

Rediseño de la integración de energía en edificios a partir de Metabolismos Animales: Proyecto RiMA

J. Bermejo¹, C. Martín-Gómez¹, A. Zuazua¹, E. Baquero² y R. Miranda²

¹ Sección de Instalaciones y Energía. Escuela de Arquitectura. Universidad de Navarra. instetsaun@unav.es

² Departamento de Biología Ambiental, Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra. ebaquero@unav.es, rmiranda@unav.es

Resumen: Los edificios pueden entenderse como una clase especial de máquina que, en términos de acondicionamiento higrotérmico, se encienden y se apagan, manteniendo una temperatura estable en relación a las actividades que albergan en su interior, en una estrategia similar a la que ofrecen los animales de 'sangre caliente'.

Existen numerosas estrategias pasivas en la arquitectura que permiten un control efectivo de los condicionantes interiores de los edificios dentro de los niveles de habitabilidad humana. Del mismo modo, el mundo animal posee diversos métodos de control térmico activo como el atún con su sistema *rete mirabile*, las abejas controlando la temperatura de la colmena o el gusano de seda regulando la temperatura y controlando los gases dentro de su crisálida. El proyecto que se describe explora nuevas estrategias de diseño de los sistemas energéticos y de instalaciones de los edificios, a partir del análisis crítico de los sistemas metabólicos de los denominados animales de 'sangre fría'.

Se plantea, por tanto, una reevaluación del paradigma establecido en la metodología de concepción de los sistemas energéticos e instalaciones en los edificios, con una visión aproximativa desde otra área del saber.

Palabras clave: Integración, energía, metabolismo animal, instalaciones, acondicionamiento higrotérmico, arquitectura.

1. ORIGEN: EL PROYECTO RiMA

El Proyecto RiMA - Rediseño de la integración de energía en edificios a partir de Metabolismos Animales es un proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España, dentro del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia, busca soluciones innovadoras para la eficiencia energética desde el campo de la biología, y más concretamente, el mundo animal.

Para comprender la motivación, sólo hay que recordar cómo los distintos seres vivos han desarrollado mediante la evolución natural sus propios mecanismos de defensa y adaptación al medio. Son ampliamente conocidas estrategias como el camuflaje para evitar ser vistos o la hibernación para 'ahorrar' energía durante el invierno a través de un aletargamiento generalizado del animal.

Estas y otras medidas de adaptación han servido en multitud de ocasiones como fuente de inspiración para distintos campos del saber como la ingeniería, la medicina o la arquitectura. De hecho, existen numerosas asociaciones y grupos de investigación dedicados exclusivamente al estudio e implantación de estas estrategias, especialmente en Estados Unidos y Reino Unido tal y como se señala más adelante en este mismo texto.

Dentro de la arquitectura, destacan los estudios de Buckminster Fuller sobre su nuevo concepto de método científico: Concept Science. *"Los Ojos de Mosca utilizan una lámina fina de aluminio producido en serie, que puede ser apilada. [...] Al igual que ocurre con las salidas y poros de los sistemas orgánicos, las dimensiones y formas de estas aberturas seleccionan, cuelan y clasifican los componentes físicos que entran y salen, en el tráfico de regeneración metabólica que implica el Ojo de Mosca. Todos los poros de estos domos tienen siete pies de diámetro, y son aberturas circulares. Estas aberturas circulares sirven alternativamente como puertas, ventana y celdas para almacenar energía solar, etcétera"*. FULLER, B. (2003).

Así, en la puesta en común del mundo animal con la arquitectura, es donde surge el proyecto RiMA. Bien es cierto que un edificio, desde el punto de vista de sus instalaciones, podría ser entendido en gran medida como el cuerpo humano: unos pulmones que renuevan el aire, un aporte de ‘combustible’ que permite mantener una temperatura constante, etc. Es este el funcionamiento más habitual de los animales de ‘sangre caliente’, y el de la mayoría de nuestros edificios actuales. Sin embargo, este perfil energético no es el deseado ante la necesidad de reducir la demanda energética global, puesto que supone un alto consumo de recursos con un nivel de eficiencia muy bajo.

Por ello, desde la primera concepción del proyecto, se decidió apostar firmemente por la investigación y comprensión de los mecanismos empleados por los animales de ‘sangre fría’. Es decir, animales que toman parte de su energía del medio y usan medidas pasivas para mantener su temperatura dentro de unos márgenes que les permitan seguir realizando sus funciones vitales.

