

INTRODUCCIÓN A LA BIOMÍMESIS APLICADA A LA ARQUITECTURA

VEDOYA, Daniel E.; PRAT, Emma S.

devedoya@arnet.com.ar, emmasus@hotmail.com

Profesor titular en Construcciones II "A", director del ITDAHu.

Profesora titular de Estructuras III, subdirectora del ITDAHu.

PALABRAS CLAVE

Biomimesis; sustentabilidad; tenseguridad.

KEYWORDS

Biomimesis - Sustainability - Tensegrity

RESUMEN

El ser humano ha tomado las leyes que rigen el mundo natural como fuente de inspiración, teniendo en cuenta que son las leyes que afectan a los seres vivos. En la tierra conviven aproximadamente 10 millones de especies animales y vegetales (de las que solo se conocen unos 2,5 millones), que compiten entre sí por ocupar o mantener un lugar en la cadena trófica, de manera ordenada y simple, con la prevalencia del más eficaz, ya que las soluciones menos eficientes desaparecen a largo plazo. En el presente trabajo se propone aprender de las estrategias y formas que nos ofrece la naturaleza.

ABSTRACT

The human being has taken the laws that govern the natural world as a source of inspiration, taking into account that they are the laws that affect living beings. Approximately 10 million animal and plant species live on the Earth (of which only about 2.5 million are known), competing with each other for occupying or maintaining a place in the food chain, doing so in an orderly and simple manner, prevailing the most effective, where less efficient solutions disappear in the long term. In the present work it is proposed to learn from the strategies and forms that nature offers us.

<http://dx.doi.org/10.30972/adn.063475>

OBJETIVO GENERAL

- Descubrir mecanismos de transposición de los fenómenos que acontecen en la naturaleza a problemas concretos de diseño tecnológico y arquitectónico con criterios de sustentabilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer, mediante el análisis de los principios biológicos, mecanismos de aplicación a soluciones tecnológicas arquitectónicas o en productos que se utilicen en ellas.
- Analizando las soluciones que ofrece la naturaleza, comprender las características de lo natural y el modo en que se pueden aplicar técnicamente.
- Extrapolar procesos naturales a productos tecnológicos aplicables en el diseño arquitectónico e ingenieril.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación propone observar el comportamiento de la naturaleza para aprender de sus estrategias y formas y, a partir de esto, reformular los métodos de diseño actualmente en uso en el campo de la arquitectura y la ingeniería.

Las preguntas que surgen para diseñar el ala de un avión son las mismas que se hacen para entender el comportamiento del ala de un pájaro. Observando la naturaleza descubrimos que la mayoría de aquellos problemas que intentamos resolver ya fueron resueltos por la naturaleza durante millones de años de evolución. Y de una manera eficiente, económica y sustentable. No solo importa lo que hace la naturaleza, sino que lo que hace lo hace bien.

Cuando sales al mundo natural, cuando caminas por la naturaleza, estás en un laboratorio de química en el que no hay que llevar mascarilla, ni gafas protectoras, porque la vida ha descubierto la manera de hacer lo que intentamos hacer nosotros ahora. (BENYUS, 2012, p. 24)

Desde siempre, arquitectura y naturaleza han sido compañeras de aventuras. No obstante, hoy la arquitectura biomimética va mucho más allá de la mera imitación del diseño de la naturaleza y transpone los procesos naturales en busca de que las instalaciones de los edificios funcionen a su semejanza, promoviendo entornos sostenibles y naturales. La biomimética se presenta como método apropiado para ser aplicado en el diseño tecnológico, con resoluciones que de ninguna manera hubiera sido posible desarrollar sin la ayuda de la naturaleza, cuyas soluciones, a través de los años, siguen siendo efectivas.

La arquitectura biomimética nos brinda un diseño más natural, con estrategias y soluciones propias de la naturaleza, aplicables en varios aspectos, en busca de eficiencia y ahorro de recursos. Las formas naturales han demostrado que funcionan mucho mejor que las tecnologías

más innovadoras que existen en la actualidad, ya que requieren menos energía y producen menos residuos.

Cuando miramos profunda y detenidamente a la naturaleza nos percatamos de que todas nuestras invenciones ya han surgido antes en una versión más elegante y menos costosa. Los ingeniosos entramados arquitectónicos se han perfilado en los tallos de los lirios y las cañas de bambú. Los sistemas de calefacción central y acondicionamiento del aire han sido superados por los 30° constantes de los termiteros. El radar más complejo es incompetente comparado con la transmisión multifrecuencial de los murciélagos. Los "materiales inteligentes" se inclinan ante la piel del delfín o la trompa de las mariposas. Incluso la rueda, que siempre hemos considerado una invención genuinamente humana, ha resultado estar presente en los motores moleculares que accionan los flagelos de las bacterias más antiguas (figura 1).

