

Una revisión de las estrategias de diseño de envolventes para minimización de consumo energético de edificaciones en clima tropical basado en enfoques biomiméticos

A Review on the Envelope Design Strategies to Minimize Energy Consumption in Buildings in Tropical Climate based on Biomimetic Approaches

Oscar Cowen¹, Nicole Delgado¹, Chrissmar González¹, Miguel Chen Austin^{1*}

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso

*Autor de correspondencia: miguel.chen@utp.ac.pa

Resumen. La envolvente térmica de una edificación es la interface entre el ambiente exterior y los espacios habitables de su interior, y se considera uno de los aspectos más críticos para la gestión eficiente de la energía de calefacción, refrigeración e iluminación. En este artículo se presenta una revisión sobre distintos enfoques basados en estrategias biomiméticas, que pueden ser aplicados al diseño y construcción de envolventes térmicas autoajustables. Las estrategias de adaptación conductuales, morfológicas y fisiológicas, que tienen los organismos en la naturaleza, sirven de inspiración a la humanidad para lograr grandes avances como el diseño de estructuras inteligentes para edificaciones y la creación de materiales bioinspirados.

Palabras clave. Biomimética, edificaciones, envolvente, térmico, tropical.

Abstract. A building thermal envelope is the interface between the outdoor environment and the occupied spaces of its interior and is considered one of the most critical aspects to accomplish energy efficiency. This paper presents a research review on different approaches based on biomimetic strategies, which can be applied to the design and construction of self-adjusting thermal envelopes. The behavioral, morphological, and physiological adaptation strategies that organisms have in nature, serve as an inspiration to humanity to achieve great advances such as the design of smart building structures and the creation of bio-inspired materials.

Keywords. Biomimicry, buildings, envelope, thermal, tropical.

1. Introducción

Con el aumento de la población humana y la urbanización, se ha dado un aumento exponencial en el consumo de energía en las edificaciones. El derroche de los recursos naturales, y el aumento de los gases de invernadero hacen que se busquen alternativas que no resulten perjudiciales para el ambiente. Es aquí donde se recurre a la biomimética, como el futuro de sustentabilidad. La biomimética se ha propuesto como un medio para fusionar el medio ambiente en el diseño proyectos y así poder alcanzar principios de sostenibilidad e innovación. La biomimética, como se le conoce en la práctica, es un método por medio del cual los diseñadores e ingenieros hacen investigaciones biológicas con el propósito de determinar cómo los organismos resuelven problemas complejos. En otras palabras, usan la información del desarrollo obtenido a través de millones de años de evolución para obtener un diseño [1].

Desde el inicio de la humanidad, los seres humanos se han inspirado por la naturaleza. Ya sea de manera consciente o inconsciente. La biomimética se remonta en el renacimiento italiano, donde Leonardo Da Vinci se inspiró en la anatomía y la forma de volar de los pájaros. Leonardo Da Vinci es considerado uno de los pioneros de la biomimética. Siendo la inspiración para el Da Vinci Index, el cual busca aumentar la eficiencia de las aplicaciones en la biomimética [2]. Muchas de estas innovaciones son altamente acreditadas en el área de medicina, sensores, sistemas de alarmas, agricultura, arquitectura y construcción de edificaciones. Siendo la última nuestro enfoque principal en este documento.

Algunos autores afirman que el biomimetismo promete una mejora en el entorno condiciones en los edificios. La tecnología de la construcción ha experimentado un dramático desarrollo en el uso de materiales bio-inspirados. Ya sea al imitar la estructura, los aspectos de comportamiento,

funcionales o morfológicos de los organismos naturales; se puede conducir a numerosos tipos de materiales bio-inspirados. Todos introduciendo nuevos métodos para estructuras diseño, aislamiento térmico, impermeabilización, etc. [3].