Gracias a las estrategias y modos de ‘ahorro’ aportados por estos animales, se cree que se alcanzarán estrategias alternativas para alcanzar los requerimientos necesarios para los edificios nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*).

Obviamente, estos objetivos aun siendo originales, no son novedosos, existiendo en el mundo diversos grupos de investigación que trabajan la relación arquitectura – naturaleza, bajo la definición anglosajona de *biomimicry*. BENYUS, J. (2002).; MARTÍNEZ TORRES, J. (2014). Algunos ejemplos interesantes pueden encontrarse en:

Biomimicry Institute: <http://biomimicry.org/>

Biomimicry 3.8: <http://biomimicry.net/>

AskNature: <http://www.asknature.org/>

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta el actual conocimiento existente en la edificación sobre técnicas de ahorro energético e instalaciones, se decide afrontar el proyecto con el propósito de conocer los mecanismos de regulación térmica de los animales de sangre fría y transformar esas mismas estrategias en nuevos conceptos para la optimización energética de los edificios y sus instalaciones.

Es decir, buscar una nueva forma de aproximarse al diseño e integración de las instalaciones en los edificios, pasando de un esquema de funcionamiento ‘humanista’, con un perfil de consumo alto, a un modelo ‘animal’ en el que las funciones estén optimizadas en pro de un mayor ahorro energético y un aumento en el bienestar de los usuarios.

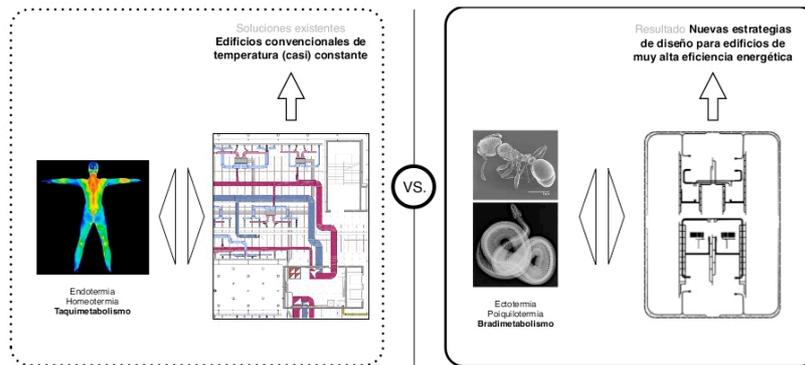


Figura 1. Resumen gráfico de los objetivos del proyecto.

La pregunta final planteada en el proyecto es ¿cabría diseñar el comportamiento energético de los edificios como si se tratase de animales de 'sangre fría'?

3. METODOLOGÍA

Dado que el acercamiento al proyecto se hace desde puntos de vista diferentes como la arquitectura y la biología, el equipo de trabajo también tiene ese enfoque. Así, éste está compuesto por dos doctores biólogos conocedores de las estrategias animales, cinco doctores arquitectos especialistas en distintas áreas (diseño arquitectónico, soluciones constructivas, aspectos normativos y legales, instalaciones y modelos de simulación), además de dos arquitectos encargados de enlazar y dar sentido, en forma de propuestas, a la información convergente de ambos campos.

El proyecto, con un año de duración, queda dividido en las siguientes fases:

Fase 1. Búsqueda de antecedentes y confrontación con proyectos equiparables: se lleva a cabo durante la práctica totalidad del proyecto. Para ello, se utiliza el buscador de bibliografía *Unika* que aporta resultados basados en libros publicados y disponibles en el catálogo de la Universidad de Navarra, así como artículos publicados en revistas indexadas. Es esta segunda aportación la más valiosa y que más resultados satisfactorios aporta al proyecto al tratarse de casos muy concretos realizados mediante estudios científicos rigurosos. Igualmente, se aportan otras fuentes propias de la arquitectura como revistas divulgativas y técnicas de periódica publicación (*Tectónica*, *Detail*...) y ejemplos concretos, ya construidos, conocidos por los integrantes del equipo de trabajo.

