duda que en un escenario global donde la aridez va en aumento, aquellas estrategias exitosas para acceder al agua dulce serán cada vez más demandadas. Pero así como este escarabajo, existen muchas especies de plantas y animales que presentan formas y comportamientos que les permiten obtener agua de manera exitosa. ¿Qué pasaría si pudiésemos transferir estas formas y comportamientos al diseño de objetos o edificios?

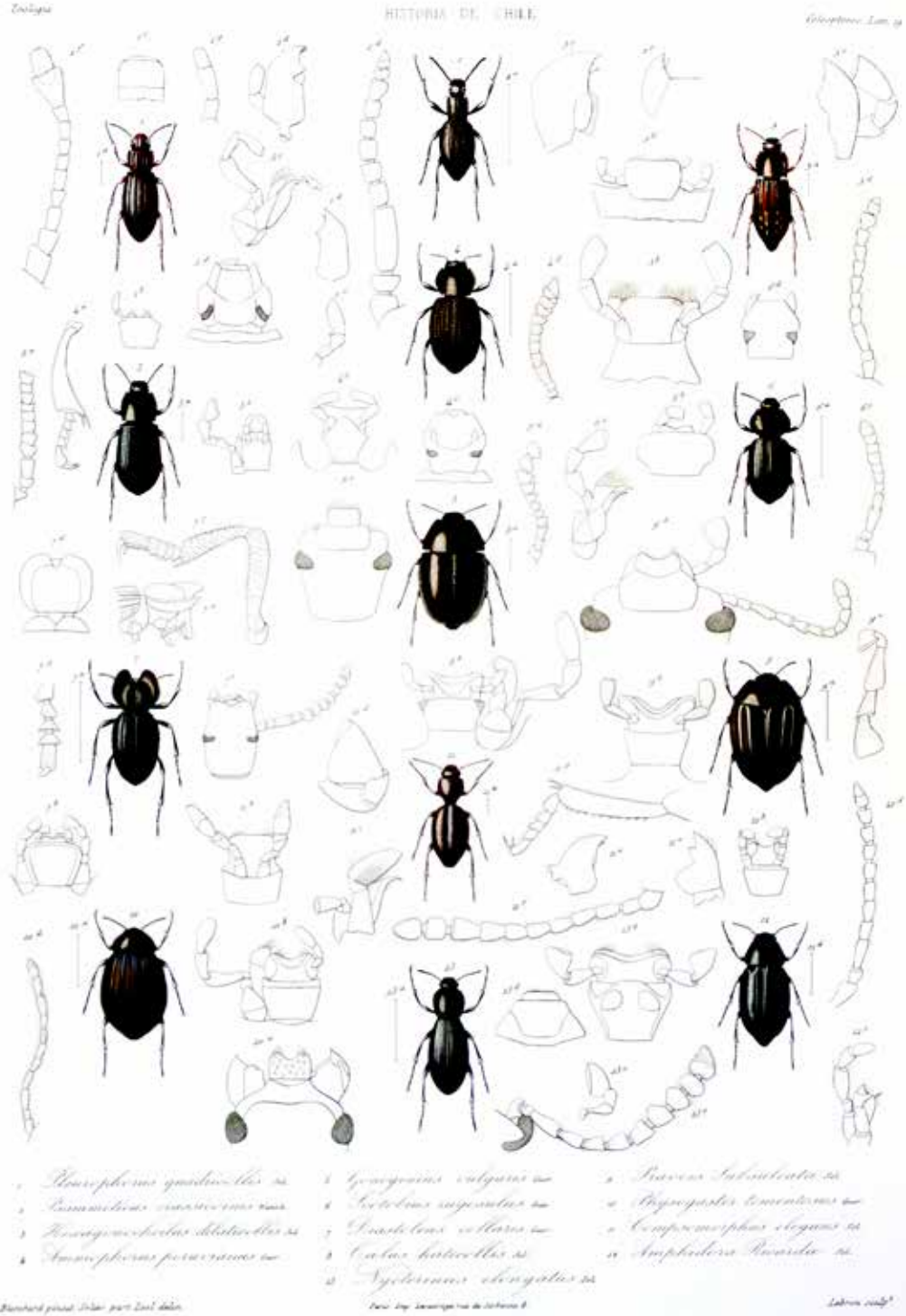


FIG 1 Dibujos de una serie de especies de escarabajos y sus componentes
 Drawings of a series of beetles species and their components.
 Fuente / Source: GAU, Claudio. Atlas de la Historia Física y Política de Chile. Paris, Imprenta de E. Thunot y C°, 1854. Lámina / Plate N°19.

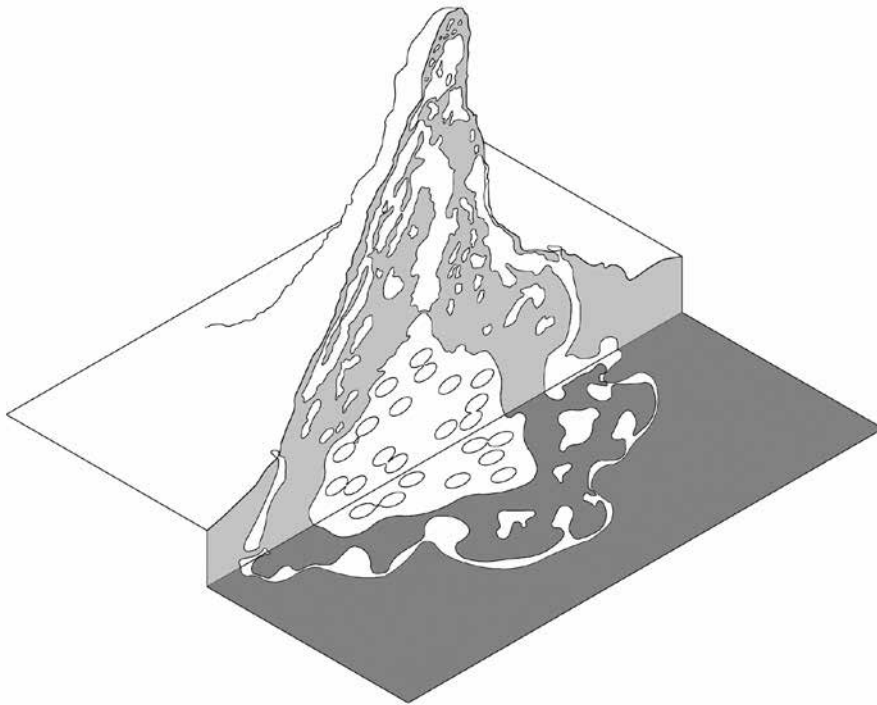


FIG 2 Isométrica cortada de un termitero de *Macrotermes michaelseni*, donde se pueden observar los distintos elementos que componen su sistema de ventilación. / *Isometric section of a Macrotermes michaelseni termite nest, showing the different elements building its vent system.* Concepto / Concept: Alejandro Soffia Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez

Podríamos, por ejemplo, facilitar la vida humana o potenciar la productividad de la tierra en zonas áridas.

Observemos ahora las muchas especies de mariposas que se desvuelven durante la noche (Suborden *Heterocera*). Algunos les llaman polillas. Para ellas, la oscuridad es el mejor aliado contra sus depredadores. Así, la mayor parte de su cuerpo es opaco y, en muchos casos, oscuro. Por lo mismo, y para evitar destellos que las puedan delatar, sus ojos (la única superficie brillante de su cuerpo) poseen una microtextura que impide su reflejo para no ser detectadas. Específicamente, la conformación nanométrica de la superficie de sus ojos tiene una textura que absorbe cualquier luminosidad posible. Así permanecen ocultas mientras vuelan en la noche. ¿Qué ocurriría si los componentes constructivos que generan energía o calor a través de la radiación solar ocuparan el mismo principio de absorción de la luz? Probablemente podrían optimizar los rayos solares y producir mucha más energía que la que producen actualmente.