Una rama de la biomimética se enfoca en encontrar la forma en que los organismos han sobrevivido. A partir de estos, el biomimetismo promete lecciones aprendidas sobre eficiencia energética que se puede aplicar a los edificios. Algunas de estas lecciones sugieren materiales con alto rendimiento térmico. Por ejemplo, las fachadas de los edificios juegan un papel importante papel en el intercambio y almacenamiento de energía como un filtro que modera los flujos de energía entre el entorno interno y externo. Se han observado grandes mejoras en el rendimiento térmico de los edificios al imitar a la naturaleza y considerando las fachadas de los edificios como como las pieles de los organismos vivos. Aunque las tecnologías de fachada convencionales han cumplido parcialmente el intercambio de energía, el enfoque de la biomimética contemporánea ha abierto nuevas vías para la creación de materiales innovadores que contribuyan eficazmente al confort térmico. Asimismo, materiales convencionales como el hormigón y el vidrio están siendo reemplazados por materiales bio-inspirados. Patrones naturales como las configuraciones estructurales de nido de abeja y pompas de jabón recientemente han inspirado la creación de membranas de construcción descritas por Peters como "innovadoras membranas textiles" [4].

La envolvente, es uno de los aspectos más críticos para la gestión eficiente de la energía de calefacción, refrigeración e iluminación en los edificios. Un sistema de fachada es una barrera y un intercambiador (simultáneamente) de temperatura, luz y aire entre el ambiente interior del edificio y el ambiente exterior [5]. Por lo tanto, el diseño y el funcionamiento adecuados de la fachada pueden ahorrar una cantidad considerable de energía.

En términos de climas tropicales, aclimatar las edificaciones ha sido el desafío para la arquitectura en términos de comodidad térmica. Reducir el efecto de las altas temperaturas externas representa un factor importante que afecta directamente a la eficiencia energética del edificio. Actualmente, la estrategia más empleada para abordar este amplio rango de temperatura del clima son los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado), se necesita mucha energía en estos lugares para confort térmico interior. Hay muchos estudios que se centran en el sistema HVAC de alta tecnología o eficiencia para ahorrar energía. Sin embargo, consideramos que el punto fundamental corresponde a estrategias que abordan la orientación, los materiales y otros diseños, en lugar de un tratamiento externo como el Sistema HVAC. Actualmente, existe un patrón de rascacielos de vidrio en los trópicos,

desiertos y otros climas, para los cuales estos diseños no son sostenibles. Estas edificaciones contribuyen a la degradación global (promoviendo el cambio climático) y local (cultural) ambiental. Los edificios deben ser diseñados e inspirados por el lugar.

Es por esto, que en este documento nos enfocaremos en presentar alternativas inspiradas en la naturaleza para aumentar la eficiencia energética en las edificaciones ubicadas en climas tropicales. Resultando en un sistema de una envolvente autoajustable, que disminuya el gasto energético y a la vez garantice confort térmico. Para poder cumplir esta meta, el artículo revisa literatura relacionada a diseños enfocados en la biomimética, específicamente en el área de arquitectura y fachadas interactivas.

2. Materiales y métodos

Al momento de realizar la búsqueda, esta se enfocó en las bases de datos de Google Scholar, ResearchGate y Minerva Access. La búsqueda se basó en palabras clave. Se buscaron palabras clave en el texto completo. En cada base de datos, los términos se hicieron consistentes para enfocar el proceso de búsqueda en el alcance de la investigación. Las bases de datos se escanearon tres veces con cinco conjuntos diferentes de palabras clave:

- Bioinspired AND dynamic envelope: De esta búsqueda surgieron 8840 resultados. Por lo tanto, se procedió a anexar una restricción de tiempo (2016-2021). Obteniendo 5370 resultados.
- Bioinspired AND dynamic envelope AND buildings: 2850 resultados.
- Bioinspired AND dynamic envelope AND buildings AND tropics: 291 resultados. De estos 291 resultados se seleccionaron 50 cuyos títulos estuvieran lo más relacionado a nuestro tema principal. Al leer los resúmenes se redujo a 20 artículos los cuales consideramos relevantes.