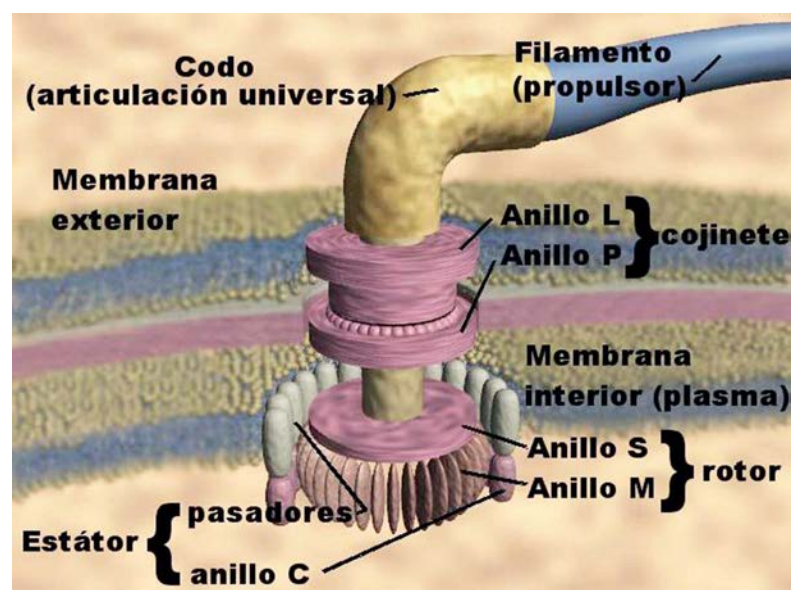


Figura 1. Flagelo bacteriano. Fuente: http://www.sedin.org/propesp/flag_labels.htm

Y los engranajes más complejos ya estaban instalados en la articulación de las patas de una especie de saltamontes (*issus coleoptratus*) que se encuentra en la ecozona de la región paleoártica occidental, en el Cercano Oriente y en el norte de África (figuras 2 y 3).

Reafirmamos aquí lo que expresa Janine Benyus:

la naturaleza cabalga sobre la luz solar, gasta solo la energía que necesita, ajusta la forma a la función, todo lo recicla, premia la cooperación, hace uso de la diversidad, demanda tecnología local, frena los excesos desde dentro y saca partido de las limitaciones. (Benyus, 2012)

ANTECEDENTES

"La Biomímesis presenta una era basada no en lo que podemos extraer de los organismos y sus ecosistemas, sino en lo que podemos aprender de ellos" (BENYUS, 2013). La humanidad se encuentra enfrentando diversas problemáticas sociales, entre las que se destacan el crecimiento demográfico descontrolado, el progresivo agotamiento de los recursos naturales, el incontrolado calentamiento global, entre otras no menos importantes. En lo que atañe a la arquitectura, consecuentemente con estas problemáticas, se está orientando el esfuerzo hacia la búsqueda de soluciones de diseño más eficaces, proyectos más eficientes que puedan lograr un equilibrio entre lo humano y la naturaleza, lo que ha dado lugar a una nueva tendencia que se conoce como **Arquitectura Biomimética** (de "bio" = vida, y "mímesis" = imitar). Ya VITRUVIO (S. I a. C.) en su libro sexto expone una serie de recomendaciones acerca de cómo resolver los problemas que aquejan al edificio en relación con su entorno. Es un antecedente más de cómo la arquitectura y la naturaleza han ido de la mano.

Hoy la **arquitectura biomimética** se detiene a analizar los diversos pro-



Figuras 2 y 3. *Issus coleoptratus*. Mecanismo de engranaje de las patas. Fuente: <http://www.investigacionyciencia.es/files/14591.pdf>

cesos naturales, para lograr que las instalaciones de los edificios se comporten de una manera semejante, para favorecer de este modo las condiciones de habitabilidad y confort y optimizar la estabilidad y duración de los edificios con la aplicación de criterios de ahorro energético y mantenimiento.