Ambos casos, escarabajos (Orden *Coleoptera*) y mariposas (Orden *Lepidoptera*), pertenecen a la subclase de los hexápodos, pero quizás son las expresiones morfológicas más distintas dentro del mismo taxón¹ (FIG. 1). Estos casos

¹ Taxón corresponde a cada una de las categorías ordenadas jerárquicamente que agrupan a los organismos vivos según sus características morfológicas. De esta manera, *orden* y *clase* son categorías, pero *clase* asocia una menor cantidad de características comunes y, por lo tanto, una mayor cantidad de especies. En tanto, *orden* incluye a organismos que comparten muchas características morfológicas y, en consecuencia, es un grupo más pequeño en especies. *Orden*, en conclusión, subyace jerárquicamente a *clase*.

FIG 3 Ilustración que grafica las tres escalas que componen el fenómeno adaptativo del termitero de *Macrotermes michaelseni*. En el hexágono superior se puede apreciar la exposición de la estructura a la radiación del sol y el viento, y la conducción de temperatura en el suelo. En el hexágono inferior izquierdo, un aumento para observar los componentes de la estructura de un termitero. En el último hexágono, un aproximación aún mayor para observar los conductos de aire que alojan el intercambio con aire fresco del exterior del termitero.

Illustration showing the three scales of the Macrotermes michaelseni termite nest's adaptive phenomenon. In the upper hexagon, the structure's exposure to sun radiation and wind, and the temperature transmission to the ground. In the lower left hexagon, a detail of the termite nest's structural components. In the last hexagon, a zoom in to observe the air ducts that exchange fresh air from the outside.

Concepto / Concept: Alejandro Soffia
Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez

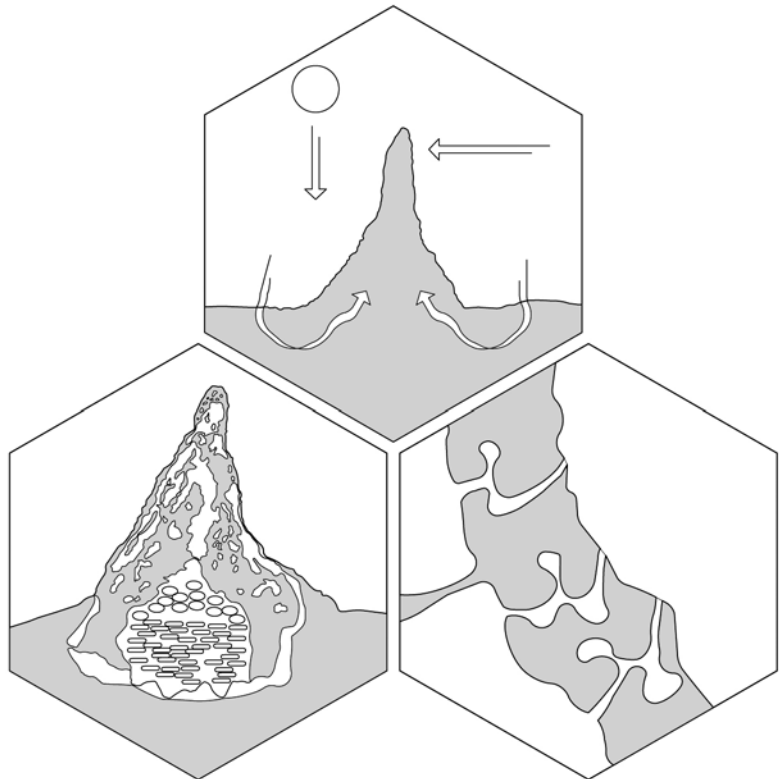
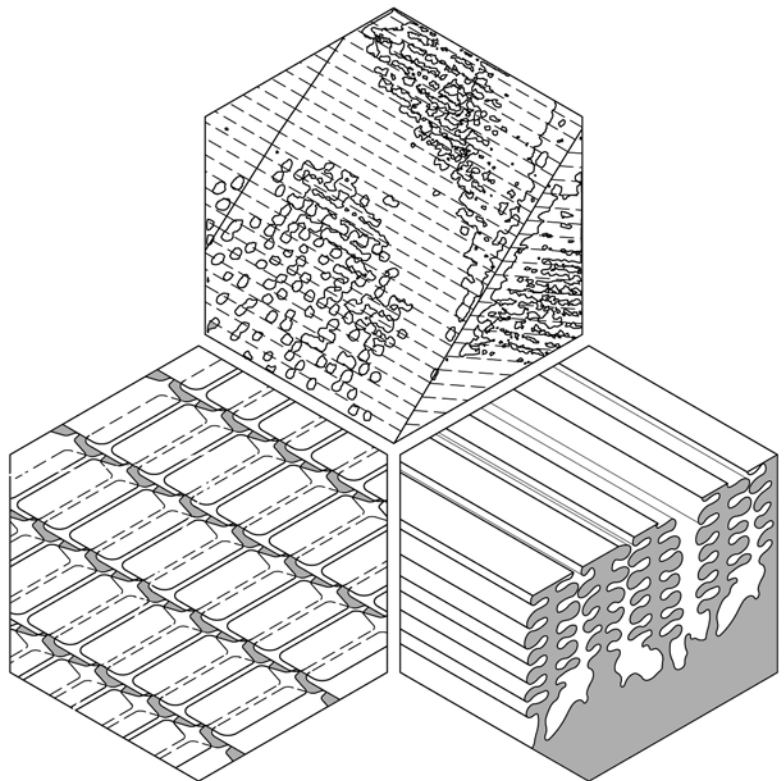


