Proyecto de Investigación

ENFRENTANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DE ARQUITECTURA INTELIGENTE. EL PAPEL DE LA CIUDAD EN EL FUTURO PARADIGMA ENERGÉTICO

FACING CLIMATE CHANGE THROUGH SMART ARCHITECTURE. THE ROLE OF THE CITY IN THE FUTURE ENERGY PARADIGM



Francisco Jesús Lizana Moral
Arquitecto, Profesor y Candidato a Doctor Arquitecto
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
e-mail: flizana@us.es; lizanafj@gmail.com

Resumen

Uno de los mayores desafíos en la reducción de emisiones y mitigación del cambio climático es la descarbonización de los sectores de transporte, calefacción y refrigeración, debido a su gran escala y variación estacional. Una posible solución consistiría en la descarbonización de las redes eléctricas, para una posterior electrificación del transporte y la climatización. Sin embargo, se espera que no sea una tarea fácil. La electrificación del sector transportes, la calefacción y la refrigeración podría causar un aumento significativo de la demanda máxima de electricidad, lo que podría tener consecuencias adversas en el sistema eléctrico, en particular en las redes de distribución.

Esta investigación trata de dar soporte desde la arquitectura a uno de los principales retos de la sociedad, a través del despliegue de una de las estrategias más prometedoras para la consecución de un modelo energético sostenible: los edificios de demanda energética flexible, en inglés “Energy flexible buildings”. Las ciudades y la arquitectura tomarán un nuevo papel en el paradigma energético, haciendo que los períodos de consumo se adapten de manera inteligente a los períodos más favorables de operación, en función de la oferta y la demanda, como por ejemplo viviendas capaces de desplazar el consumo eléctrico hacia periodos horarios más favorables desde el punto de vista económico y ambiental, derivado de la mayor contribución de energías gratuitas, limpias y renovables. Los resultados obtenidos hasta la fecha en esta línea de investigación son prometedores, parte de los cuales ya han sido difundidos en revistas científicas de impacto. Estos demuestran como la demanda energética flexible permite reducir el coste energético del usuario en un 20%, permitiendo una mayor contribución de fuentes de energía renovables y un aprovechamiento más eficiente de las infraestructuras.

El presente proyecto de investigación supone un avance tecnológico en la aplicación de soluciones de almacenamiento y gestión inteligente de la energía, desarrollando y validando novedosas estrategias de control para optimizar la operación energética de los edificios. Esto permitirá, desde la arquitectura, favorecer el despliegue de un modelo energético sostenible, y optimizar la utilización de las infraestructuras existentes.

Palabras clave: edificios de demanda energética flexible; respuesta inteligente a la demanda; gestión inteligente de la demanda; arquitectura inteligente; rehabilitación energética.

Keywords: energy flexible buildings; smart demand response; smart demand-side management; smart architecture; energy retrofitting.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN. OBJETO Y ÁMBITO DE ESTUDIO 4
2. MARCO TEÓRICO 6
3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO 8
4. METODOLOGÍA A SEGUIR 10
5. PLAN DE TRABAJO 11
6. AVALACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA LINEA DE INVESTIGACIÓN 12
7. RESULTADOS ESPEREADOS 13
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 14

Notas: este proyecto nace de la tesis doctoral “Global solutions of thermal energy storage and management applied to building energy retrofitting“, una investigación experimental y tecnológica enfocada hacia la consecución de un modelo energético sostenible.

---

1. INTRODUCCIÓN. OBJETO Y ÁMBITO DE ESTUDIO

Uno de los grandes retos del siglo XXI a los que se enfrenta la ciencia, es el desarrollo de un modelo energético basado en el uso de energías limpias y renovables, con objeto de mitigar o ralentizar en la medida de lo posible el Cambio Climático [1], [2]. En este camino, las tecnologías de almacenamiento y gestión de la energía en la edificación poseen un enorme potencial de aplicación hacía la consecución de los objetivos de eficiencia energética y reducción de emisiones. Ellas deben ir focalizadas para dar soporte a una transición a un modelo energético sostenible en los principales sectores de consumo, la calefacción, la refrigeración y el sector transportes, los cuales representan más del 50% del consumo energético a nivel mundial [3], [4], y del cual más del 75% proviene de energías no renovables [3]. Además, considerando que más del 75% de la ciudades y edificios previstos para 2050 ya están construidos y consolidados, es vital que su implementación se focalice en la rehabilitación energética del parque edificado [3].