La biomímesis consiste en transpolar métodos y sistemas naturales a problemas de la arquitectura, la ingeniería y la tecnología, creando soluciones que el ser humano no está en condiciones de desarrollar por sí mismo sin ayuda de la naturaleza. Concretamente, la **arquitectura biomimética** nos acerca a un diseño más natural, tomando en cuenta las estrategias y soluciones que utiliza la naturaleza, aplicándolas en varios aspectos, creando diseños más naturales, ahorrando y haciendo más eficientes los recursos. En función de todo lo expuesto, se estudia la naturaleza desde variados puntos de vista:

- Considerando los tres reinos que la componen, sus características y las leyes que rigen su comportamiento en general.
- Observando y analizando los procesos biológicos que generan el nacimiento, crecimiento y permanencia de las especies.
- Analizando los fenómenos que acontecen en distintas especies para su protección y mantenimiento.
- Estudiando las leyes armónicas

de organización, distribución, crecimiento, etc.

En un primer encuentro con lo que caracteriza a la naturaleza, se analizan los nueve principios básicos que rigen la vida natural ya mencionados en la introducción:

- La naturaleza cabalga sobre la luz solar. La energía que absorbemos casi todas las comunidades naturales proviene de la fusión nuclear que el Sol realiza a 150 millones de kilómetros de distancia con respecto a la Tierra. Las energías solar, eólica y mareal, así como el biodiésel, derivan todas de la luz solar actual. La energía solar en la fotosíntesis se convierte en energía química, y el carbono se fija en compuestos orgánicos. La vida sobre la Tierra depende de la luz solar.

- La naturaleza gasta solo la energía que necesita. Para lograr un uso óptimo del hábitat limitado, cada organismo encuentra un nicho y tan solo usa lo que necesita para sobrevivir y evolucionar. Los sistemas naturales nos orientan acerca de cómo establecer nuevos usos para la energía, reconsiderando lo que estamos maximizando (la producción) y ocuparnos más en la optimización. Los sistemas naturales invierten su energía en maximizar la diversidad para hacerse más eficientes en cuanto al reciclaje de nutrientes orgánicos y minerales.

- La naturaleza ajusta la forma a la función. Toda la red ecosistémica ha sido construida en los límites de los recursos disponibles; como resultado, el sistema entero alcanza una coherencia interna de intrincados patrones orgánicos, cuyo tamaño se adapta a la función.

- La naturaleza lo recicla todo. Una de las lecciones clave de los sistemas ecológicos es que, a medida que un sistema acumula biomasa (peso total de materia viva), necesita más reciclaje para eludir el colapso. La existencia de cadenas tróficas en los ecosistemas tiene un esquema organizativo circular donde los productores, consumidores y descomponedores han evolucionado conjuntamente a un bucle cerrado para impedir la pérdida de recursos. Todo desecho de un individuo termina siendo alimento de otro.

- La naturaleza premia la cooperación. En la naturaleza, la supervivencia estriba tanto en la interrelación con los vecinos como en el crecimiento y la reproducción. Ningún organismo es una isla, pues siempre está relacionado con otros, directa o indirectamente.

- La naturaleza cuenta con la diversidad. Todas las especies conviven e interactúan unas con otras formando los ecosistemas o unidades funcionales de la biosfera. Estos proporcionan los bienes y servicios para la supervivencia (alimentos, medicinas, etc.) y el bienestar (cultura, ocio, etc.).

- La naturaleza demanda tecnología local. Los ecosistemas naturales están conectados de manera relativamente

cercana en el espacio-tiempo. Existe una rica biodiversidad en los ecosistemas locales, donde muchas especies coevolucionan conjuntamente para adaptarse a los cambios.

- La naturaleza frena los excesos desde dentro. El parasitismo, el comensalismo y el mutualismo o simbiosis son procesos continuos que tienen como tendencia natural más sostenible a la simbiosis. Es decir, el parásito evoluciona autorregulando su virulencia contra el hospedador, y este al tiempo reacciona neutralizando los efectos deletéreos de su parásito para evitar la mutua autodestrucción.

- La naturaleza saca partido de las limitaciones. La vida no puede instalar su fábrica en las afueras, tiene que vivir con ella. El primer truco de la naturaleza es fabricar sus materiales en condiciones compatibles con la vida, en un medio acuoso y con una temperatura ambiente, sin compuestos químicos corrosivos ni presiones elevadas. A pesar de estas limitaciones, la naturaleza confecciona materiales de una complejidad y funcionalidad envidiables.

Por otra parte, también siguiendo a BENYUS, en la naturaleza se cumplen diez mandamientos indispensables para la convivencia:

- Convertir los desechos en recursos. Un sistema ecológico, a medida que acumula biomasa (peso total de materia viva), necesita más reciclaje para evitar el colapso. Un bosque es complejo; es un conjunto diverso de productores, consumidores y descomponedores que evoluciona, interpretando cada uno su parte, impidiendo la pérdida de recurso. Todo desecho es alimento.