FIG 4 Ilustración que grafica las tres escalas que componen el fenómeno adaptativo de las mariposas *Morpho*. En el hexágono superior se puede apreciar la composición por escamas de las superficies del ala de una mariposa cualquiera. En el hexágono inferior izquierdo, un aumento para observar la superposición de escamas de suelo bajo escamas de vidrio en el género *Morpho*. En el último hexágono, una aproximación aún mayor para observar una isométrica cortada del espesor de una escama de suelo. Allí se puede observar una microestructura que replica la superposición de superficies para multiplicar la luz incidente.

Illustration showing the three scales of the Morpho butterflies' adaptive phenomenon. In the upper hexagon, the scaly composition of any regular butterfly wing surface. In the lower left hexagon, a zoom in to observe the overlap of ground scales under glass scales in the Morpho genus. In the last hexagon, a greater zoom in to observe an isometric section of a soil scale's thickness. It shows a microstructure that replicates the superposition of surfaces to multiply incident light.

Concepto / Concept: Alejandro Soffia
Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez



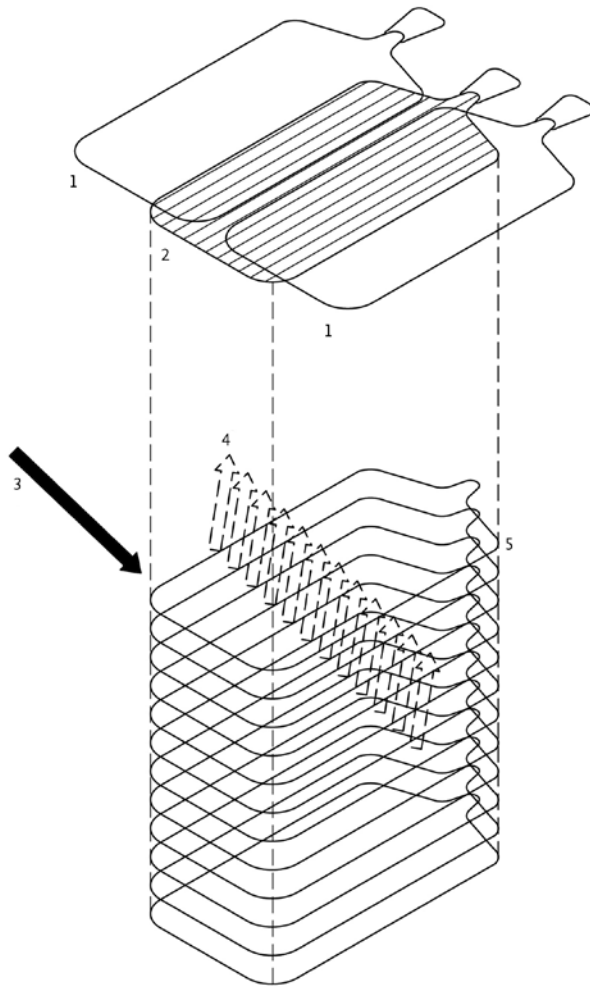


FIG 5 Isométrica explotada que grafica el fenómeno de multiplicación de la luz solar sobre el ala de una mariposa *Morpho*.
Isometric showing the phenomenon of sunlight multiplication on the wing of a Morpho butterfly.
 Concepto / Concept: Alejandro Soffia
 Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez

LEYENDA / LEGEND

1. Escamas superiores de vidrio /
Top glass scales
2. Escamas inferiores de suelo /
Bottom ground scales
3. Dirección de la luz incidente /
Direction of incident light
4. Reflexión de la luz /
Reflection of light
5. Múltiples superficies que componen la escama de suelo /
Multiple surfaces composing the ground scale