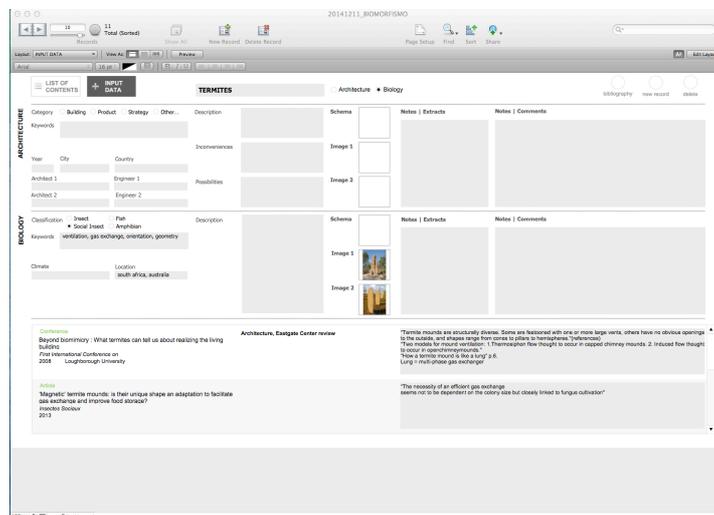


Figura 2. Captura de pantalla de la base de datos de FileMaker 13 Pro.

Para el correcto desarrollo del proyecto se hace una primera búsqueda de cuál puede ser el mejor software que permita la gestión de gran cantidad de información (texto, imágenes, referencias bibliográficas, enlaces web, etc.). Tras valorar diversas posibilidades y programas como Microsoft Excel o Microsoft Access, bases de referencias bibliográficas como Refworks e incluso pensar en la opción de encargar la realización de un software para las necesidades concretas del proyecto, se decide adoptar como solución final Mendeley para la gestión de bibliografía (leer artículos, almacenarlos, subrayar y hacer anotaciones) y FileMaker 13 Pro para crear una base de datos donde incluir los distintos animales, edificios y referencias con la posibilidad de crear fichas tipo de cada uno de ellos que permitan una clara y sencilla difusión al final del proyecto.

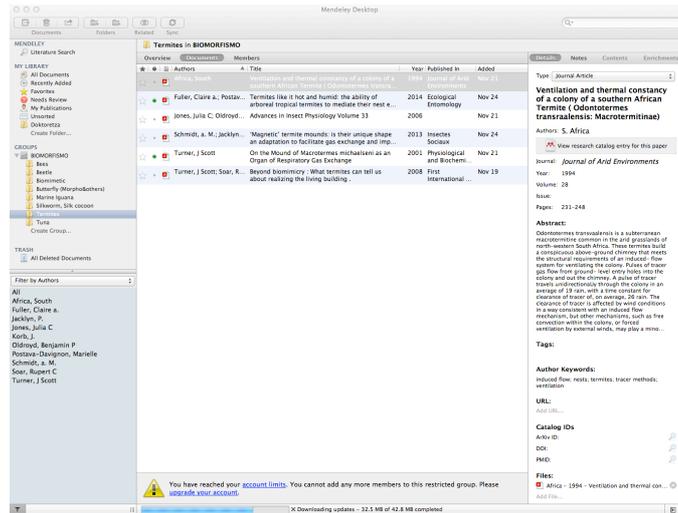


Figura 3. Captura de pantalla del programa Mendeley para la gestión bibliográfica.

Fase 2.1. Tipologías edificatorias a estudiar y metodología de importación de los sistemas metabólicos. El primer paso dado es decidir qué clase de edificios deben ser incluidos en el estudio de la propuesta. Dado el trabajo e investigación previos de los miembros del equipo, se apuesta por edificios complejos. Es decir, edificios en altura (de más de 100 metros), edificios de usos múltiples (en los que no todo el inmueble está al mismo tiempo en uso o los requerimientos de unas zonas y otras son muy distintos) y edificios industriales (con altas demandas energéticas). En un primer momento no se incluye la tipología residencial ya que se entiende que al ser capaces de construir y solucionar las problemáticas de los edificios complejos anteriores, se podrán aplicar los resultados a la resolución de edificios más sencillos. Además, y en paralelo a lo mencionado, se plantea cuál podría ser la mejor manera para asimilar y entender los sistemas metabólicos aportados desde el campo de la biología.

Fase 2.2. Mecanismos de control no habituales. Desde la biología se busca en la abundante bibliografía existente casos de seres vivos con mecanismos de termorregulación poco comunes. Tal y como se mencionaba, se busca un nuevo enfoque para el diseño e integración de las instalaciones, diferente al actualmente empleado que tiene su origen en un esquema similar al funcionamiento del ser humano.