- Diversificarse y cooperar para explotar plenamente el hábitat. En los ecosistemas maduros, la cooperación es tan importante como la competencia. Los organismos se distribuyen en nichos no competitivos, y esta diversidad de nichos crea una estabilidad dinámica. Aun cuando los individuos de una misma especie comparten nicho, hay acuerdos sobre la asignación de recursos.

- Obtener y usar eficientemente la energía. En las comunidades naturales, los agentes que adquieren la energía son los fotosintetizadores: plantas verdes, algas verdeazuladas y ciertas bacterias. Las hojas se distribuyen a fin de maximizar la exposición, y algunas se inclinan y giran a medida que el sol atraviesa el cielo. Este proceso de eficiencia proporciona energía a todos los seres vivos. Al existir muchas especies que compiten por una parte de la energía del sol, no pueden permitirse un uso caprichoso de esa energía.

- Optimizar en vez de maximizar. La selección natural premia a los organismos eficientes que aprenden a hacer más con menos. Los que sobreviven son los que viven dentro de sus posibilidades. La capacidad de control del sistema es importante, porque implica que la comunidad entera puede cambiar y adaptarse a las demandas del entorno.

- Consumir materiales con moderación. Los organismos construyen para durar, pero no construyen más de la cuenta. Ajustan la forma a la función, construyendo justo lo necesario con el mínimo de materiales y esfuerzo. Los panales de las abejas son un ejemplo de estructura que abarca un espacio máximo con un

mínimo de material. Las abejas esculpen cada celdilla hexagonal con paredes que representan solo el 2 % del volumen total del panal, y logran una estructura resistente sin malgastar cera. Los organismos también evolucionaron para sacar el máximo provecho de cada diseño, haciendo que una estructura cumpla no una sino dos o más funciones.

- No ensuciar el propio nido. Los organismos comen, respiran y duermen en sus propias plantas de producción, su hábitat, por lo que no pueden permitirse envenenarse con sus residuos. Tampoco recurren a temperaturas altas, sustancias corrosivas o presiones elevadas en sus procesos de producción, como hacen los humanos. Saben que un flujo excesivo o una energía fuera de sitio pueden estropear el nido. La moderación en el consumo energético y material es una norma. El ser humano es el único que olvidó esto, e insiste en contaminar los pulmones y filtros del mundo, demostrando una profunda indisciplina.

- No agotar los recursos. En un ecosistema maduro los organismos viven de los intereses y no de un capital principal. El mejor predador es el que no extermina a su presa. El parásito prudente es el que no mata a su huésped. Todos han aprendido de sus genes que arrancar de raíz su reserva de alimentos no es buena idea. Dos corolarios del precepto "no emitir contaminantes más deprisa de lo que la tierra puede asimilarlos" deberían ser los siguientes: a) no consumir recursos no renovables más deprisa que el desarrollo de sustitutos y b) no consumir recursos renovables más deprisa de lo que pueden reponerse.

- Mantenerse en equilibrio con la

biosfera. La biosfera (capa de aire, tierra y agua que sustenta la vida) es un sistema cerrado, lo que significa que no importa materiales. Las reservas de los principales elementos de construcción bioquímica (carbono, nitrógeno, azufre y fósforo) se mantienen constantes. No obstante, los organismos los intercambian constantemente. Todo lo que se extrae de los reservorios de recursos a través de procesos de fotosíntesis, respiración, crecimiento, mineralización y descomposición se repone en la misma medida, como si pasaran por una puerta giratoria de los organismos, donde las reservas circulan sin gastarse. Los gases atmosféricos también se encuentran en un equilibrio dinámico. En la fotosíntesis, las plantas inhalan dióxido de carbono y exhalan oxígeno. Los animales que respiran inhalan este oxígeno y exhalan dióxido de carbono. A través de este intercambio, la vida mantiene las condiciones que le son necesarias.

- Regirse por la información. Las comunidades maduras son ricas en canales de comunicación que establecen vínculos retroactivos entre todos sus miembros orientados hacia la sostenibilidad. Cualquier organismo rodeado por y dependiente de determinados vínculos debe adquirir modos de indicar sus intenciones e interactuar con sus vecinos.

- Comprar localmente. Los animales no pueden importar productos que consumen. Los obtienen localmente, y se vuelven expertos en sus propios barrios. Los pumas, por ejemplo, coevolucionan con las cabras montañesas desarrollando

una imagen de búsqueda de su presa y el perfecto complemento de física y dientes necesarios para atraparlas y digerirlas. Las cabras, por su parte, son igualmente adeptas a su terruño, donde han encontrado diversas maneras inteligentes para defenderse de un enemigo conocido. Quedarse cerca en casa es un acierto porque permite conservar la energía y hacer el mejor uso de las aptitudes de un organismo. Con la excepción de algunas especies migratorias que vuelan muy alto, la naturaleza no viaja para ir al trabajo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La experiencia lograda en el ITDAH se basa en el análisis de los tres enfoques mencionados, a partir del estudio de casos:

a) Estudio de un caso de biomímesis.