Adicionalmente, se aplicó el método de perla. El cultivo de perlas es una técnica que se utiliza para garantizar que se incluyan todos los artículos relevantes. El cultivo de perlas implica identificar un artículo principal que cumpla con los criterios de inclusión para la revisión. A partir de este artículo principal, el investigador trabaja hacia atrás para encontrar todos los artículos citados en la bibliografía y verifica su elegibilidad para su inclusión en la revisión. El investigador luego trabaja hacia adelante para buscar cualquier artículo que haya citado el artículo principal. Con la ayuda de este método se garantiza una mayor profundidad de búsqueda con respecto a artículos verdaderamente relevantes a la investigación.

3. Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación son presentados por medio de un resumen de cada uno de los artículos seleccionados de acuerdo a los parámetros escogidos. Además, se presenta la figura 1 como resumen.

3.1 Materiales activos para envolventes arquitectónicas adaptativas basadas en los principios de adaptación de plantas

- Bioinspiración:

Esta investigación se enfoca en las plantas y su capacidad de adaptación al medio en que se encuentran. Específicamente estudia la estoma, célula que se localiza en la epidermis de las hojas y cuyas funciones incluyen controlar el intercambio de gases en procesos como la respiración y fotosíntesis, y liberar el exceso de agua de la planta en forma de vapor de agua [6].

- Tecnologías

Encontrar un material que pueda adaptarse en tiempo real a las condiciones ambientales (doblándose, encogiéndose o expandiéndose), como lo hacen las estomas, representaría una manera de reducir el consumo energético.

- Nivel 1 de biomimesis

Comportamiento. La estoma responde a estímulos de su alrededor como la luz, temperatura, humedad y el decremento en la concentración de dióxido de carbono. Por ello, se considera que su movimiento es ejemplo de un mecanismo dinámico aplicable a envolventes térmicas de edificaciones, y se busca crear un sistema que cambie su tamaño y forma adaptándose a las condiciones ambientales cambiantes de su alrededor.

- Nivel 2 de biomimesis

Material. Por medio de materiales activos o inteligentes se podría crear una envolvente térmica que responda a los cambios de manera automática, simulando el comportamiento de las estomas. Algunos de los materiales identificados durante este proyecto fueron: hidrogel, que se expande ante cambios en la humedad; aleaciones con memoria de forma, capaces de deformarse y volver a su forma original tras ser sometirse a cambios de temperaturas, y polímeros absorbentes de CO₂.

- Escala

Micro. Se estudia a fondo el comportamiento de estas células de las plantas, así como las propiedades de aquellos materiales activos que responden a cambios en las condiciones exteriores. Se sugiere, además, realizar experimentos controlados en laboratorios, para estudiar con más detalle las respuestas de los materiales propuestos (madera, hidrogel, aleaciones).

3.2 Enfoques biomiméticos para el diseño de envolventes para la adaptación ambiental

- Bio-inspiración:

Se expone cómo la adaptación morfológica, de animales y plantas, puede ser utilizada para el diseño de envolventes dinámicas. Estudiar esta estrategia de adaptación permite establecer relaciones directas entre cómo la forma, tamaño o patrón de un organismo puede ayudarlo a ajustarse al ambiente en el que vive, y extrapolarlo al diseño de una envolvente dinámica.

Referencias	Bio-inspiración			Nivel 1 Biomimética			Nivel 2 Biomimética			Escala	
	Animales	Plantas	Forma, patrón, otros	Organismo	Comportamiento	Ecosistema	Forma	Material	Proceso	Micro	Macro
[8]		✓			✓			✓		✓	
[9]	✓	✓		✓			✓		✓		✓
[10]		✓		✓	✓		✓				✓
[11]	✓			✓			✓				✓
[12]	✓			✓			✓			✓	
[13]		✓		✓			✓			✓	

Figura 1. Resumen de las estrategias biomiméticas encontradas en los diversos artículos analizados. Fuente: Elaboración propia.