Fase 3.1. Redefinición de los sistemas de instalaciones en edificios. A medida que el grupo de biólogos aporte sistemas de regulación provenientes del mundo animal, se reformulará el funcionamiento y diseño de las instalaciones de los edificios. Posiblemente esta fase sea una de las más determinantes del proyecto, ya que en ella entra en juego la capacidad del grupo de trabajo para reinterpretar la solución animal en conceptos materializables aplicables a las instalaciones. Es decir, el poder ver más allá de la solución concreta del animal y reformular conceptos arquitectónicos dados como válidos de forma generalizada en la actualidad, es uno de los objetivos de esta fase.

Fase 3.2. Metabolismos animales. Se busca tener una comprensión más amplia y profunda sobre el funcionamiento del metabolismo animal. Qué elementos, organismos o células son imprescindibles para que un animal pueda desarrollar su función vital. Este estudio, si bien puede parecer generalista y menos profundo que su fase previa, es de gran importancia, ya que de poco serviría conocer una estrategia a grandes rasgos sin profundizar en ella y conocer qué elementos son imprescindibles para el buen desarrollo vital del animal. Esto permite volver a repensar las soluciones extraídas del mundo animal y concretar elementos y detalles que en anteriores fases puedan haber sido ignorados.

Fase 4.1. Simulación de los nuevos sistemas. Tras haber definido y revisado los sistemas de instalaciones extraídos desde el mundo animal, se procede a la simulación de estos mismos mediante modelos informáticos. Si bien las simulaciones informáticas pueden no ser definitivas ni representar fidedignamente la realidad, permiten tener una aproximación para validar si la idea puede transformarse en realidad o si ha habido algún aspecto ignorado durante la formulación de la misma.

Fase 4.2. Búsqueda de metabolismos que tengan como base los nuevos sistemas energéticos. En paralelo a las simulaciones, se realizará una última búsqueda de animales que se aproximen más exactamente a los nuevos sistemas energéticos. Es decir, especies que funcionen lo más similarmente a las nuevas estrategias y soluciones propuestas en fases anteriores para así cerciorarse de que el proceso no ha sido fruto de una serie de pasos casuales y, en cierta medida, inconexos, sino que en la naturaleza ya pueden existir estos mecanismos.

Fase 5. Difusión de resultados. Dado que el proyecto está englobado dentro de la convocatoria Proyectos Explora del Ministerio de Economía y Competitividad, se busca dar al mismo la mayor difusión y publicación posible, tanto mediante artículos en revistas indexadas como a través de la web (blogs y noticias en prensa escrita). Este interés en dar a conocer lo más posible el desarrollo y conclusiones del proyecto tiene una doble motivación. Por una parte, uno de los requisitos de la convocatoria en la que se incluye el proyecto es la difusión del mismo de la forma más amplia posible. Por otra parte, y dado el perfil educativo del equipo de trabajo, se entiende que la publicación de toda la información posible, incluidas sus referencias, puede ser de gran utilidad para la realización de trabajos similares en otros centros educativos, generando un mayor conocimiento sobre el tema y dando lugar a otros proyectos de similares características.

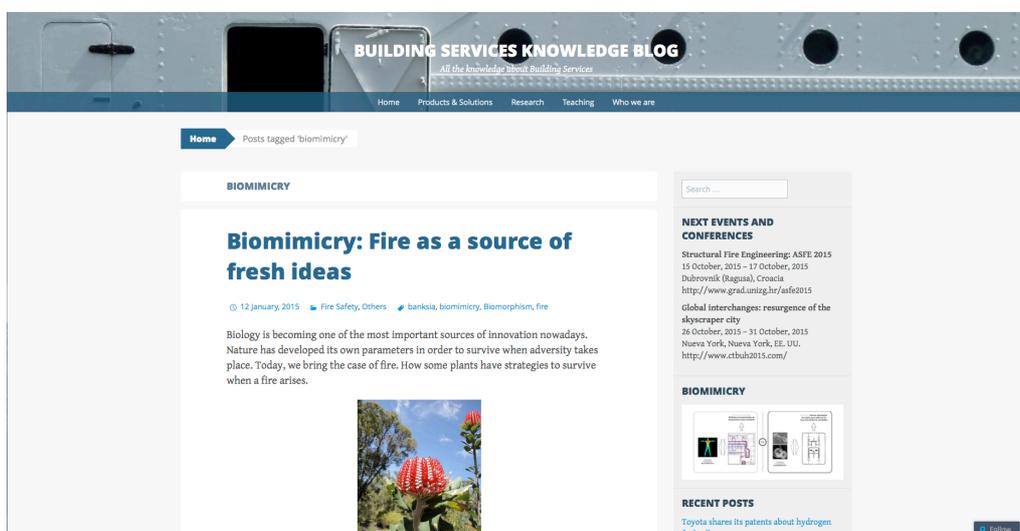


Figura 4. Captura de pantalla del blog en el que se publica la evolución del proyecto.