La calefacción, la refrigeración, el transporte y el sistema eléctrico pueden apoyarse mutuamente en el esfuerzo de descarbonización. Es esencial reconocer los vínculos entre ellos y explotar sinergias. Parte del desafío consiste en descarbonizar la electricidad suministrada por la red y luego electrificar la calefacción y la refrigeración, reemplazando la mayoría de las calderas de gasoleo y gas utilizadas para calentar edificios hoy en día con tecnologías como bombas de calor de alta eficiencia que funcionan con electricidad [5]. Junto a ello, el despliegue del vehículo eléctrico se muestra como la alternativa más viable en la actualidad hacía la consecución de una movilidad sostenible.

Sin embargo, se espera que la electrificación de los sistemas basados en combustible fósil sea una tarea difícil. Podría provocar un aumento significativo de la demanda máxima de electricidad, lo que podría tener consecuencias adversas en el sistema eléctrico, en particular en las redes de distribución de bajo voltaje que suministran energía desde las subestaciones a lo largo de los cables en las calles residenciales [6]. Esto se vería agravado por el avance en el despliegue de los vehículos eléctricos, lo cual podría conducir a altas concentraciones descoordinadas de consumo eléctrico, lo que aumentaría significativamente la demanda pico de electricidad [7]. El costo de tener que reforzar las redes eléctricas existentes para acomodar estas nuevas cargas, bombas de calor y otras tecnologías bajas en carbono, sería excesivo y, por lo tanto, es importante hacer un mejor uso de los recursos de red existentes y garantizar que cualquier refuerzo se base en una evaluación precisa de la necesidad.

Los edificios de energía flexible a través de la gestión inteligente de la demanda utilizando almacenamiento de energía son una de las opciones más prometedoras para implementar tecnologías bajas en carbono en las redes eléctricas sin la necesidad de reforzar las infraestructuras existentes [8]–[10]. Fig. 1 ilustra el objetivo de estas aplicaciones, basadas en el desplazamiento inteligente de la demanda energética, con el fin de permitir una mayor integración de fuentes de energía renovables.

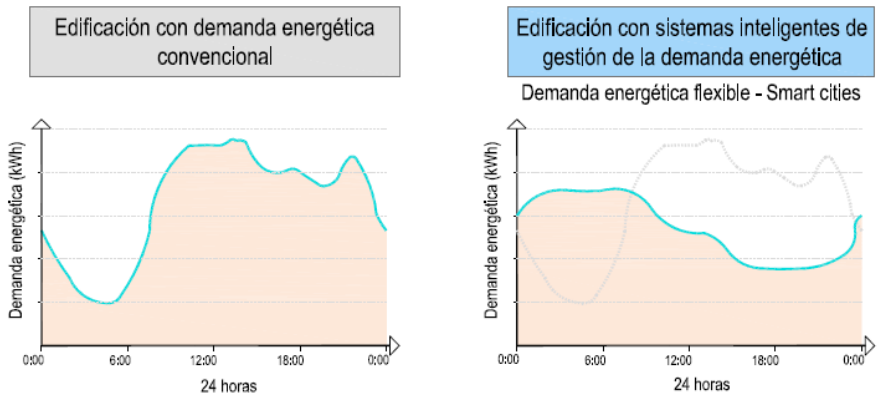


Fig. 1. Comparación entre demanda energética convencional y edificios con demanda energética flexible.

Esta integración inteligente es capaz de operar en los momentos óptimos desde el punto de vista de la red eléctrica y los consumidores, obteniendo altos beneficios ambientales y económicos. Sin embargo, para lograr estos beneficios, es crucial desarrollar modelos precisos, tecnologías de almacenamiento competitivas, así como estrategias de control que optimicen la operación del sistema.