poseen formas o comportamientos que pueden resolver los mismos problemas de diseño a los que nos enfrenta el paradigma del desarrollo sostenible. Si bien la observación de los componentes de la naturaleza no es un fenómeno reciente, el enfoque contemporáneo de lo que se ha llamado biomimética o biomímesis concentra su mirada en formas, comportamientos o fenómenos de la naturaleza que optimizan sus recursos, atenuando un impacto negativo en ella. Luego, aquello que es observado en su estado natural (o lo que podemos entender como referente biológico), debe transferirse tecnológicamente al diseño mediante principios físicos, formas o desempeño.

La biomimética opera no sólo en base a organismos vivos, sino también a fenómenos abióticos. Es decir, toma como fuente de transferencia al conjunto de elementos que conforman nuestra biosfera. Sin embargo, centraré la mirada en el taxón de los insectos, pues ha demostrado ser el grupo más exitoso en términos evolutivos y, en el desarrollo reciente de la biomimética, no sólo conforman el mayor número de transferencias realizadas a la fecha (Bushan, 2009) sino que además son la fuente más extensa

2 From the Greek *Entomos*, insect and *mímēsis*, imitation.

FIG 6 Ilustración que grafica las tres escalas que componen el fenómeno adaptativo del escarabajo *Stenocara dentata*. En el hexágono superior se puede apreciar la disposición contra la brisa marina que adopta el volumen ovalado del insecto. En el hexágono inferior izquierdo, un aumento para observar la textura granulosa de sus élitros, que multiplica la superficie de roce, y atrapa las gotas de agua con sus cimas hidrófilas. En el último hexágono, un aproximación aún mayor para observar la textura de las superficies de las concavidades presentes en los élitros. En esta escala las cimas son hidrofóbicas por lo tanto favorecen la circulación del agua capturada.

Illustration showing the three scales composing the Stenocara dentata beetle's adaptive phenomenon. In the upper hexagon, the position against the sea breeze adopted by the insect's oval volume. In the lower left hexagon, a detail of the granular texture of its elytra, which multiplies the friction surface, catching the water drops with its hydrophilic tops. In the last hexagon, a zoom in to observe the texture of the concavities present in the elytra. At this scale the tops are hydrophobic, favoring thus the circulation of the captured water.