- Tecnologías

Como la envolvente basada en estrategias biomiméticas deberá ser capaz de responder simultáneamente a más de un cambio ambiental, se recomienda enfocarse en organismos con capacidad de respuesta multifuncional como son las termitas, que disipan el calor mediante convección natural y hacen circular el aire. Aplicando este tipo de estrategias podría mejorarse tanto la eficiencia energética como la ventilación de una edificación [7].

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo. Como se propone basar el diseño de una envolvente dinámica en la estrategia de adaptación morfológica, se mencionan ciertos organismos específicos junto a las características que los han hecho capaces de sobrevivir bajo las condiciones climáticas en las que se encuentran sometidos.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma y proceso. La morfología es la rama de la Biología que estudia la estructura de los organismos, por ende, la forma y cómo esta ayuda a los organismos a adaptarse puede servir de inspiración para diseñar envolventes inteligentes.

- Escala

Macro. En este documento se presenta el enfoque biomimético dirigido al diseño de envolventes de edificaciones basado en las tres estrategias de adaptación más comunes en la naturaleza: adaptación fisiológica, morfológica y conductuales [8].

Por otro lado, en este proyecto se hace énfasis en la importancia de estudiar los procesos que llevan a cabo los organismos para responder a los cambios que ocurren en su entorno. Por ejemplo, se habla de cómo los tucanes emiten radiación para disipar el calor de sus cuerpos [9].

3.3 Envoltura adaptativa para edificaciones en clima cálido, inspirada en biomímesis

- Bioinspiración

Las plantas representan uno de los principales actores del biomimetismo aprendido en el diseño arquitectónico, y la reacción de estas a los cambios de su entorno es la base del estudio de los envolventes adaptativos. Teniendo en cuenta cómo responden ante diferentes estímulos como el cambio en la temperatura en un lugar en específico o el nivel de humedad, pueden crearse estrategias aplicables a los envolventes de edificios.

Se presenta el caso de la flor de mangle, las cuales tienen hojas pequeñas y una espina dorsal que reduce la superficie expuesta a la luz solar directa y aísla a las plantas de la ganancia de calor, a la vez que permite que el aire fresco y la luz del sol pasen entre ellas sin calor, todo esto mediante un

estímulo provocado por el entorno que las rodea. Por eso se estudia el patrón, distintos parámetros y los algoritmos de esta para conocer su movimiento al realizar dicha función, además de la geometría que influye de igual manera.

También se analiza cómo los cactus se mantienen frescos gracias a sus costillas, que proporcionan sombra y mejoran la radiación térmica. El sistema de sombreado inspira su geometría en los cactus con costillas de refrigeración. Estas costillas dan sombra a la superficie contra el sol abrasador y, al mismo tiempo, mejoran la radiación térmica, además de que le sirven a la planta para hincharse de agua cuando cae la lluvia sin que los tejidos se rompan. Por lo que su geometría es muy interesante para el análisis de posibles estructuras de envolventes en edificios.

Otro fenómeno para observar es el de la planta *Morning Glory* que se cierra y se abre ante la presencia o ausencia del sol por lo que se le podría llamar como un sistema de sombreado la cual sus pétalos o envoltura giran para cambiar su forma y protegerse de la intensa radiación solar directa durante el día, abriéndose por la mañana y cerrándose por la tarde [10].

- Tecnologías

Ya viendo estas especies de plantas, se puede considerar para tecnologías que se asocien a la ventilación pasiva y a la acumulación del agua como por ejemplo el cactus, debido a que su comportamiento se basaba en el confort de la planta reduciendo la radiación solar. Aplicando la biomímesis, esta se centraría en el comportamiento de las plantas y sus movimientos ante ciertos estímulos los cuales aportan diversos beneficios ante ciertas circunstancias.

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo y comportamiento. Los ejemplos mencionados en este artículo se centran en el mismo organismo y su comportamiento, ya que estas características pueden ser estudiadas y aplicadas para los envolventes sin tomar en cuenta el ecosistema en que se ubican.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma. Estas especies y muchas otras presentan formas las cuales les permite realizar distintas labores como de ventilación, colector de agua, más que todo refiriéndose a su geometría. Se toma con mucha importancia la geometría ya que también influye en la radiación solar que reciben las plantas, dependiendo de sus geometrías, estas recibirán menos o más radiación.