Las estrategias de gestión inteligente de la demanda más comunes consisten en el desplazamiento de cargas eléctricas (o demandas) a periodos nocturnos de baja demanda con tarifas nocturnas. Diferentes estudios han demostrado su alto ahorro económico y ambiental debido al bajo coste económico y ambiental de la electricidad durante horas de baja demanda [11], [12]. Sin embargo, dichos estudios previos están basados en períodos de consumo fijo durante la noche, utilizando una tarifa fija para el servicio eléctrico, lo cual no puede representar efectivamente la situación en las redes eléctricas con capacidades de generación renovable cada vez mayores. Por ejemplo, en el Reino Unido, la demanda de energía fósil en la red eléctrica, es decir, la demanda total menos la generación renovable, a veces es menor durante el día debido a la alta producción de energía solar fotovoltaica durante los periodos de sol [26]. Es por ello necesario el diseño de sistemas de control y gestión inteligente que permitan discernir sobre los periodos más favorables de consumo en función de la situación a tiempo real de la red y sus usuarios.

La investigación propuesta trata de desarrollar un concepto innovador de creación de energía flexible a través de unidades de almacenamiento de alta densidad, redes inteligentes o “Smart grids”, y un sistema de control predictivo para la gestión inteligente del lado de la demanda.

Esta novedosa integración, ya validada en estudios preliminares en el entorno TRNSYS [10], es capaz de predecir la mejor estrategia de gestión de energía, consumo y almacenamiento. El controlador inteligente resuelve una evaluación de criterios múltiples basada en la predicción de la demanda de energía futura (modelo learning machine respaldado por la ocupación predefinida del usuario final a través de Internet of Things), datos meteorológicos actuales y previstos, y monitorización de la evolución de las tarifas de electricidad y rendimiento del edificio.

El presente proyecto se focalizará en determinar las mejores técnicas de implementación de soluciones de almacenamiento y gestión inteligente de la energía en edificación, hallar materiales de alta densidad energética y bajo coste para incrementar la viabilidad económica y ambiental de las soluciones, y desarrollar estrategias y metodologías que den soporte a su correcta aplicación. Para ello, se estudiará la integración de modelos de operación inteligente en entornos urbanos, como la ciudad de Nueva York, capaces de operar en momentos óptimos desde el punto de vista de la red eléctrica y los consumidores, con el fin de obtener altos beneficios ambientales y económicos. El sector de la construcción puede desempeñar un papel importante en el desempeño ambiental de las ciudades, teniendo un impacto significativo en el diseño y operación del sistema eléctrico existente y futuro. Su capacidad para controlar el tiempo y la magnitud del consumo de electricidad agregado adquiere una relevancia crítica.

2. MARCO TEÓRICO

En el camino hacía mejorar el comportamiento energético en la edificación, el despliegue de medidas de eficiencia energética basadas en almacenamiento de energía térmica ofrece un gran rango de oportunidades y beneficios para reducir el consumo energético y las emisiones [13].

Las soluciones de almacenamiento de energía térmica pueden ser integradas en los edificios en forma de almacenamiento sensible, latente o termoquímico (Fig. 2).

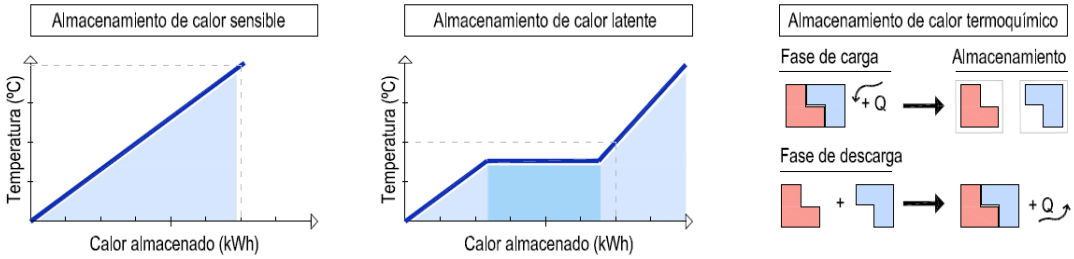


Fig. 2. Métodos de almacenamiento de energía térmica: sensible, latente y termoquímico.

El almacenamiento sensible es el método más común usado en aplicaciones de edificación (depósitos de agua, muros de inercia, muros trombe, …). Consiste en el almacenamiento de calor a través del aumento de temperatura del material [14], [15]. La capacidad media de almacenamiento de energía térmica es de 100MJ/m^3 [16], siendo el agua es el material más común empleado. Esto es debido a su alto calor específico, el cual le permite almacenar 250MJ/m^3 para un gradiente de temperatura de 60^{o}C.