Concepto / Concept: Alejandro Soffia
Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez

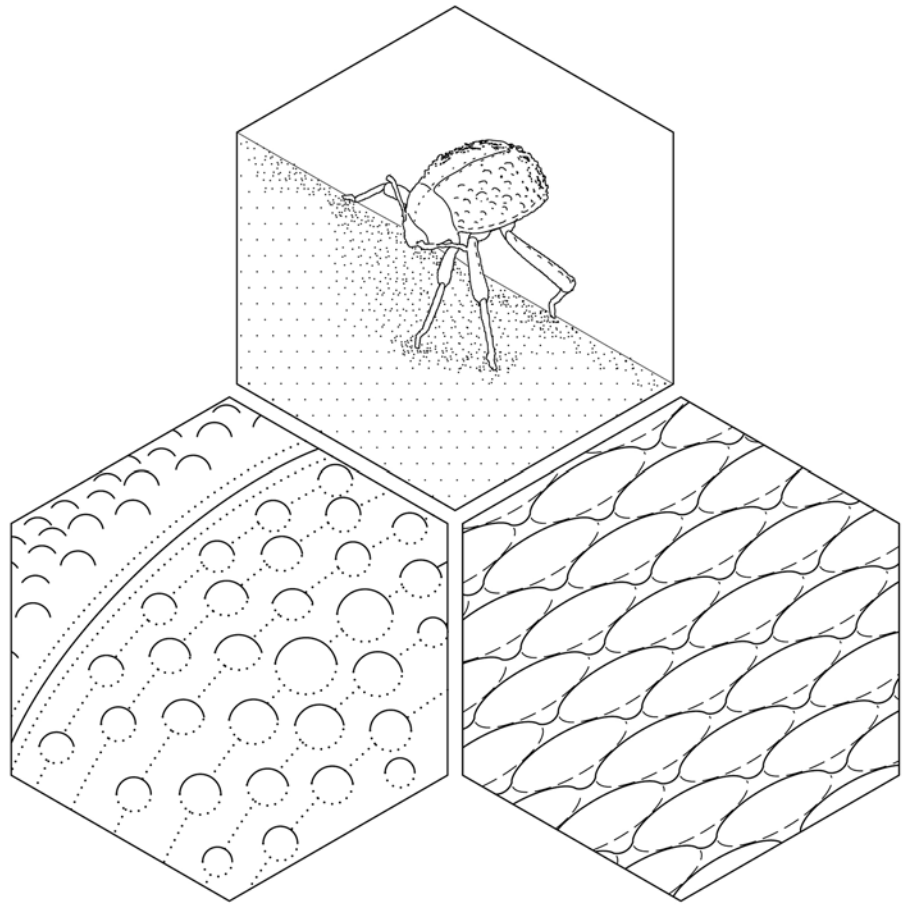
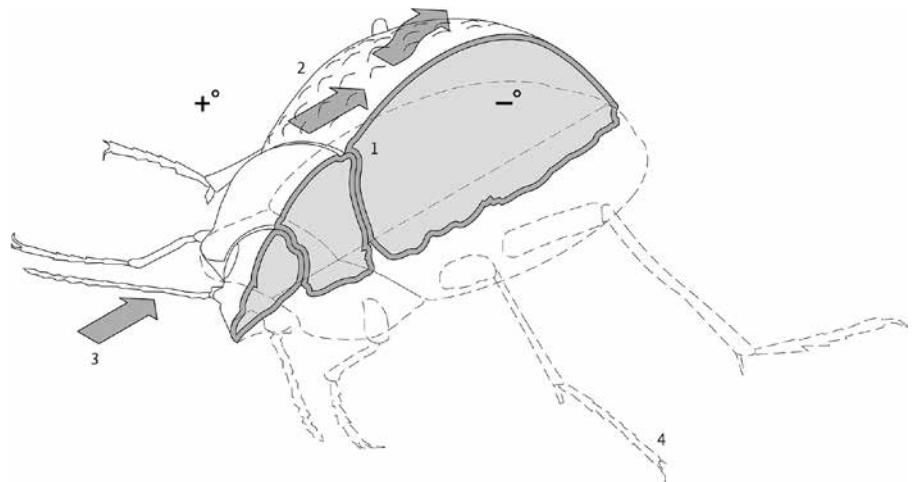


FIG 7 Isométrica cortada a través del eje longitudinal de un escarabajo de la familia *Tenebrionidae*, que muestra la diferencia de temperatura entre el exterior y el exoesqueleto del insecto.