En la búsqueda de proyectos y ejemplos similares a los de este trabajo, pues como se ha mencionado anteriormente existen institutos y organizaciones en el mundo con un acercamiento muy similar al presente, se ha constatado una limitación generalizada en la publicación de las conclusiones. Pues no se encuentran de forma habitual resultados concretos, así como cálculos y simulaciones, extraídos del desarrollo de esos ejemplos.

4. RELACIÓN MUNDO ANIMAL - EDIFICACIÓN

Con la intención de asemejar y ‘traducir’ los conceptos del mundo animal al de instalaciones, se plantea una relación simplificada entre ambos campos. Así, se observa que los animales se pueden clasificar en especies homeotermas (mantienen su temperatura prácticamente constante de forma continua) y poiquilotermas (varían su temperatura a lo largo del día y según las circunstancias exteriores) desde un punto de vista de control de su temperatura. Además, según como adquieren su energía pueden ser definidos como endotermos (regulan su temperatura a través del metabolismo) o ectotermos (toman su energía de fuentes externas como el Sol).

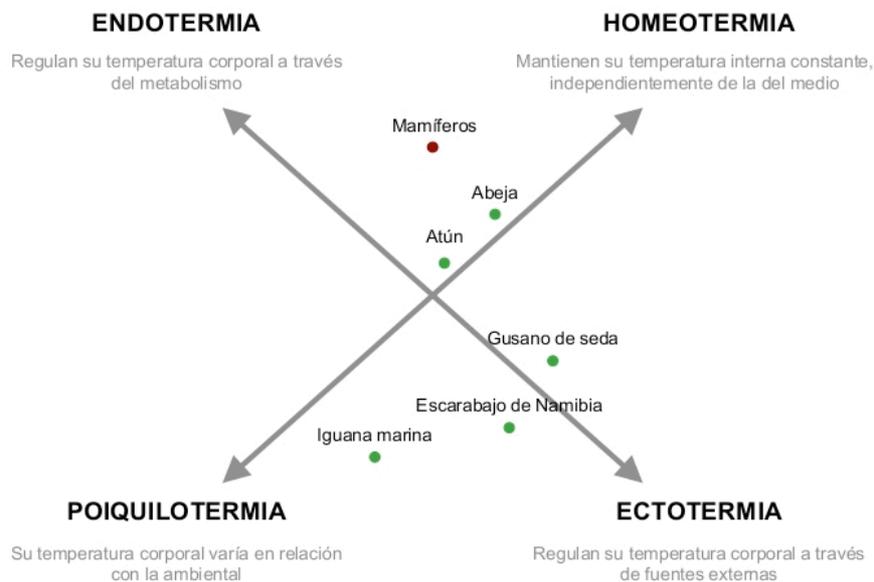


Figura 5. Esquema de la clasificación de animales según su forma de regular la temperatura y cómo adquieren la energía.

Teniendo en cuenta el funcionamiento con los edificios, el grupo de trabajo ha establecido una serie de similitudes entre estas formas de regulación y control de la temperatura y cómo los edificios se diseñan y conciben desde el punto de vista térmico. Así, se podría realizar la siguiente aproximación: el parque inmobiliario actual se caracteriza por estar compuesto de edificios en los que se busca mantener una temperatura constante y con un elevado consumo energético necesario para conservar dichas condiciones higrotérmicas.

Por otra parte, dentro de los objetivos de H2020, se persigue conseguir edificios en los que la demanda energética procedente de fuentes fósiles sea prácticamente cero (nZE). Para ello, se favorece el uso de energías renovables, además de diferentes estrategias como la instalación de recuperadores de calor y otras medidas pasivas.