- Escala

Macro. Teniendo en cuenta la bioinspiración, la escala solo se basa específicamente en el comportamiento de las distintas plantas ya que, estas realizan distintos movimientos que reducen ciertas variables como la radiación y

ventilación. Además de fijarse en la geometría que aporta grandes beneficios.

3.4 Soluciones biomiméticas para diseñar envolventes multifuncionales

- Bioinspiración

Las termitas procedentes del sur de África son muy interesantes debido al tipo de infraestructura que realizan para el nido de su colonia. Confeccionan un montículo que beneficia su base de alimentación, que incluye ciertos hongos que requieren cierto grado de humedad alcanzado por esta infraestructura. Además, allí se dan intercambios de O_2 y CO_2 , vitales para las termitas y los hongos mencionados.

Las termitas realizan ductos internos que irán en la parte inferior del montículo, captarán el aire frío y ajustando el diámetro de dichos ductos regularán el flujo del aire con la finalidad de obtener oxígeno, expulsar dióxido de carbono y controlar la humedad. Luego ese aire es transportado al espacio donde entra en contacto con las larvas y los hongos, aumentando los niveles de CO_2 . Por último, el aire es evacuado por la parte superior del montículo el cual vendría siendo la chimenea. La chimenea ayuda a las termitas a controlar la humedad y sacan el excedente de agua del montículo mediante la evaporación (dependiendo de la estación, habrá más o menos excedente de agua) [11].

Una de las infraestructuras que utilizan la biomimesis con respecto a las termitas es el centro comercial de Zimbabue llamado Eastgate Centre. Este centro comercial utiliza el proceso de ventilación y refrigeración de los montículos creados por las termitas; donde el aire se recoge en la parte inferior del edificio y se conduce a través de las oficinas y locales. En contacto con los usuarios, el aire se calienta $1,5^\circ C$ cada día, lo que provoca un movimiento ascendente. El aire luego se extrae de forma natural a través de las chimeneas de la azotea. En cuanto la estructura del edificio, esta es conformada por ladrillo y granito los cuales son materiales comunes de Zimbabue, estos materiales permiten utilizar la capacidad térmica para amortiguar las excursiones de temperatura a lo largo del día.

- Tecnologías

En cuenta el uso del modelo de las termitas, la ventilación pasiva sería una tecnología asociada al modelo debido a los bruscos cambios de temperatura del país, acompañado con el uso de materiales adecuados para los envolventes los cuales permitan una eficaz ventilación interna.

- Nivel 1 de biomimesis

Organismo y ecosistema. Este se centra en el mismo organismo y el ecosistema ya que dicha estructura depende de lo que tenga el organismo a su alrededor (materiales, clima,

etc.) para llevarla a cabo y obtener los beneficios correspondientes.

- Nivel 2 de biomimesis

Forma. Se toma la forma ya que el organismo construye dicha estructura de forma específica para obtener un intercambio de gases de manera exitosa, por lo que la misma no está hecha de forma aleatoria simplemente porque el organismo lo quiere así, sino para buscar mayor eficiencia.

- Escala

Macro. Solo se observa el comportamiento de las termitas para confeccionar un espacio que recoja las características necesarias para obtener beneficios como el intercambio de gases y un nivel de humedad específico para su colonia y alimento.

3.5 Primeros pasos para diseñar ideas biomiméticas

- Bioinspiración

Animal, las ofiuras, las cuales son una clase de estrellas de mar.

- Tecnologías

Aplicables a eficiencia energética. Imitando su nanoestructura, se busca crear un sistema de fachada que cambia de color y a la vez absorbe o refleja la energía solar a partir de un flujo que cubre o revela lentes. Otro estudio señala la posibilidad de crear un sistema de fachada con lentes para obtener más energía solar y almacenarla usando PCM, siguiendo los principios de la estructura de la estrella de mar: la capacidad del sistema óptico natural para optimizar la transmisión a través de las lentes y combinarla con el flujo para almacenar energía [12].