Isometric section through the longitudinal axis of a Tenebrionidae beetle, showing the temperature difference between the outside and the insect's exoskeleton.

Concepto / Concept: Alejandro Soffia
Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez



LEYENDA / LEGEND

1. Exoesqueleto / Exoskeleton
2. Superficie granulosa propia del *Stenocara dentata* presente en su abdomen / Granular surface of *Stenocara dentata* present on its abdomen.
3. Dirección de la brisa marina / Sea breeze direction
4. Proyección de la posición de las patas que permiten la inclinación del abdomen, que recibe el agua. / Projection of the position of the legs allowing the inclination of the abdomen, which receives the water.

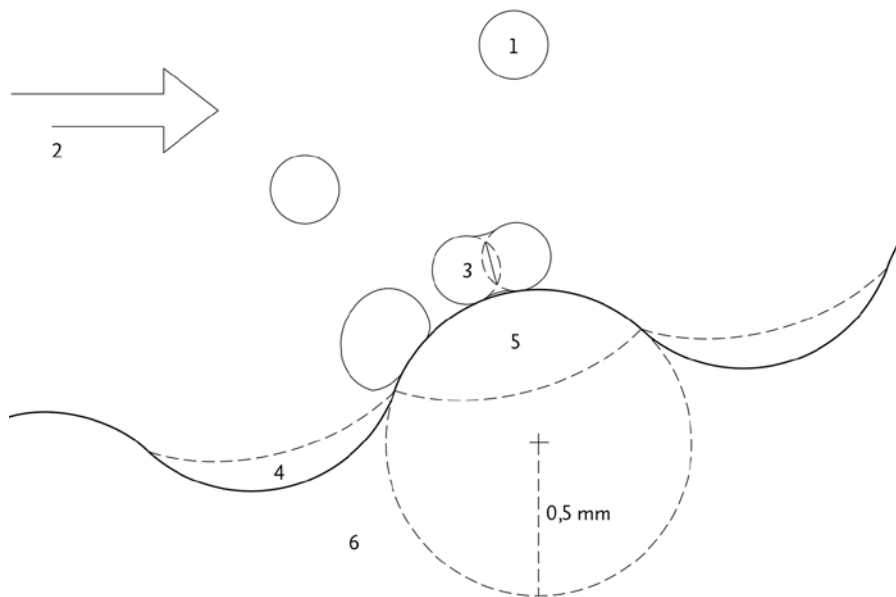


FIG 8 Corte esquemático que muestra el proceso de captura del agua. / Schematic section showing the water capturing process.
 Concepto / Concept: Alejandro Soffia
 Dibujo / Drawing: Leonardo Suárez

LEYENDA / LEGEND:

1. Gotas de agua provenientes de la brisa / Drops of water from the breeze
2. Dirección del viento / Wind direction
3. Fusión de gotas de agua / Water drops fusion
4. Concavidad hidrofóbica del élitro del escarabajo *Stenocara dentata* / Hydrophobic concavity of the *Stenocara dentata* beetle's elytra
5. Convexidad hidrófila / Hydrophilic convexity
6. Exoesqueleto del escarabajo / Beetle's exoskeleton

de referencias biológicas entre las cerca de un millón de especies descritas para nuestro planeta.

Según el sistema de clasificación taxonómica, llamaremos «entomimética»² a la transferencia tecnológica que se base en la observación de la morfología o el comportamiento de los insectos. Los campos en que esta puede aportar al diseño son distintos. Por ejemplo, los componentes del edificio podrían ser indicadores cuantitativos del beneficio de la estrategia biomimética en el cuerpo construido (medible a nivel de masa al menos), lo que nos permitiría decir que la adaptación del insecto 'x' afectó positivamente a un porcentaje 'y' del edificio. Para el caso de las termitas bioclimáticas, la influencia del sistema de ventilación incide estructuralmente en gran parte del Eastgate Center de Mike Pearce en Harare, Zimbawe (FIGS. 2, 3). Se ha calculado que el consumo de energía del edificio disminuyó 90% en relación a edificios de similar morfología.

