

Refrescando el hogar: técnicas pasivas para un ambiente fresco

Refreshing the home: passive techniques for a cool environment

Sergio Quezada García, M. Azucena Escobedo Izquierdo, Heriberto Sánchez Mora y Marco Antonio Polo Labarrios

Resumen

Las olas de calor recientes han causado malestar e incomodidad en todo el país. Ante esta situación, surge la pregunta: ¿cómo podemos combatir el calor en nuestros hogares? Los sistemas de aire acondicionado son una solución común, pero su alto costo y su impacto ambiental son desafíos importantes. Por otro lado, las técnicas pasivas de refrigeración ofrecen una alternativa sostenible, sin necesidad de electricidad. Este artículo explora el concepto de confort térmico, detalla los sistemas de aire acondicionado y presenta ejemplos de técnicas pasivas basadas en protección térmica, modulación y disipación de calor.

Palabras clave: confort térmico, refrigeración, eficiencia energética, hogares sostenibles, condiciones ambientales.

CÓMO CITAR ESTA COLABORACIÓN

Quezada García, Sergio, Escobedo Izquierdo, M. Azucena, Sánchez Mora, Heriberto y Polo Labarrios, Marco Antonio. (2024, mayo-junio). Refrescando el hogar: técnicas pasivas para un ambiente fresco. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 25(3). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.3.7>

Abstract

Recent heatwaves have caused discomfort and inconvenience nationwide. In response to this situation, the question arises: how can we combat the heat in our homes? Air conditioning systems are a common solution, but their high cost and environmental impact are significant challenges. On the other hand, passive cooling techniques offer a sustainable alternative, without the need for electricity. This article explores the concept of thermal comfort, details air conditioning systems, and presents examples of passive techniques based on thermal protection, modulation, and heat dissipation.

Keywords: thermal comfort, cooling, energy efficiency, sustainable homes, environmental conditions.

Sergio Quezada García

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Profesor en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde enero de 2018. Es Doctor y Maestro en Ingeniería por la UNAM y es Ingeniero en Energía por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Está interesado en el modelado y simulación de sistemas energéticos.

 sergio.quezada@ingenieria.unam.edu

 [0000-0001-8148-8914](https://orcid.org/0000-0001-8148-8914)

M. Azucena Escobedo Izquierdo

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Profesora en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde enero de 2021. Es Doctora en Arquitectura por la UNAM, Maestra en Ingeniería en Energía por la UNAM e Ingeniera Eléctrica por la UNAM. Tiene experiencia de más de 30 años en eficiencia energética. Trabajó en la CONUEE por 10 años. Su tema de interés actual es la eficiencia energética en edificaciones.

 [0000-0002-1012-0183](https://orcid.org/0000-0002-1012-0183)

Heriberto Sánchez Mora

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Profesor en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (UAM-I). Es Doctor en Ciencias Fisicomatemáticas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Maestro en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e Ingeniero en Energía por la UAM. Tiene más de 10 publicaciones JCR. Su campo de investigación son los sistemas dinámicos de flujo en dos fases.

 [0000-0002-6942-2071](https://orcid.org/0000-0002-6942-2071)

Marco Antonio Polo Labarrios

Facultad de Ingeniería, UNAM y Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, UAM

Profesor en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, también es profesor en la Universidad Iberoamericana y en la Universidad Autónoma Metropolitana. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde enero de 2018. Es Doctor y Maestro en Ingeniería por la UNAM y es Ingeniero en Energía por la Universidad Autónoma Metropolitana. Ha trabajado en la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). Está interesado en el estudio y modelado matemático, mediante cálculo fraccional, de la difusión anómala de neutrones en el núcleo de reactores nucleares.

