DOSSIER

PRINCIPIOS BIOMIMÉTICOS EN EL DISEÑO DE ENVOLVENTES ADAPTATIVAS. METODOLOGÍA DE DISEÑO.

BECA DE INVESTIGACIÓN EN NUEVA YORK.

FUNDACIÓN ARQUIA
REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE SAN FERNANDO

MARIO FERNÁNDEZ CADENAS · MAYO 2016

INDICE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. OBJETO Y ÁMBITO DE ESTUDIO 2

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL..... 3

I. Relevancia.....3

II. Hipótesis de trabajo.....7

OBJETIVOS..... 8

III. Objetivo general 8

IV. Objetivos específicos.....8

METODOLOGÍA 8

GRADO DE INNOVACIÓN E IMPACTO..... 10

RESEÑA BIBLIOGRÁFICA..... 10

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. OBJETO Y ÁMBITO DE ESTUDIO

El proyecto de investigación para el que se solicita la beca está centrado en el **desarrollo de envolventes arquitectónicas adaptativas utilizando criterios biomiméticos**.

Las envolventes adaptativas son un campo de investigación en crecimiento, por las perspectivas futuras de desarrollo y los beneficios potenciales que tienen, tanto en relación con el ahorro de energía y la reducción de emisiones de CO_2, como por su potencial arquitectónico y su capacidad de adaptación a usos y requisitos cada vez más cambiantes de la sociedad. La aplicación de biomimetismo como fuente de inspiración permite desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles, dado el comportamiento naturalmente adaptativo de los organismos naturales. Más adelante se explica en mayor profundad la relevancia y marco teórico de la investigación.

La **Universidad de Columbia** es un centro académico y de investigación puntero en este ámbito, principalmente a través del **EARTH INSTITUTE**, centro dedicado al desarrollo e implementación de soluciones sostenibles en diversos campos, y con el biomimetismo o *biomimicry* como uno de sus temas principales de investigación.

El proyecto de investigación forma parte del conjunto de investigaciones que se llevan a cabo dentro del **Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid**, en consonancia con las líneas de investigación del departamento, y se pretende desarrollar en forma de tesis doctoral. En primer lugar, el proyecto de investigación pretende impulsar el **desarrollo de nuevas técnicas y soluciones constructivas**, así como la aplicación de materiales inteligentes –*smart materials*- en el ámbito de la construcción, lo que se encuadra dentro de la línea de investigación "Sistemas constructivos y materiales para la edificación". Por otra parte, el proyecto de investigación pretende facilitar **la gestión eficaz de recursos y energía mediante el desarrollo de soluciones más sostenibles, resilientes, adaptativas y eficientes**. Este aspecto del proyecto se encuadra en la línea "Diseño bioclimático, gestión de recursos y energía y eficiencia energética en la edificación".

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

I. Relevancia

En el contexto actual de cambio climático, inseguridad de abastecimiento y encarecimiento de fuentes de energía tradicionales y crisis económica, se ha vuelto imperiosa la necesidad de reducir el consumo energético y de buscar alternativas en cuanto a su generación. Así lo plantean los diferentes protocolos internacionales y las políticas y directivas de la Unión Europea.

En este escenario, el sector de la edificación juega un papel fundamental, pues se estima que los edificios son responsables del 40% del consumo energético en la Unión Europea. Además, el conjunto "ahorro y eficiencia energética" no sólo ha sido identificado como la estrategia con mayor impacto a la hora de combatir el cambio climático[1], sino que además, es la medida que mayor impacto potencial tiene a un coste asequible.

Dentro de los edificios, el papel protagonista en el intercambio de energía y de otros flujos con el entorno, y en la regulación higrotérmica del ambiente le corresponde a la envolvente, y por tanto, es ella la que en mayor medida puede contribuir a los objetivos de reducción de emisiones y de consumo de energía.

Así se plantea la búsqueda de soluciones que permitan mejorar el desempeño energético de las envolventes, reducir el consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero, y una mayor eficiencia en el uso de materiales, mediante el uso de envolventes adaptativas.

Las envolventes adaptativas al clima, conocidas como CABS, “climate adaptative building skins”, son aquellas que tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones del entorno, de forma que se pueda sacar el mayor provecho posible de las condiciones variables del clima, en cuanto a demanda energética, condiciones térmicas, iluminación, confort visual o calidad de aire.