Una transferencia tecnológica orientada al diseño (a partir de la observación de una morfología o comportamiento de un insecto) también puede ser medida por el grado de abstracción formal que permite su reproductibilidad técnica con los medios existentes. Así, habría productos más abstractos, cuya función quedaría desprendida de su forma originaria, y otros productos en los que podría existir una coincidencia formal entre morfología o comportamiento del insecto y forma o desempeño del producto. En este segundo caso, la mayoría de las transferencias realizadas consisten en replicar las

2 Del griego *Entomos*, insecto y *mímēsis*, imitación.

microestructuras responsables de las virtudes de determinado fenómeno de adaptación en un insecto. Por ejemplo, 'escamas digitales' es la reproducción en una escala microscópica de la escama de una mariposa, transformándose en un pixel; se replican anchos, largos, altos y materialidad para lograr efectividad en la producción de un haz de color (FIGS. 4, 5).

En los productos donde la transferencia es más abstracta, en cambio, lo que se transfiere son principios físicos como por ejemplo la condensación del agua en el caso del escarabajo atrapanieblas (FIGS. 6, 7, 8). Desde este punto de vista, las escamas digitales transfieren el principio físico de la reflectancia, pero para lograrlo requieren la reproducción de una microestructura mecánica morfológicamente muy similar al componente del referente biológico. Sin embargo, en el escarabajo atrapanieblas, el principio físico de la condensación – transferido a los invernaderos de Seawater Greenhouses – prescinde absolutamente de su forma y no necesita reproducirla. **ARQ**

ALEJANDRO SOFFIA

<alejandro.soffia@gmail.com>

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2004. Magister en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2011. Cofundador de la Cooperativa UROI.ORG (2000-2008). Trabaja de forma independiente en temas como la optimización material, las bajas tecnologías y la prefabricación. Su obra y escritos han sido publicados y seleccionados en bienales, revistas y libros en Chile y el extranjero. Actualmente es Profesor en la Universidad Andrés Bello, Universidad Central, y la Pontificia Universidad Católica de Chile.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

- BALL, Philip. «Life's lessons in design». *Nature*. Vol 409 (January, 2001).
- BONABEAU, Eric; DENEUBOURG, Jean Louis; THERAULAZ, Guy. «Insectos Arquitectos, ¿nidios grabados en la cabeza?». *Mundo Científico* 198 (Diciembre, 1998):38-44.
- BUSHAN, Bharat. «Biomimetics: lessons from nature – an overview». *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol 367, nº 1893 (2009):1445-1486.
- HANSELL, Michael. *Animal architecture and building behavior*. London; New York: Longman, 1984.
- KINOSHITA, Shuichi; YOSHIOKA, Shinya; FUJII, Yasuhiro; OKAMOTO, Naoko. «Photophysics of Structural Color in the Morpho Butterflies». *Forma* 17 (2002):103-121.
- KORB, Judith; LINSÉNMAIR, Karl. «Ventilation of termite mounds: new results require a new model». *Behavioral Ecology*. 11, 5 (2000):486-494.
- PARKER, A.; LAWRENCE, C. «Water capture by a desert beetle». *Nature* 414 (2001):33-34.
- TORO, H.; CHIAPPA, E.; TOBAR, C. *Biología de Insectos*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2009 (2003).
- VIDAL, Pedro; GUERRERO, Marcelo. *Los tenebriónidos de Chile*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile, 2007.
- VINCENT, J; MANN, Darrel. «Systematic technology transfer from biology to engineering». *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol 360, nº 1791 (2002):159-173.
- VUKUSIC, P. et al. Quantified interference and diffraction in Morpho butterfly scales. *Proceedings of the Royal Society* (1999) 266, 1403-1411.