 [0000-0003-0518-3697](https://orcid.org/0000-0003-0518-3697)

Refrigeración y confort en hogares mexicanos

A nivel mundial, las edificaciones consumen alrededor del 30% de la energía final y son responsables del 19% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Iwata, 2014). Se estima que el 20% de la electricidad consumida en las edificaciones se utiliza para la refrigeración de espacios mediante sistemas de acondicionamiento de aire y ventiladores (OECD/IEA, 2018). Además, se prevé que estas cifras aumenten debido al crecimiento económico mundial y al gran desplazamiento de los habitantes de los pueblos a las ciudades (Tumminia et al., 2020). Así, a medida que aumenten los ingresos y la calidad de vida, más gente comprará y utilizará sistemas de acondicionamiento de aire y ventiladores; especialmente, aquella gente que se ubica en las zonas más cálidas del planeta. Si no se toman medidas, para el año 2050 se triplicará el consumo de energía para la refrigeración de espacios con respecto al consumo en el año 2018 (OECD/IEA, 2018).

Una gran extensión del territorio mexicano tiene clima cálido; por lo tanto, en México parte importante de la energía eléctrica que se consume en las edificaciones residenciales es para proporcionar confort térmico a sus ocupantes mediante la refrigeración de espacios. De hecho, el actual esquema tarifario doméstico de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) contempla siete tarifas (1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F) que se asignan a diferentes localidades dependiendo de la temperatura media mínima en verano (CFE, 2023). A medida que aumenta la temperatura media mínima en verano, el subsidio en la tarifa doméstica aumenta. La tarifa con menor subsidio, ya que considera que no es necesario el uso de sistemas de acondicionamiento de aire, es la tarifa 1 que aplica para todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico.

Por su parte, la tarifa 1F tiene el mayor subsidio; la aplican a localidades con temperatura media mínima en verano de 33 °C. Las localidades donde se aplica esta tarifa requieren emplear sistemas de acondicionamiento de aire para alcanzar condiciones de confort térmico. Existe otra tarifa doméstica para hogares con alto consumo, denominada Doméstica de Alto Consumo (DAC); aplica cuando se supera el límite de consumo de energía eléctrica, y es la más cara porque no cuenta con subsidio.

Así, el esquema tarifario doméstico considera la necesidad de utilizar sistemas activos de acondicionamiento de aire para proporcionar confort térmico a la población dentro de los hogares, pero ¿qué es el confort térmico? Y, ¿qué son los sistemas de acondicionamiento de aire?

A continuación, responderemos a estas preguntas y se presentarán algunos ejemplos de técnicas pasivas de refrigeración basadas en protección térmica, modulación de calor y disipación de calor; las cuales nos pueden ayudar a alcanzar condiciones de confort en nuestros hogares.

Confort térmico

La comodidad del cuerpo humano depende principalmente de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, siendo la primera el factor más importante. De este modo, el confort térmico se refiere al rango de temperatura donde el cuerpo humano se siente más cómodo. Este rango depende de diversos factores como la ropa que lleve puesta la persona, la actividad física que esté realizando, su edad, las condiciones climáticas a las que la persona esté acostumbrada, entre otros.

Por ejemplo, dos personas en un mismo cuarto pueden tener sensaciones térmicas diferentes. Si una de ellas está en reposo, podría tener una sensación de frío; mientras que, la otra, si realiza una actividad física, como saltar la cuerda, podría tener una sensación de calor. Así, determinar los límites de confort en diferentes zonas y bajo diferentes condiciones sigue siendo un tema de estudio para los investigadores.

Sin embargo, se puede decir que la mayoría de la gente, en reposo o realizando actividad física moderada, se siente cómoda en el rango de temperatura que va de 22 °C a 27 °C, con una humedad relativa de 30% a 70% y cuando el aire tiene una velocidad aproximada de 12 metros por minuto (Cengel, 2007). Esto se puede ejemplificar en un Diagrama Bioclimático de Givoni (ver Figura 1); el cual, muestra la zona de confort que representa el rango de condiciones climáticas donde la mayoría de las personas se sienten cómodas (Ortiz et al., 2023). A la derecha de la zona de confort, las personas tienen una sensación de calor; mientras que, a la izquierda, tienen una sensación de frío.