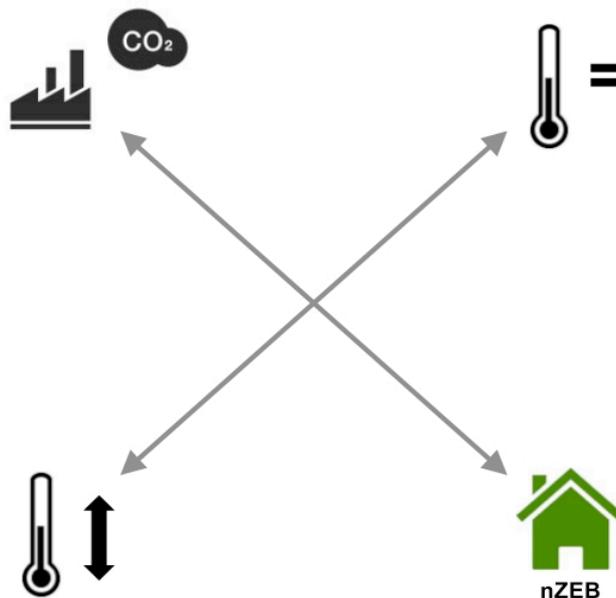


Figura 6. Esquema de la clasificación de edificios según su forma de regular la temperatura y cómo adquieren la energía.

Podría decirse que el edificio objetivo, sería un ‘animal’ que mantenga su temperatura constante (homeotermo) y que tome su energía de fuentes exteriores (ectotermo). Bien es cierto que también existen edificios donde mantener una temperatura constante todo el día no es necesario como puede ser un edificio de oficinas en el que durante el día hay una alta ocupación y durante la noche no está ni siquiera ocupado.

Las investigaciones y rastreos de bibliografía iniciales sobre casos animales, demuestran que existen numerosos ejemplos aplicables para el diseño de instalaciones, abriendo gran cantidad de posibilidades. Por ejemplo, ya se trabaja sobre algunas de las primeras propuestas con sistemas de recuperación de calor de alta eficiencia o soluciones alternativas a las torres de refrigeración actuales.

Para ejemplificar el trabajo hasta ahora desarrollado, se exponen a continuación algunos de los casos de animales analizados durante la primera fase de investigación:

1. Abeja (*Apis mellifera*): la abeja es un animal ‘poco’ interesante desde el punto de vista térmico de forma individual. Sin embargo, es verdaderamente atractivo e ilustrativo el ver el funcionamiento social de las abejas, su organización para controlar la temperatura dentro de la colmena.

La ubicación de la zona de cría de larvas se sitúa en el medio de la colmena, para protegerla y conseguir que su temperatura sea estable y elevada. Durante la construcción de esta zona, las abejas dejan libres ciertos espacios por los que poder pasar y generar calor mediante la contracción de sus músculos de vuelo en caso de que en el exterior la temperatura sea baja.

Cuando la temperatura exterior es elevada, las abejas son capaces de reducirla mediante dos estrategias. Introduciendo pequeñas gotas de agua en la colmena, logran un enfriamiento evaporativo que se potencia con el aire generado por algunas abejas a la entrada de la colmena. Además, algunas abejas pueden actuar como ‘colchón’ o ‘escudo’ frente al calor que entra al interior, almacenándolo. Una vez que la abeja no puede ‘almacenar’ más calor, sale fuera de la

colmena para disipar ese calor o incluso regurgitar el néctar que acumula en su interior para un rápido enfriamiento. SUDARSAN, R. et al. (2012).

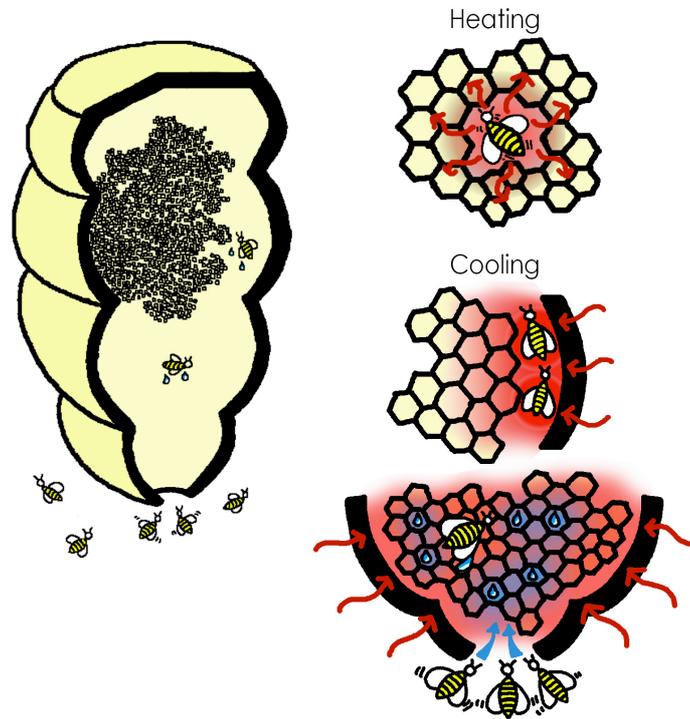


Figura 7. Esquema representativo del funcionamiento térmico de una colmena, tanto generando calor como refrigerando.