Se logra con esto comprender cómo el análisis del principio biológico es aplicado en una solución técnica o en un producto tecnológico vinculado con la arquitectura.

b) Aplicación de una solución de la naturaleza.

Esto permite comprender la descripción de una característica natural y el modo en que se puede aplicar técnicamente buscando la posibilidad de su utilización en diferentes objetos por la diversidad de opciones de aplicación.

c) Solución de un problema técnico.

De este modo la resolución de un problema técnico se extrapola a productos distintos entre sí. Muchos objetos cotidianos con una característica común están condicionados por las soluciones técnicas existentes. Es necesario encontrar soluciones más innovadoras.

Estudio de un caso de biomímesis

Aidan Dwyer tenía solo trece años cuando emprendió un viaje de senderismo de invierno en las montañas de Catskill en Nueva York. Fue entonces cuando se percató de que algo extraño sucedía en la distribución de las ramas de los árboles. Si bien su primera impresión fue ver una maraña de ramas entrelazadas, al tiempo advirtió que el crecimiento de las ramas de los árboles alrededor del tronco suponía la existencia de un patrón escondido. Luego de tomar algunas fotos de las ramas en diferentes tipos de árboles, el patrón se presentó de manera más clara, organizándose en una espiral que iba ascendiendo (figura 4).

Intrigado por este secreto encubierto, comenzó a investigar recorriendo diversos ámbitos, y a experimentar con los árboles de su propia casa. Descubrió que todo tenía relación con dos propuestas matemáticas: la "divina proporción", sobre la base del **número de oro phi** (figura 5), y la "serie de Fibonacci" (figura 6).

La curiosidad de Aidan lo llevó a preguntarse si todo esto respondía a alguna razón secreta en el diseño del árbol, y si esa distribución en espiral tendría el propósito de lograr una mejor manera de recoger la luz del sol (figuras 7 y 7a).

Siguiendo su intuición, construyó un "árbol" artificial con tubos de PVC, con ramas colocadas en espiral alrededor del tronco principal, en cuyos extremos colocó sendos paneles solares fotovoltaicos conectados en serie, que producen hasta 1/2 voltio cada uno. El modelo un pico de salida alcanza 5 voltios. En todo momento trató de copiar una distribución de las ramas lo más cercana posible al patrón de un árbol de roble (figura 8).

A modo de modelo testigo, construyó un segundo prototipo basado en paneles solares montados en una gran pantalla plana a 45 grados, con el mismo tipo y número de paneles solares fotovoltaicos utilizados en el árbol, y una tensión similar de 5 voltios (figura 9), con la intención de realizar un seguimiento de la cantidad de luz solar que recogía cada modelo en las mismas condiciones.



Figura 4. Distribución de las hojas en diferentes árboles. Fuente: www.neoteo.com/la-sucesion-de-fibonacci-en-la-naturaleza/

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,618033988749894848204586834365638...$$

Figura 5. El número de oro phi (φ) y su valor irracional

1 - 1 - 2 - 3 - 5 - 8 - 13 - 21 - 34 - 55 - 89...

Figura 6. La serie de Fibonacci. Cada número de la serie es suma de los dos que le preceden



Figuras 7 y 7a. Disposición de las hojas en la rama de un rosal orientadas hacia el sol. Fuente: foto de archivo personal



Figura 8. Vista del modelo concluido. Fuente: <http://i.bnet.com/blogs/aidan-dwyer-450x292.jpg>



Figura 9. Modelo testigo. Fuente: <http://i.bnet.com/blogs/aidan-dwyer-450x292.jpg>

Aplicación de soluciones de la naturaleza

La torre Qatar Sprouts se proyectó para brindar nuevas oficinas al Ministerio de Asuntos Municipales y Agrícolas en Qatar. El nuevo diseño juntaría la actividad laboral con espacios botánicos dentro del mismo edificio, compuesto por una torre acristalada en altura acompañada de un domo menor, trabajando ambos en conjunto y complementándose para aportar diferentes funcionalidades. La formalidad con que se abordó la propuesta tiene que ver con el concepto de supervivencia propio de los cactus (figura 10), pensando en las características geográficas de Qatar, una región plana y cubierta de arena, donde se hace difícil soportar las fuertes temperaturas y la intensa luz solar. La estructura del edificio es muy simple, con un núcleo central que oficia además de tubo de ventilación, a través del cual se produce el "efecto chimenea" que permite despedir el aire caliente acumulado durante el día. Las plantas se ubican alrededor de este núcleo central. La envolvente de la torre está constituida por persianas inteligentes que cubren toda la superficie exterior. Estas persianas están accionadas mecánicamente y se abren y cierran de manera automática, según reciban mensajes de sensores de luz y temperatura, para mantener en el interior del edificio un nivel confortable de temperatura (figura 11).