El almacenamiento latente consiste en el almacenamiento de energía térmica a través de un cambio de fase de un estado físico a otro [14], [17]. Al contrario que en el almacenamiento sensible, es posible en un rango corto de temperatura almacenar una gran cantidad de energía. El cambio de fase solido-líquido es el más común empleado en aplicaciones de edificación, distinguiendo materiales orgánicos, inorgánicos y eutécticos. La capacidad media de almacenamiento de energía térmica se sitúa entre 300-500 MJ/m^3 [16].

El almacenamiento termoquímico consiste en el uso de energía térmica para desarrollar una reacción química con la que almacenar o ceder calor [18]. La energía almacenada se puede recuperar mediante la inversión de la reacción, a veces mediante la adición de un catalizador [16]. Permite una densidad de almacenamiento 10 veces mayor que la sensible (alrededor de 1,000 MJ/m^3 [16]) y la posibilidad de almacenamiento durante periodos muy largos sin perdidas. A pesar de su alto potencial de almacenamiento teórico, los sistemas de almacenamiento termoquímicos no han tenido gran desarrollo, debido principalmente a las pobres transferencias de calor y masa involucradas y a los ciclos de funcionamiento del proceso [19].

Las aplicaciones de almacenamiento pueden ser clasificadas en activas o pasivas.

- Las soluciones pasivas se caracterizan por un intercambio de calor sin una acción mecánica, a través de la convección natural entre el ambiente interior y el material de almacenamiento [20].
- Las aplicaciones activas se basan en un intercambio de calor a través de la asistencia de un componente mecánico [21].

La Fig. 3 ilustra la clasificación de soluciones técnicas y materiales de almacenamiento de energía térmica en edificación, según Heier et al. [22].

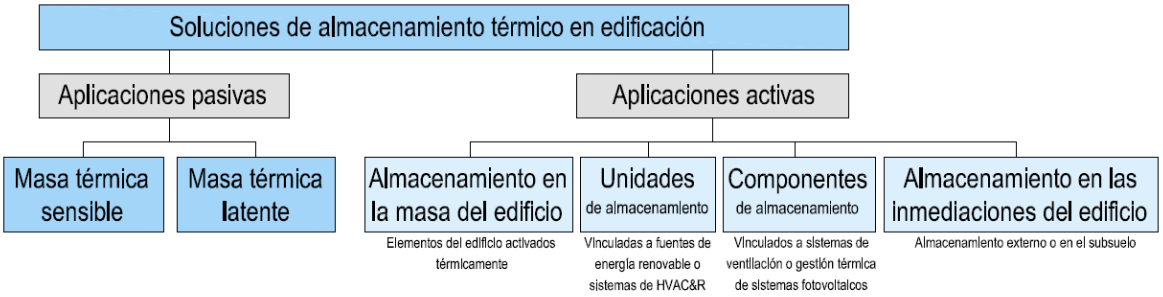


Fig. 3. Clasificación de soluciones de almacenamiento térmico. Fuente:

El uso de materiales de almacenamiento en aplicaciones pasivas permite reducir la demanda energética en edificios a través de una mayor inercia térmica, reduciendo los picos de temperatura y mejorando el confort térmico [13], [23].

Por otro lado, el uso de materiales de almacenamiento en aplicaciones activas permite [4], [23]:

- Reducir las cargas pico de consumo gracias al suministro de energía almacenada, lo que reduce la potencia necesaria de los equipos y los requerimientos en infraestructuras.
- Mejorar la eficiencia de los sistemas mediante el ajuste del rango de operación (evitando cargas parciales de operación y eliminando la carga intermitente).
- Y, sobre todo, un uso más eficaz de las fuentes de energía renovables, resolviendo el desfase de tiempo entre la demanda y el período de suministro.

Los estudios preliminares demuestran que las unidades de almacenamiento en edificación a pequeña escala son unas de las soluciones más viables y atractivas [12], [24]–[28]. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer. La mayoría de los trabajos previos se centran en el almacenamiento térmico en agua. Una mayor densidad volumétrica de almacenamiento con menores pérdidas permitiría mayores beneficios. En este camino, el estudio y validación de materiales de almacenamiento térmico con mayor densidad, como los materiales de cambio de fase, permitiría mayores capacidades de almacenamiento energético, habilitando estrategias de gestión más potentes.