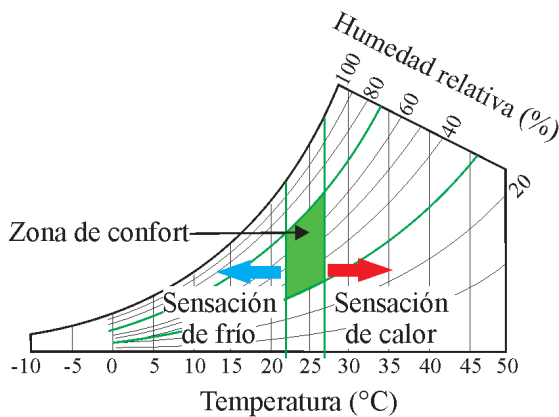


Figura 1. Diagrama Bioclimático de Givoni. Crédito: elaboración propia.

Sistemas de acondicionamiento de aire

Por otro lado, los sistemas de acondicionamiento de aire se emplean para obtener el nivel deseado de calentamiento, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, limpieza y desodorización; por ende, el objetivo de estos sistemas es brindar confort a las personas ocupantes de una edificación. Aquí nos concentraremos en los sistemas de acondicionamiento de aire para la refrigeración; es decir, en aquellos sistemas cuyo propósito es reducir la temperatura interna de nuestros hogares, removiendo calor, para llegar al rango de confort térmico.

Los sistemas de refrigeración se pueden dividir en dos grupos, los activos y los pasivos. Los primeros requieren de electricidad para funcionar; por ejemplo,

los equipos *minisplit* que suelen utilizarse en espacios pequeños y tienen el mismo principio de operación que el refrigerador de nuestras casas. Mientras que, los segundos, o las también llamadas técnicas pasivas de refrigeración, no requieren de electricidad.

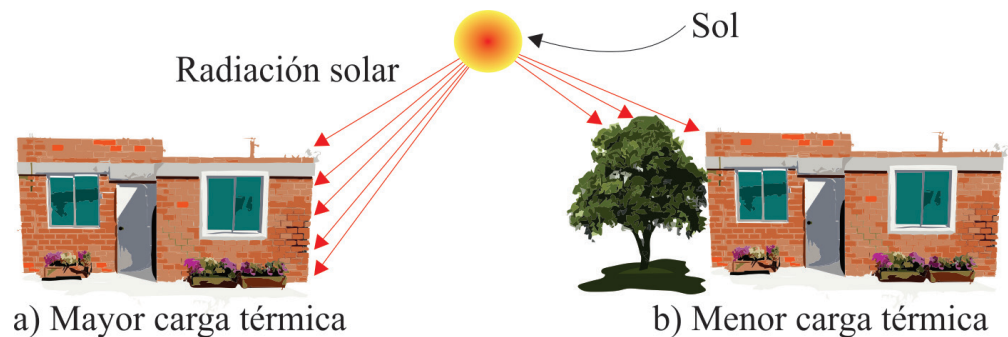
Técnicas pasivas de refrigeración

Los sistemas o técnicas pasivas de refrigeración pueden clasificarse, a su vez, en técnicas de protección térmica, de modulación de calor y de disipación de calor.

Técnicas de protección térmica

En las técnicas de protección térmica, el edificio se protege de las ganancias directas de calor por radiación solar mediante el sombreado de las envolventes de la edificación (paredes y techo). El uso de árboles o vegetación cerca del edificio es una solución eficiente, económica, estética y ambientalmente amigable para proteger al edificio de la ganancia de calor por radiación solar (ver Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de técnica de protección térmica: **a)** edificación sin protección térmica que recibe mayor radiación solar en comparación con **b)** edificación con un árbol actuando como protección térmica. Crédito: elaboración propia.