Se pueden definir como[2]:

[1] Naciones Unidas, 2007. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. IPCC Informe de Síntesis 2007. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.

[2] Loonen, R., Trcka, M., Cóstola, D. & Hensen, J. (2013). Climate adaptive building shells: state-of-the-art and future challenges. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 25, 483-493.

A climate adaptive building shell has the ability to repeatedly and reversibly change some of its functions, features or behavior over time in response to changing performance requirements and variable boundary conditions, and does this with the aim of improving overall building performance.

De acuerdo con el proyecto FACET, "ideally adaptive building shells have the potential to practically eliminate the heat demand and to reduce the total heating and cooling demand by a factor 10; this is even a factor 2–3 lower compared to the very energy efficient passive house technology"[3].

En los últimos años, este tipo de envolventes ha despertado un interés creciente, tanto a nivel de investigación teórica como en el diseño de modelos y la elaboración de prototipos, debido a los beneficios que, de forma implícita o explícita, se espera de ellas, entre los que cabe citar:

- Mejora de la calidad ambiental: térmica, sonora, visual y de calidad de aire, que se traduce en una **mejora de la salud y de la productividad en el trabajo**[4].
- La integración de elementos y sistemas con comportamiento adaptativo con el resto de sistemas energéticos del edificio puede **mejorar sustancialmente el desempeño energético** del mismo. En general, se espera un menor consumo energético y, por tanto, económico, así como una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Capacidad para usar fuentes energéticas de baja exergía, lo que facilita el **uso de energías renovables y de poco valor**.
- Potencial para integrar **principios de diseño arquitectónicos avanzados** con conceptos de eficiencia energética.
- Desarrollo de **nuevas tecnologías que combinen múltiples funciones en un mismo elemento** del edificio.
- **Mayor eficiencia en el uso de materiales**.
- Capacidad para **adaptarse de forma individualizada a cada usuario o grupo de usuarios, a funciones y patrones de uso diferentes o a condiciones climáticas variables**. Esta capacidad

[3] Loonen, R., Trcka, M. & Hensen, J. (2011). Exploring the potential of climate adaptive building shells. Proceedings of the 12th Int. IBPSA Conference, Sydney, 14-16 November, Int. Building Performance Simulation Association, pp. 2148-2155.

[4] Heerwagen, J. (2000). Green buildings, organizational success and occupant productivity. Building Research & Information, 28(5-6), 353-367.
Haynes, B. (2008). The impact of office comfort on productivity. Journal of Facilities Management, 6(1), 37-51.

de adaptación es fundamental en una sociedad dinámica, con usos edificatorios cada vez más complejos y cambiantes, y en un contexto de incertidumbre ante el cambio climático.

Sin embargo, a pesar de los beneficios que promete el desarrollo de este tipo de envolventes, hasta ahora su utilización ha sido limitada, quedando confinada principalmente a proyectos experimentales, o bien en edificios de alto presupuesto. Su desarrollo ha sido fragmentado, bien conducido por avances en la ciencia de materiales o bien a golpe de ideas creativas por diferentes equipos de diseño, pero falta un enfoque sistemático que permita hacer avanzar su utilización. La utilización generalizada de este tipo de sistemas todavía no ha sido posible, por las limitaciones que encuentra en su desarrollo, bien en cuanto al proceso de diseño, bien en cuanto al desarrollo de nuevos materiales y tecnologías o bien en relación al elevado coste inicial de estos sistemas.

El comportamiento adaptativo de estas envolventes remite de forma directa al comportamiento igualmente adaptativo de organismos y sistemas naturales: la observación y el aprendizaje a partir de patrones de comportamiento de los organismos vivos ofrecen una oportunidad para mejorar las estrategias de adaptación al clima de las envolventes de los edificios. En efecto, los organismos vivos han desarrollado a través de su evolución diversas estrategias para adaptarse a los diferentes aspectos climáticos y las variables condiciones ambientales. La investigación y el análisis de estas estrategias y de sus principios dominantes es un paso previo esencial a la transferencia de estas estrategias al diseño de envolventes adaptativas. El hecho de que la naturaleza proporcione una gran fuente de estrategias de adaptación requiere una metodología de diseño selectivo que se ajuste a los requerimientos de las envolventes adaptativas[5].