En el diseño de la *torre Qatar Sprouts*, se tomó como referencia el comportamiento de un cactus que crece en los terrenos desérticos de Qatar, reemplazando los sistemas de refrigeración de alto consumo eléctrico mediante el uso de la biomimética, un proceso biológico de adaptación a las condiciones climáticas propio de este habitante de los terrenos desérticos: el cactus. La biomimética empleada en el edificio consiste en imitar funcionalmente las estomas del cactus (sus poros), que la planta



Figura 10. Imagen de cactus del desierto. Fuente: <https://es.pinterest.com/explore/cactus-del-desierto/?lp=true>

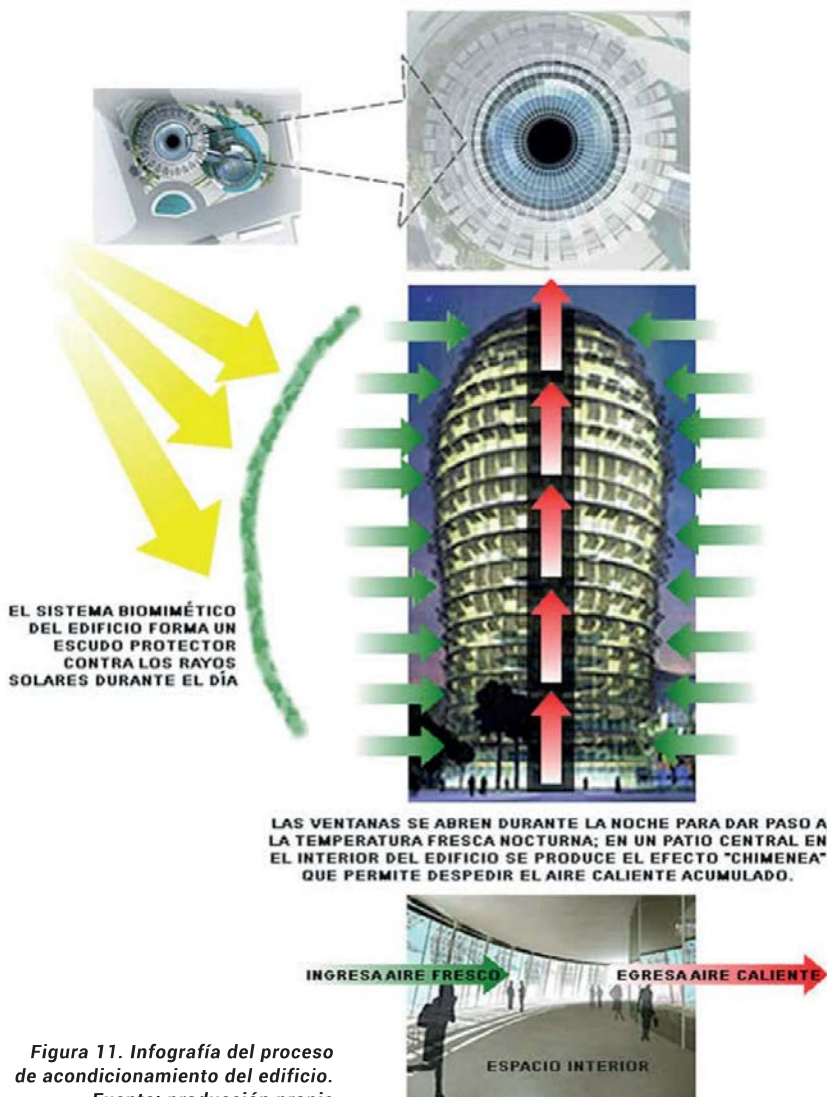


Figura 11. Infografía del proceso de acondicionamiento del edificio. Fuente: producción propia



Figura 12. Infografía del comportamiento del edificio. Fuente: producción propia

emplea para mantener la transpiración, haciendo frente de esta forma al clima caliente y árido del desierto. En primer lugar, se debió reconocer el sistema orgánico del cactus para entender de qué manera se produce este proceso biomimético, en el cual interviene una serie de interconexiones nerviosas que accionan y reaccionan entre sí, impulsadas por las condiciones climáticas del desierto, operando interiormente de modo que en determinado momento los estomas se abren para dar paso al aire frío de la noche, y en otro momento se cierran para evitar ese paso, cuando ya el aire se ha calentado durante el día. De este modo, la planta logra mantener la transpiración abriendo sus estomas por la noche, cuando la temperatura es menor.