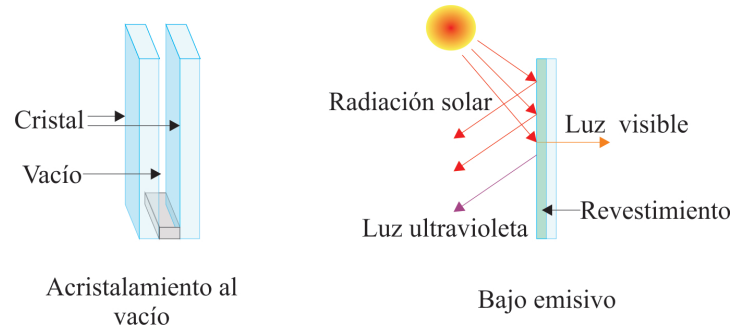
Otra manera práctica de evitar grandes ganancias de calor por radiación es utilizar pintura aislante reflectiva en la cara exterior de las envolventes. Este tipo de pintura refleja la radiación solar evitando que sea absorbida por las envolventes y penetre al interior de la edificación, reduciendo la ganancia de calor hasta en un 44% por envoltorio (Samani et al., 2016).

La radiación solar puede atravesar libremente las superficies transparentes convencionales (ventanas). Se estima que alrededor del 45% al 60% del calor que se transfiere del exterior al interior de la edificación, que denominaremos carga térmica, es debido a las ventanas cuando estas representan del 20% al 30% de la superficie total de las paredes (Bhamare et al., 2019).

De hecho, con el objetivo de reducir la carga térmica, se han creado normas mexicanas (por ejemplo, la NOM-020-ENER) que sugieren que la superficie transparente, en otras palabras, las ventanas, no deben de representar más del 40% de las envolventes sin colindancia, mientras que las envolventes con colindancia deben de ser 100% de material opaco (SENER, 2011). En algunos casos, es posible aumentar el área destinada a las ventanas sin que aumente

considerablemente la carga térmica, utilizando acristalamiento multicapa, acristalamiento al vacío y acristalamiento con revestimiento de baja emisividad (ver Figura 3), por mencionar algunas tecnologías.

Figura 3. Ejemplos de acristalamiento que evitan que aumente la carga térmica, **a)** acristalamiento multicapa y **b)** acristalamiento con revestimiento de baja emisividad. Crédito: elaboración propia.

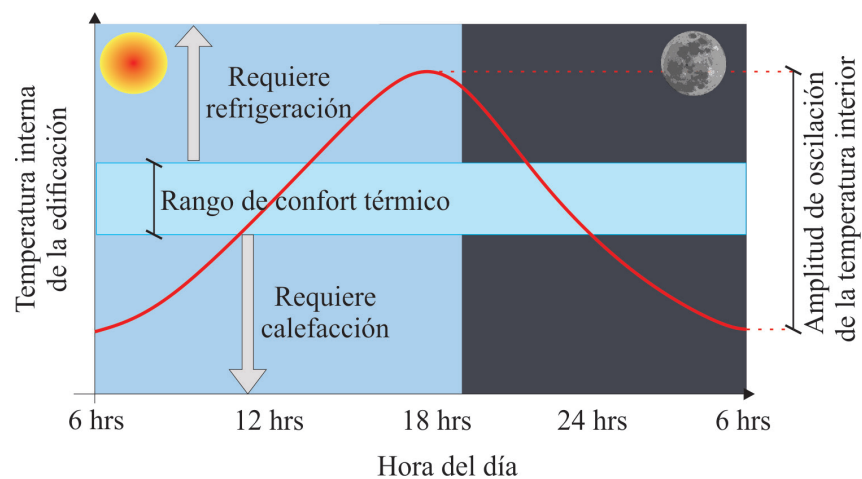


Técnicas de modulación de calor

En las técnicas de modulación de calor, el calor ganado por las envolventes de un edificio se almacena en sus materiales constructivos para descargarlo posteriormente, de preferencia cuando se requiera; por ejemplo, durante la noche cuando no se tiene ganancia de calor debido al Sol y la temperatura en el interior de las edificaciones desciende (ver Figura 4).