- Nivel 1 de biomimesis

Organismo. Se ha elegido el ejemplo de las propiedades de la superficie de las estrellas frágiles para futuras investigaciones: tiene propiedades que cambian de color en la escala de tiempo diaria: durante el día está oscuro, durante la noche cambia a blanco.

- Nivel 2 de biomimesis

Forma. Tienen la capacidad de alterar el color del material de acuerdo con las condiciones externas, cambiando así su propiedad, cambiaría o incluso aumentaría su rendimiento energético: la capacidad de absorber energía.

- Escala

Micro. La superficie de la estrella de mar está cubierta de protuberancias que funcionan como lentes y están dispuestas en una fina disposición. Las lentes capturan la energía en el punto focal, pero los agujeros en los valles después de recibir la señal neural liberan un pigmento que recubre la estrella quebradiza, volviéndola negra [12].

3.6 La Flor de Loto: Soluciones biomiméticas en el entorno construido

- Bioinspiración

La problemática expuesta consiste en la suciedad de la fachada de un edificio, la cual se vuelve cada vez más visible con el tiempo. En los lados expuestos a la intemperie en particular, los microorganismos encuentran un ambiente ideal para colonizar debido al exceso de humedad y nutrientes de los depósitos de suciedad. Los propietarios de edificios a menudo tienen que usar productos químicos agresivos para eliminar la suciedad y los microbios, y pueden volver a pintar el edificio varias veces, lo que produce desechos innecesarios. Como en otros casos, se recurre a la naturaleza para encontrar una solución, en este caso particular nos enfocamos en la planta, la flor de loto.

- Tecnologías

Enfocado en eficiencia energética. La flor de loto posee una superficie superhidrofóbica. La cual permite que las partículas de agua se resbalen, esta flor prácticamente no se moja. Esto se debe a la superficie de la hoja, la cual tiene pequeñas ondulaciones, con las cuales el ángulo de contacto aumenta, por puro efecto de la geometría, creando una alta tensión superficial. Cabe mencionar que para ser considerado un estado superhidrofóbico, el ángulo de contacto debe ser mayor a 137°.

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo. La flor de loto, la cual desde la antigüedad es representativo de pureza. Las grandes hojas en forma de abanico de la planta de loto permanecen secas y prístinas a pesar de los estanques y lagos fangosos que la planta llama hogar. Observando estas características, se explora la posibilidad de imitar su comportamiento e inspirarnos en sus propiedades para solucionar nuestra problemática.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma. Al estudiar el mecanismo de autolimpieza de las plantas de loto, se han desarrollado los acabados de superficie inspirados en sus características. Estos se han aplicado a pinturas, vidrio, textiles y más, lo que reduce la necesidad de detergentes químicos y mano de obra costosa. Además, se espera poder aplicar el efecto loto para diseñar paneles solares autolimpiables, ya que tanto el polvo como la suciedad es la principal causa de la pérdida de rendimiento en dichos paneles. De esta forma se podría alargar la vida útil y aumentar la eficiencia.

- Escala

Micro. El secreto de la asombrosa superhidrofobicidad de las plantas de loto se debe a la micro y nanoestructura de las hojas. La superficie de la hoja está cubierta de papila, que son pequeñas protuberancias o crestas de aproximadamente 10-20

micrones de altura y 10-15 micrones de ancho. Estas papilas también están cubiertas por una fina capa de cera. Cuando el agua entra en contacto con estas protuberancias cubiertas de cera, forma gotas y muestra algo llamado efecto de loto [13].

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó una revisión sobre distintos enfoques basados en estrategias biomiméticas, que pueden ser aplicados al diseño y construcción de envolventes térmicas autoajustables, sirviendo como referencia al mejoramiento de las edificaciones en países con un clima tropical como Panamá.