Además, los estudios preliminares de gestión inteligente de la demanda están basados en períodos de consumo nocturno que utilizan una tarifa fija para el servicio eléctrico, lo cual no puede representar efectivamente la situación en las redes eléctricas con capacidades de generación renovable cada vez mayores. Por ejemplo, en el Reino Unido, la demanda neta, es decir, la demanda total menos la generación renovable, a veces es mayor durante la noche debido a la alta producción de energía solar fotovoltaica durante el día [26].

Los primeros resultados obtenidos en la gestión inteligente de la energía a través de almacenamiento térmico de alta densidad demuestran que es posible cambiar los periodos de consumo en horas pico a tramos horarios de baja demanda y bajas tasas de emisión de CO_2, obteniendo un ahorro en la factura de electricidad del usuario final del 20% y una reducción del costo de electricidad de la comercializara eléctrica del 25 % [10]. Además, a pesar de un aumento en el consumo final de energía de hasta un 8% (derivado de las pérdidas del almacenamiento), el impacto ambiental se mantiene constante debido a la operación durante periodos con una menor tasa de emisiones de CO_2 en la generación eléctrica [10]. Las herramientas desarrolladas permiten el diseño de sistemas de energía inteligente para edificios energéticamente flexibles que pueden tener un impacto positivo en la descarbonización del sector de la construcción y el transporte.

Un desarrollo más amplio y justificado del estado del arte asociado al almacenamiento de energía, relativo a la investigación material y sus aplicaciones en edificación, ha sido ya publicado en diferentes plataformas científicas (congresos internaciones y revistas científicas).

La identificación de los materiales de almacenamiento de energía que poseen mejores prestaciones para su uso en aplicaciones de edificación se ha plasmado en 2 artículos y 1 congreso internacional:

- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, A., & Valverde, J. M. (2017). Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review. Applied Energy, 203, 219–239.

- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, A., Valverde, J. M., & Ortiz, C. (2018). Identification of best available thermal energy storage compounds for low-to-moderate temperature storage applications in buildings. Materiales de Construcción, 68 (331), 1–35.

- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, Á., & Valverde, J. M. (2017). Characterization of thermal energy storage materials for building applications. In III International Congress on Sustainable Construction and Eco-efficient Solutions. Seville.

Una revisión de las técnicas de implementación de almacenamiento térmico con mayor potencial de aplicación en edificación se ha plasmado en 1 artículo y 1 congreso internacional:

- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, A., & Ortiz, C. (2018). Advanced low-carbon energy measures based on thermal energy storage in buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82(August 2016), 3705–3749.

- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, Á., Ortiz, C., & Vilches, A. (2016). Evaluation of thermal energy storage technologies for heating, cooling and hot water applications road to zero energy buildings. In Proceedings of the 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment systems, SDEWES2016.0106 (pp. 1–16). Lisbon.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Los objetivos generales y específicos planteados se encuentran alineados a los retos la sociedad establecidos para el área de energía eficiente, limpia y segura [1], [2] (Fig. 4).