Así como algunos materiales son mejores conductores de calor (como los metales), existen materiales que son mejores para almacenar el calor, los cuales pueden formar parte de los materiales estructurales de los edificios para aumentar la inercia térmica y disminuir la amplitud de oscilación de la temperatura interior de la edificación (ver nuevamente Figura 4). Para zonas con climas cálidos, una baja inercia térmica implica condiciones de calor excesivo durante el día y condiciones de frío durante la noche.

Figura 4. Cambio de la temperatura interna de la edificación a lo largo del día (curva color rojo). Crédito: elaboración propia.



El calor ganado durante el día se puede liberar durante la noche mediante la entrada de aire frío exterior que sustituye al aire caliente interior. La eficiencia

de esta técnica, llamada ventilación nocturna, depende de la temperatura nocturna del aire. Esta técnica no es nueva; de hecho, Gabriel García Márquez en *El amor en los tiempos del cólera* escribe:

[...] terminaron por convencerse de las bondades del método romano contra el calor, que consistía en mantener las casas cerradas en el sopor de agosto para que no se metiera el aire ardiente de la calle, y abrirlas por completo para los vientos de la noche. (1985, p. 27).

Técnicas de disipación de calor

En la técnica de disipación de calor, se utiliza un disipador ambiental a temperatura más baja, como el aire, el agua o el cielo, para remover el calor del interior de la edificación y disminuir su temperatura. Pero la pregunta recurrente es ¿por qué se necesita que el disipador de calor se encuentre a una menor temperatura?

El calor es una forma de energía que se transporta de un cuerpo o sustancia que se encuentra a una temperatura caliente, a un cuerpo o sustancia que se encuentra a una temperatura fría. La transferencia de calor siempre ocurre en esta dirección; de mayor a menor temperatura, y cuando se iguala la temperatura de los cuerpos o sustancias, la transferencia de calor neta entre estos es cero. Esta es la razón por la cual se requiere que el disipador de calor se encuentre a una menor temperatura con respecto a la temperatura interior de la edificación.

Volviendo a las técnicas de disipación de calor, estas se dividen en técnicas de refrigeración por convección, evaporación y radiación. Un ejemplo de refrigeración por convección es la tecnología de ventilación por chimenea, que consiste en calentar la pared de la chimenea por medio de radiación solar. El calor es transferido al aire contenido en la chimenea, aumentando su temperatura y con ello impulsándolo hacia arriba, creando un efecto de succión en el interior de la edificación que provoca la entrada de una mayor masa de aire fresco del exterior (ver Figura 5).

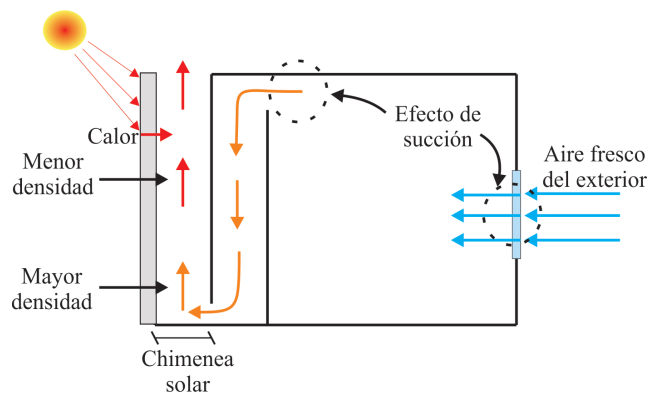


Figura 5. Tecnología de ventilación por chimenea. Crédito: elaboración propia.