Las ventajas que ofrece la biomimética en cuanto a la construcción de envolventes para las edificaciones tenemos:

- Buena ventilación y refrigeración.
- Moderada iluminación y radiación.
- Almacenamiento térmico que permite un adecuado flujo interno del aire en el espacio.
- Reducción de la humedad.
- Ahorro de energía ligada a una mejor eficiencia.

Pero no todo son ventajas ya que los envolventes al ser bioinspiraciones, no es muy fácil adaptar el comportamiento de las plantas o animales; al ser casos muy puntuales, los métodos de construcción y diseño son más específicos lo cual agrega un grado de dificultad en la creación de estos envolventes; además que se necesitan materiales adecuados para un correcto funcionamiento, lo que implica más costos al no usar los materiales convencionales.

Se recomienda que el campo de la biomimética sea más estudiado ya que este, mediante la inspiración de los seres vivos y cómo se comportan ante ciertos estímulos o para buscar su beneficio, nos proporciona métodos mucho más eficientes y que a largo plazo no representen un derroche de dinero y sobre todo de energía.

Este tema tiene un gran impacto en la comunidad científica ya que hay veces donde se trata de buscar soluciones para distintos problemas, y esas soluciones muchas de las veces no son las más adecuadas, se pierde tiempo, recursos y energía, pero no nos damos cuenta que las soluciones las tenemos justo al frente, el uso de la biomimética proporciona un sin número de soluciones basándose en el estudio de los seres vivos, su comportamiento, sus formas, el ambiente que los rodea, por lo que es muy beneficioso relacionar las diferentes propuestas científicas a el campo de la biomimética.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá por su colaboración. Esta investigación fue financiada por la Institución Panameña

Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) <https://www.senacyt.gob.pa/>, bajo el proyecto con código FID18-056 y del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] El-Zeiny, R.M.A. Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2012, 50, 502–512.
- [2] MIMS, C. Da Vinci would approve: New index tracks the growth of innovation in biomimicry. *Corp. Kn.* 2012, 11, 36.
- [3] Imani, M. & Donn, Michael & Balador, Zahra. (2019). Bio-inspired materials: Contribution of biology to energy efficiency of buildings. 10.1007/978-3-319-68255-6_136.
- [4] Peters S (2011) In: ProQuest (ed) *Material revolution: sustainable multi-purpose materials for design and architecture*. Springer, Basel/London
- [5] Dac Khuong Bui. (2020). Improving building energy efficiency: biomimetic adaptive façade and computational data-driven approach
- [6] Lopez, Marlen & Croxford, Ben & Rubio, Ramón & Martín, Santiago & Jackson, Richard. (2015). Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. *Journal of Facade Design and Engineering*. 3. 10.3233/FDE-150026.
- [7] Korb, J.; Linsenmair, K.E. The architecture of termite mounds: A result of a trade-off between thermoregulation and gas exchange. *Behav. Ecol.* 1999, 10, 312–316.
- [8] Badarnah, Lidia. (2017). Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation. *Buildings*. 7. 10.3390/buildings7020040.
- [9] Tattersall, G.J.; Andrade, D.V.; Abe, A.S. Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator. *Science* 2009, 325, 468–470.
- [10] Sahar Mohamed Abd El-Rahman, Sobhy Ibrahim Esmail, Husam Bakr Khalil, Zeinab El-Razaz. "Biomimicry inspired Adaptive Building Envelope in hot climate". *Zeinb El-Razaz/Engineering Research Journal* 166 (June, 2020) A1-A 17.
- [11] Cruz, Estelle & Raskin, Kalina & Aujard, Fabienne. (2017). Biomimetic solutions to design multi-functional envelopes.
- [12] First Steps to Develop Biomimicry Ideas. Available from: https://www.researchgate.net/publication/282556031_First_Steps_to_Develop_Biomimicry_Ideas [accessed May 19 2021].
- [13] Y. Nanaa, H. Taleb. (2015). The Lotus Flower: Biomimicry Solutions In The Built Environment. ISSN 1743-3541.