Este comportamiento social de las abejas hace valorar nuevos modos de aproximación al diseño de las instalaciones: ¿podrían tenerse muchos elementos individuales repartidos en un edificio, en vez de un único elemento central? ¿Cabría la posibilidad de tener unos elementos que dividan espacios si no están en uso para aislar otros y reducir la demanda energética?

2. Atún (*Thunnus thynnus*): el atún es un animal que destaca por vivir en temperaturas muy frías, pero mantener una temperatura interior alta en comparación a las mismas. Para conseguir mantener esta temperatura interior estable, el atún dispone de una red interior denominada '*rete mirabile*'. Esta red, puede asemejarse a un intercambiador de calor muy sofisticado. Tanto es así, que permite conservar entre un 70 y un 99% del calor generado.

La parte más caliente del atún es el centro del mismo. Esto se debe a que los músculos de natación están en esta zona y no en la superficie como sucede en otros animales. Estos músculos generan gran cantidad de calor, lo que permite que el mismo sea después distribuido a través de la *rete mirabile*. STEVENS, E. et al. (1974).

Esta estrategia invita a pensar en un diseño distinto de los edificios. ¿Por qué no configurar los nuevos inmuebles atendiendo al Business Process Model, situando los espacios de mayor uso en el centro del mismo, y aquellos con menor ratio de usuarios relegarlos a la periferia?

3. Tok-tokkie (*Physasteria cribripes*): este escarabajo vive en el desierto. Esto supone que debe enfrentarse a elevadas temperaturas durante todo el día y a una escasez de agua prácticamente continua. Con estos condicionantes, vive escondido durante las horas de luz para evitar tener que soportar dichas temperaturas.

Es por la noche cuando se eleva a lo alto de una duna con el objetivo de recoger algo de agua. Así, el escarabajo recoge agua fruto del rocío y la condensación producida gracias a la diferencia de temperatura existente entre el cuerpo del escarabajo y el ambiente. La superficie hidrófoba de élitros (alas modificadas y endurecidas que cubren su cuerpo) favorece la formación de gotas de agua que acaban resbalando hasta su boca gracias a la posición inclinada que adopta el escarabajo. GUADARRAMA-CETINA, J. et al. (2014).

Este mecanismo invita a pensar en una posible recogida de agua apta para el consumo humano en zonas costeras donde la casuística y condicionantes son similares. También podría ser empleada como elemento para reforestar zonas desérticas tal y como ha comprobado el arquitecto Michael Pawlyn en uno de sus proyectos. PAWLYN, M. (2011).

4. Gusano de seda (*Antheraea mylitta Drury*): el gusano de seda destaca por la creación de una crisálida con unas características muy peculiares en cuanto a su construcción y funciones. Varios estudios han descubierto que la “coraza” formada por el gusano, le permite tener un gran control sobre su temperatura interior y los gases que en ella se almacenan. Dichas investigaciones han comprobado que la temperatura es prácticamente constante y que no existe CO₂ ya que es expulsado al exterior. ROY, M. et al. (2012).

El creciente interés en la calidad del aire interior en los edificios hace pensar que estos mecanismos podrían ser utilizados en la creación de nuevos filtros o incluso fachadas que permitan depurar el aire. Sin duda alguna el devenir de esta cuestión depende en gran medida de la ingeniería de materiales y otras áreas del saber de similar procedencia y no tanto de la arquitectura. Pero es sin duda ésta última la gran beneficiada de los posibles avances.

5. Iguana marina (*Amblyrhynchus cristatus*): la iguana es un animal ectotermo capaz de regular su organismo para optimizar su metabolismo y gasto energético. Durante el día la iguana se postra sobre la piedra para tomar toda la energía posible. Una vez el sol desaparece, las iguanas tienden a apilarse unas sobre otras para no perder el calor almacenado.