El enfriamiento evaporativo consiste en poner en contacto aire no saturado (aire seco) con gotas de agua para que estas humedezcan el aire y se evaporen al

absorber calor, disminuyendo así la temperatura del aire (ver Figura 6). Es importante mencionar que la evaporación y la ebullición son fenómenos diferentes. La evaporación se da entre un líquido y un gas, y puede ocurrir a cualquier temperatura, pero la masa de líquido evaporada aumenta conforme aumenta la temperatura; mientras que la ebullición se da entre un líquido y un sólido, para que esto ocurra el sólido debe estar a igual o mayor temperatura que la temperatura de saturación del líquido (temperatura de ebullición); para el agua es de aproximadamente 100 °C a 1 atm de presión, es decir, a nivel del mar.

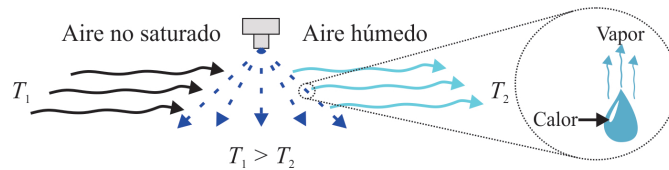


Figura 6. Ejemplo de enfriamiento evaporativo. Crédito: elaboración propia.

En cuanto al enfriamiento por radiación, el cielo nocturno despejado funciona como disipador de calor al recibir la radiación térmica de onda larga emitida por el techo de la edificación (ver Figura 7). Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación térmica que varía dependiendo de la temperatura del cuerpo, la temperatura de los alrededores y la eficiencia con la que las superficies emiten radiación (esta última propiedad se conoce como emisividad).



Figura 7. Enfriamiento por radiación. Crédito: elaboración propia.

Conclusión

Las técnicas pasivas de refrigeración son una opción amigable con el ambiente para alcanzar condiciones de confort térmico en nuestros hogares. La instalación de algunas de estas técnicas puede resultar costosa; sin embargo, los gastos de operación son bajos comparados con los sistemas

activos de acondicionamiento de aire que requieren grandes cantidades de energía eléctrica. Incluso, algunas técnicas pasivas de refrigeración no requieren de ningún tipo de inversión, como es el caso de la ventilación nocturna. Anteriormente, el gobierno de México ha implementado programas de modernización de refrigeradores domésticos para disminuir el consumo de energía; se podrían implementar programas similares para la implementación de las técnicas pasivas de refrigeración, principalmente en zonas con altas temperaturas, como es el caso de las localidades con las tarifas eléctricas 1E y 1F.

Referencias

- ❖ Bhamare, D. K., Rathod, M. K., y Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings*, 198, 467–490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>
- ❖ Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico* (3.a ed., J. H. Pérez Castellanos, y J. Enríquez Brito, Trans.). Mc Graw Hill.
- ❖ Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2023). *Esquema tarifario vigente*. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>
- ❖ García-Márquez, G. (1985). *El amor en los tiempos del cólera*. Diana.
- ❖ Iwata, N. (2014). World Trade Organization and the Recycling Trade: Trade Measures for Global Environmental Preservation. *Japanese Economy*, 33(2006), 45-64. <https://doi.org/10.2753/JES1097-203X330403>
- ❖ Secretaría de Energía (SENER). (2011). *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gsc.tab=0
- ❖ OECD/IEA. (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning*. International Energy Agency. https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf
- ❖ Ortiz, J., Carrere, J., Salom, J., y Novoa, A. M. (2023). Energy consumption and indoor environmental quality evaluation of a cooperative housing nZEB in Mediterranean climate. *Building and Environment*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109795>
- ❖ Samani, P., Leal, V., Mendes, A., y Correia, N. (2016). Comparison of passive cooling techniques in improving thermal comfort of occupants of a pre-fabricated building. *Energy and Buildings*, 120, 30–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.055>
- ❖ Tumminia, G., Guarino, F., Longo, S., Aloisio, D., Cellura, S., Sergi, F., Brunaccini, G., Antonucci, V., y Ferraro, M. (2020). Grid interaction and environmental impact of a net zero energy building. *Energy Conversion and Management*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112228>