Se trata de aprovechar el caudal de conocimiento que la evolución ofrece, que se ha ocurrido a lo largo de millones de años. Para cada problema, hay una solución que la naturaleza ha previsto, y de forma más eficiente y sostenible que cualquier proceso industrial: producir energía, recolectar agua o fabricar materiales de forma sostenible. De

[5] Badarnah, L. (2012). Towards the living envelope: Biomimetics for building envelope adaptation. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

esta forma, la naturaleza pasa a tener la consideración de recurso que utilizar a algo vivo de lo que aprender.

Biomimetismo, biomimética o biomímesis, deriva de las palabras griegas bio, vida, y mimesis, imitar. Es un campo de estudio que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración para resolver problemas que la naturaleza ya ha resuelto.

Como definición del término, tomaré en primer lugar, la de Janine Benyus[6], más poética:

> *The conscious emulation of life's genius.*

Y en segundo lugar, más funcional, la de Michael Pawlyn[7]:

> *Mimicking the functional basis of biological forms, processes and systems to produce sustainable solutions.*

No se trata, por tanto, de imitar a la naturaleza de forma ciega, sino, en palabras de Buckminster Fuller[8]:

> *We do not seek to imitate nature, but rather to find the principles she uses.*

Otro factor para la incorporación de la biomímesis en el diseño de envolventes es su papel como motor de innovación en arquitectura[9]:

> *Biomimetics in architecture is a discipline to gain innovation in architecture by using natural role models, and the comparison between animate nature and built environment creates new insights.*

El uso de biomímesis abre toda una serie de campos de aplicación relacionados con la arquitectura, no sólo el diseño de envolventes, como pueden ser el diseño de entornos inspirados en el funcionamiento de los ecosistemas naturales, nuevos métodos de fabricación de materiales, sistemas estructurales, así como nuevas soluciones a problemas ya existentes basadas en modelos

[6] Benyus, J. (1997). Biomimicry: Innovation inspired by nature. William Morrow, New York.

[7] Pawlyn, M. (2011). Biomimicry in architecture. RIBA Publishing, London.

[8] Buckminster Fuller, citado en Berkebile, B. & McLennan, J. (2004). The living building: biomimicry in architecture, integrating technology with nature. BioInspire, 18.

[9] Gruber, P. (2011). Biomimetics in architecture [Architekturbionik]. Biomimetics: materials, structures and processes (pp. 127-148). Springer Berlin Heidelberg.

biológicos, además de mejorar la relación de los espacios construidos con el medio ambiente y, en general, con los seres vivos.

Además, la aplicación del biomimetismo como método de diseño y de solución de problemas permite ampliar el abanico de soluciones y seleccionar las mejores, al aprovechar el caudal de conocimiento evolutivo que la naturaleza ha acumulado a lo largo de millones de años.

Sin embargo, la aplicación de biomimetismo como generador de soluciones en las envolventes adaptativas o, de forma más general, en arquitectura, es un camino que no ha sido explorado sistemáticamente, y que cuenta tan sólo con algunos logros puntuales debido a distintos factores, como la ausencia de métodos de diseño sistemático para la selección de estrategias adaptativas, la dificultad de gestionar requerimientos de diseño diferentes o contradictorios, de representar el conocimiento biológico para que pueda ser utilizado en el diseño arquitectónico y de abstraer principios de diseño, la limitada disponibilidad de herramientas de modelización y simulación, en general orientadas a situaciones estáticas, así como el reto de seleccionar y/o desarrollar los materiales y tecnologías necesarias.

Aunque existen estrategias de diseño biomimético, la creación de un proceso de diseño válido es todavía un reto por resolver[10]:

> *Although several biomimetic design strategies are currently available, the generation of a successful design concept is still challenging.*

II. Hipótesis de trabajo

La hipótesis que explora este proyecto e investigación es que es posible sistematizar la aplicación de estrategias naturales de adaptación en el diseño de envolventes adaptativas, de forma que:

- Mejore el comportamiento adaptativo de las envolventes.
- Sirva como herramienta para la búsqueda de mejores soluciones.
- Como motor de innovación en tecnología arquitectónica.

[10] Badarnah, L. (2012). Towards the living envelope: Biomimetics for building envelope adaptation. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

- Permita utilizar **principios biomiméticos** como guía que favorezcan la implementación de estrategias no sólo sostenibles, sino regenerativas.
- Favorezca la **resiliencia del comportamiento** de los edificios, de forma que pueda responder adecuadamente frente a comportamientos imprevistos.