Además, la iguana es capaz de regular su ritmo cardiaco según el entorno. Cuando la temperatura es elevada, el corazón late a un ritmo alto. Sin embargo, al introducirse en el agua con temperaturas inferiores, es capaz de reducirlo para no consumir tanta energía y evitar que toda la sangre de su cuerpo se enfríe, exponiendo sólo la presente en las capas superficiales. Este mecanismo se complementa con las cualidades dilatadoras y constrictoras de sus vasos sanguíneos. También es capaz de evitar que su sangre pase por los pulmones, ajustando y limitando su necesidad de O₂ y evitando que la temperatura de su sangre descienda. WHITE, N. (1973).

Estas estrategias, hacen pensar en numerosas formas de optimizar las instalaciones en los edificios. Una de ellas, es la posibilidad de recurrir a almacenadores de calor (*heat storage*) durante la noche en edificios de oficinas cuando el uso se interrumpe y ‘desplegar’ esa energía antes de que los usuarios vuelvan al edificio. Igualmente, podría optimizarse el número de renovaciones de aire necesarias en un espacio atendiendo a la ocupación real del mismo.

5. REFLEXIONES FINALES

La principal hipótesis ante la falta de comunicación de resultados de otros proyectos es el deseo de proteger esta información mediante el uso de patentes y otras formas de protección, dado el interés económico y de explotación industrial que estas soluciones contienen. Es decir, se confirma la

existencia de un gran potencial para la realización de nuevos productos a partir del estudio de estos seres vivos.

En primer lugar, ha de señalarse que el proyecto está actualmente en desarrollo. Por tanto, lo explicado en el presente documento no representa más que el comienzo de un trabajo de largo recorrido en el que se esperan alcanzar los objetivos mencionados.

En el momento de la presentación de este documento se están analizando estrategias del mundo animal mediante la lectura de artículos científicos y referencias diversas aportadas por distintos organismos e instituciones. Todas estas opciones están siendo registradas en la base de metadatos.

Puede decirse, que se espera generar una base de datos con especies animales que rondan el centenar y, más tarde, profundizar sobre una decena de las mismas. Esto se decide así para contrarrestar la tendencia general ya descrita sobre la falta de datos y soluciones concretas. Pues se ve que existen ideas generalistas con grandes posibilidades, pero no es habitual encontrar cálculos y simulaciones que den mayor credibilidad y constancia de que están bien encaminadas.

Se espera que la respuesta que se obtenga, proporcione estrategias innovadoras con las que enfrentarse al diseño de edificios complejos como los de carácter industrial, hospitalario, '*super-tall buildings*', '*mixed-used*'... De este modo, en la combinación de tipología edificatoria y uso previsto, se podría hacer uso de nuevas herramientas de diseño que permitiesen la ejecución de edificios altamente eficientes, con modelos más cercanos a la optimización energética que ofrece la Naturaleza.

7. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España en el marco del proyecto de investigación BIA2013-49838-EXP.

8. REFERENCIAS

BENYUS, J. (2002).: *Biomimicry: Innovation inspired by Nature*. HarperCollins, Nueva York.

FULLER, B. (2003).: *El capitán etéreo y otros escritos*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia.

GUADARRAMA-CETINA, J. et al. (2014).: "Dew condensation on desert beetle skin", *The European Physical Journal E*, 37, 109.

MARTÍNEZ TORRES, J. (2014).: *Biomímesis en los Entornos de Defensa y Seguridad*. Ed. Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza.

PAWLYN, M. (2011).: *Biomimicry in architecture*. Riba Publishing.

ROY, M. et al. (2012).: "Carbondioxide gating in silk cocoon", *Biointerphases*, 7, 1-4, 1-11.

STEVENS, E. et al. (1974).: "Vascular anatomy of the counter-current heat exchanger of skipjack tuna", *The Journal of experimental biology*, 61, 1, 145-153.

SUDARSAN, R. et al. (2012).: "Flow currents and ventilation in Langstroth beehives due to brood thermoregulation efforts of honeybees", Elsevier, Journal of Theoretical Biology, 295, 168-193.

WHITE, N. (1973).: "Temperature and the Galapagos marine iguana-insights into reptilian thermoregulation", Elsevier, Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Physiology, 45, 2, 503-504.

FULL VERSION IN:

"Rediseño de la integración de energía en edificios a partir de Metabolismos Animales: Proyecto RiMA". Book of abstracts XIII Congreso Ibero-Americano de Climatización y Refrigeración CIAR 2015, pp.490-500. Madrid, 28-30 April 2015. J. Bermejo, C. Martín-Gómez, A. Zuazua, E. Baquero, R. Miranda.