Como el edificio no tiene terminaciones nerviosas que actúen motivadas

por la temperatura, hubo que reemplazar el sistema nervioso de la planta por algún mecanismo tecnológico que emulara su comportamiento, porque de otro modo no se podría lograr que las ventanas, que modelan los estomas del cactus, se abrieran o cerraran automáticamente, según las circunstancias. El edificio posee un sistema de persianas inteligentes —parasoles articulados—, que se abren y cierran dependiendo de la temperatura externa, de manera de tener un control mucho más inmediato de la temperatura en los espacios interiores, para lo cual la tecnología moderna brinda la solución a este problema aportando sensores termodinámicos que reaccionan bajo la acción de la temperatura ambiente. Pero un sensor es solo eso: un controlador de los cambios de temperatura, que reacciona de determinada manera a esos cambios,

pero no ofrece comportamientos mecánicos que resuelvan la cuestión de abrir y cerrar las ventanas. Nuevamente, se debe acudir a un nuevo implemento mecánico que actúe a instancias de los mensajes que reciba del sensor, que en este caso abrirá o cerrará un circuito eléctrico, necesario para accionar el mecanismo de la ventana. Lograr esta interacción entre ventanas que se abren y cierran al compás de los cambios de la temperatura del desierto exterior requiere no solo de sensores de temperatura y humedad, sino también de artificios mecánicos que respondan a los impulsos recibidos. Se deben mantener la temperatura y humedad interior, y para ello los materiales que se empleen deberán aportar condiciones aislantes adecuadas y suficientes para cumplir este rol (figura 12). Para completar este análisis, cabe

destacar que el edificio cuenta además con su huella del carbono cero, fotovoltaica, y reciclaje de agua, pues posee un sistema de reciclado y almacenamiento de agua, y una bio-bóveda compuesta de vegetación viva, que se encargará de convertir el anhídrido carbónico (CO₂) en oxígeno (O), además de añadir una imagen verde al conjunto (figura 13).

La fotosíntesis en las plantas se produce mediante células clorofílicas que utilizan el carbono del anhídrido carbónico presente en el aire para fabricar materia orgánica, expulsando el oxígeno restante, proceso que se realiza cuando estas células reciben la luz del día (figura 14). Siguiendo estos principios, la bio-bóveda mencionada consiste en un pequeño domo botánico, diseñado para cumplir funciones de cultivo y de tratamiento de aguas

a través de "máquinas de vida" (*living machines*). Complementa el diseño bioclimático un espacio exterior compuesto de áreas verdes y espejos de agua. El edificio, al

incorporar estos sistemas de autocontrol ambiental, contribuye con el principio de ahorro energético, premisa fundamental del desarrollo sustentable.