OBJETIVOS

III. Objetivo general

- Desarrollar un **método de aplicación sistemática de principios y estrategias biomiméticos en el diseño de envolventes adaptativas al clima**.

IV. Objetivos específicos

- Caracterizar y clasificar la **base de conocimiento de estrategias adaptativas** presentes en la naturaleza.
- Desarrollar **criterios de diseño** que permitan seleccionar estrategias de adaptación e integrarlas en el proceso de diseño.
- Proponer el uso de **herramientas digitales de simulación y evaluación** del comportamiento adaptativo de las envolventes.
- Mostrar la aplicación práctica mediante el **diseño y elaboración de un prototipo** para edificios terciarios en clima mediterráneo continental.

METODOLOGÍA

Se propone una metodología de trabajo que consta de un primera fase de documentación y contacto con empresas y centros de investigación de cara al diseño y construcción de un prototipo; una fase de elaboración del marco teórico de diseño, que tendrá su correlato en la aplicación práctica del mismo mediante el diseño y construcción de un prototipo de envolvente adaptativa biomimética; y, por último, extracción de conclusiones.

1. Documentación.
    a. Búsqueda documental y revisión bibliográfica
2. Desarrollo téorico.

b. Elaboración de una base de conocimiento de estrategias adaptativas.
c. Metodología de diseño.
    i. Desarrollo de un método de selección de estrategias adaptativas.
    ii. Desarrollo de un método de abstracción y representación de principios.
    iii. Elaboración del flujo de información y proceso de diseño.
d. Evaluación.
    i. Selección, elaboración y aplicación de herramientas de simulación.
    ii. Desarrollo de un sistema de evaluación.

3. Desarrollo práctico.

e. Elaboración de un prototipo
    i. Diseño de prototipo.
    ii. Construcción del mismo.
f. Evaluación.
    i. Medición de parámetros.
    ii. Evaluación de resultados y viabilidad técnica y económica.

4. Conclusiones.

g. Extracción de conclusiones.

En cuanto al grado de desarrollo actual, se ha superado la fase de documentación, y en este momento el proyecto se centra en el desarrollo de una **metodología de diseño**, que teniendo en cuenta el uso de conceptos como "**función mapping**" y **teoría de patrones**, permita sistematizar la aplicación del campo de conocimiento de soluciones adaptativas presentes en la naturaleza al diseño de envolventes arquitectónicas, por lo que se considera pertinente desarrollar esta parte del trabajo en un **entorno académico y de investigación familiarizado con estos conceptos y que facilite su desarrollo**. De forma paralela y correlativa, se está empezando a trabajar en la elaboración de un prototipo que permita validar la viabilidad del proceso.

GRADO DE INNOVACIÓN E IMPACTO

El proyecto de investigación tiene una triple vertiente:

a) Desde el punto de vista teórico -avance de conocimiento-: elaboración de una taxonomía o **base de conocimiento de estrategias adaptativas de organismos naturales para su aplicación en el diseño de envolventes adaptativas**, que permita salvar el salto de conocimiento entre arquitectura y biología.

b) Desde el punto de vista metodológico: elaboración de una **metodología que permita incorporar de forma sistemática esa base de conocimiento en el diseño de envolventes adaptativas**, así como un protocolo de simulación y evaluación de resultados.

c) Desde un punto de vista práctico: elaboración de un **prototipo que sirva de ejemplo de aplicación, y que pueda ser punto de partida para la elaboración de diferentes prototipos e ideas que puedan ser introducidos en el mercado**, con todos los beneficios que se han comentado, en un proceso de mejora continua.

RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

Loonen, R. (2010). Climate adaptative building shells: what can we simulate? Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.

Badarnah, L. (2012). Towards the living envelope: Biomimetics for building envelope adaptation. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Benyus, J. (1997). Biomimicry: Innovation inspired by nature. William Morrow, New York.

Baumeister, D. (2012). Biomimicry resource handbook: a seed bank of knowledge and best practices. Missoula, Biomimicry 3.8, The Biomimicry Institute.

Pawlyn, M. (2011). Biomimicry in architecture. RIBA Publishing, London.

Gruber, P. (2011). Biomimetics in architecture [Architekturbionik]. Biomimetics: materials, structures and processes (pp. 127-148). Springer Berlin Heidelberg.

Madrid, mayo de 2016.



Fdo.: Mario Fernández Cadenas, arquitecto.