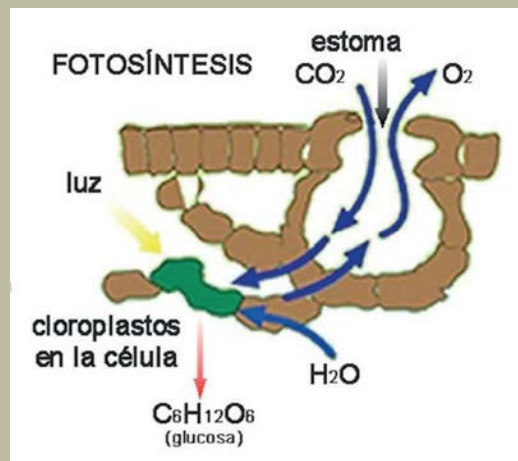


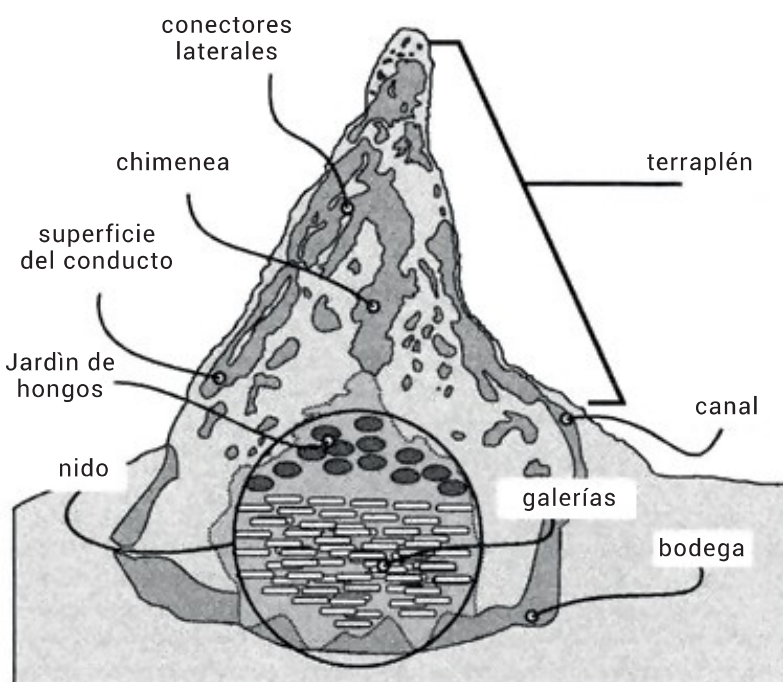
Figura 14. Representación del proceso de fotosíntesis. Fuente: <https://sites.google.com/site/jdelavegal/fotosintesis>

Figura 13. Vista de la torre con la bio-bóveda. Fuente: <http://inhabitat.com/qatar-cactus-office-building/>





Figuras. 14 y 15. Vista y detalle interior de un termitero. Fuente: noarquitectura.com y hipernova.cl



Solución de problemas técnicos

En este último tramo de la investigación se ha tomado el proceso de regulación de la temperatura en los termiteros africanos. El diseño básico de estos termiteros se basa fundamentalmente en la alimentación de las termitas, para lo cual dedican su tiempo al cultivo de una especie particular de hongos. Este cultivo se centraliza en el corazón del termitero, y para su mantenimiento resulta necesario conservar una temperatura constante de 30°C. Esto es sumamente sorprendente cuando se tiene en cuenta que el ambiente exterior presenta rangos de temperatura que oscilan desde 1°C (durante la noche) hasta 40°C (durante el día).

Es notable la organización interna de los termiteros, con un sistema de climatización a partir de un conjunto de cámaras y túneles que conforman la estructura y conducen el aire caliente al exterior por efecto Venturi. Cuando se trata de refrigerar el termitero, el aire se "refresca" al entrar en contacto con la tierra húmeda del suelo (refrigeración por evaporación) y, en cambio, cuando se necesita calentar el termitero, las termitas regulan la temperatura interior tapando y abriendo túneles que generan corrientes de convección. Posee una chimenea central, orientada al norte, cuya altura y orientación mejoran la circulación del aire constituyendo un factor importante, del mismo modo que el grosor de las paredes (inercia térmica). De este modo, el calor acumulado por los muros durante el día se libera al interior durante la noche y las paredes ya enfriadas se vuelven a calentar durante el día (figuras 14 y 15).

El arquitecto Mick Pearce prestó atención al funcionamiento de estos termiteros, utilizándolos como "musa inspiradora" para diseñar un edificio comercial cuyo requisito principal era lograr el máximo rendimiento con el mínimo consumo energético, además



Figuras 16 y 17. Eastgate Center, Mick Pearce. Vistas exterior e interior. Fuente: <http://norarce.blogspot.com.ar/2014/10/>

de evitar la instalación de aparatos de aire acondicionado de elevado costo. Las características propias del funcionamiento de los termiteros fueron rectoras para el diseño del edificio Eastgate Centre, en Zimbabwe (figuras 16 y 17), donde logró regular la temperatura interior aplicando durante el día un sistema basado en el efecto chimenea, y enfriando el conjunto durante la noche mediante ventilación mecánica. El ahorro de energía logrado, en relación con un edificio convencional equivalente a su tamaño, fue del 10 %. En términos generales, la economía energética total lograda en el edificio es de alrededor de los 3,5 millones de dólares.

BIBLIOGRAFÍA

BENYUS, J. (2012). "Innovar copiando a la naturaleza". *REDES*. Entrevista de Eduard Punset con Janine Benyus. En: <http://www.smartplanet.es/redesblog/?p=119>.

BENYUS, J. (2012) *Biomímesis. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza*. Barcelona (España), Tusquets Editores SA.

BENYUS, J. (2013). "Biomimetismo, la naturaleza como fuente de inspiración". *Revista Espores*. La veu del Botànic. Publicación de la Universidad de Valencia, España.

VITRUVIO, M. (ca. S. I a. C) *Los diez libros de la Arquitectura*. Barcelona (España): Editorial Iberia SA, 1997.