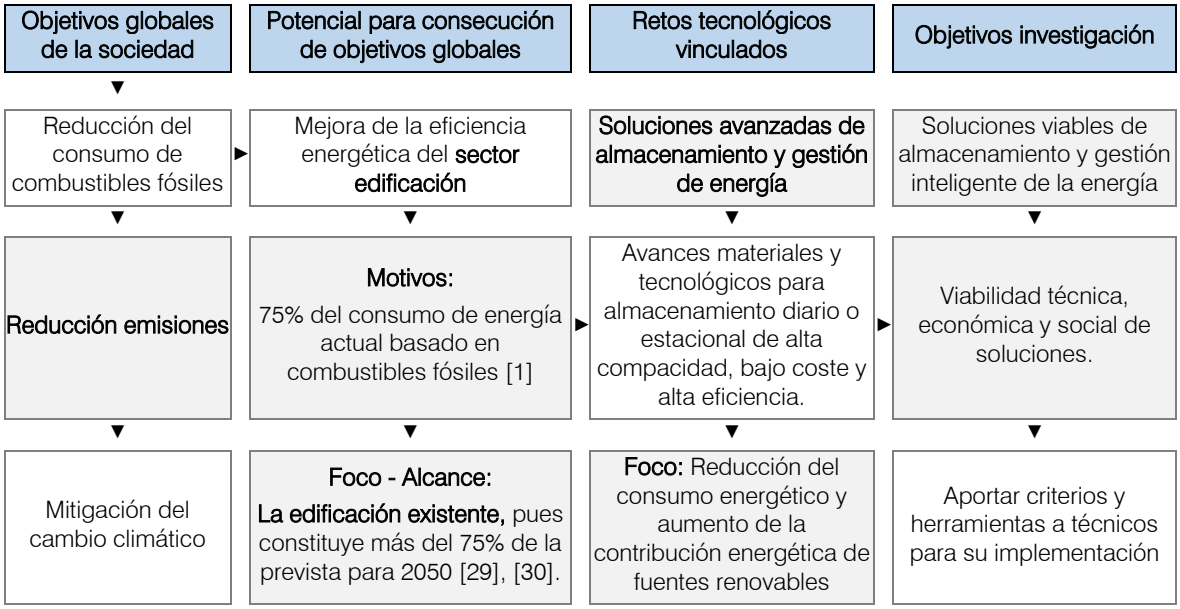


Fig. 4. Vinculación de los objetivos y alcance de la tesis a los retos de la sociedad [1], [2].

Objetivo general (OG):

Determinar soluciones de almacenamiento y gestión de la energía que posean un gran potencial de aplicación en la rehabilitación energética del parque edificado hacia edificios de demanda energética flexible con un alto grado de viabilidad técnica, económica y social.

Objetivos específicos (OE):

Para alcanzar el objetivo general planteado se plantean cuatro objetivos específicos:

OE1: Determinar que estrategias tecnológicas y de integración son más efectivas para alcanzar el pleno potencial de uso de los medios de almacenamiento en edificación.

OE2: Establecer qué materiales de almacenamiento poseen mayor potencial de utilización en edificación, en función de sus características físicas, cinéticas, químicas, térmicas y económicas.

OE3: Determinar bajo qué escenarios pueden establecerse niveles de coste óptimo en la implantación de soluciones de almacenamiento en la rehabilitación energética.

OE4: Aportar criterios y herramientas a técnicos que ayuden y faciliten la implementación de sistemas de almacenamiento ten edificación.

Alcance:

El estudio se desarrollará para diversos casos de estudio de rehabilitación energética, situados en Nueva York y España. Además, se determinará bajo que escenarios y condiciones de contorno las medidas podrán implementarse bajo niveles de coste óptimo. Con ello se tratará de conseguir una mayor repercusión y difusión internacional de los avances tecnológicos desarrollados, no siendo focalizados a las particularidades de un caso concreto.

4. METODOLOGÍA A SEGUIR

La metodología (M) de trabajo del presente proyecto de investigación se divide en 5 áreas de desarrollo:

· M1: Análisis de soluciones de intercambio y almacenamiento térmico. Determinación de oportunidades. Análisis de las soluciones de almacenamiento y gestión de la energía térmica aplicada a edificación desarrolladas hasta el momento, determinado éxitos y fracasos, y sus motivos, estableciendo:

-Estrategias de actuación con mayor efectividad.

-Soluciones con mayor potencial de implementación para la rehabilitación energética.

-Condiciones de contorno y requerimientos de aplicación.

Ello permite determinar qué tipo de soluciones y técnicas de implementación poseen mayor potencial de aplicación.

· M2: Investigación material. Análisis y selección. Análisis de los materiales (comerciales o de investigación) de almacenamiento de energía que puedan implementarse en soluciones de edificación, determinando:

-Propiedades termofísicas, cinéticas y químicas de los materiales, a corto y largo plazo.

-Técnicas más eficientes, estabilidad y viabilidad.

-Técnicas de integración en sistemas, analizando su viabilidad según modo de operación y eficiencia.

-Compatibilidad con los materiales o medios de integración en edificación.

-Disponibilidad y coste.

Ello permite determinar qué conjunto de materiales poseen mejores prestaciones para su uso en aplicaciones de edificación.

· M3: Propuesta de soluciones. A partir de los resultados obtenidos en los bloques M1 y M2, se desarrollarán varias propuestas de almacenamiento incorporando los últimos avances materiales y de integración determinados. Las propuestas serán definidas para su correcta implementación técnica y funcional. Cada solución será caracterizada teniendo en consideración principalmente su capacidad, potencia, eficiencia y coste.

· M4: Validación energética y ambiental. Análisis y validación de las soluciones planteadas en M3 mediante modelos computacionales simulados por cálculo nodal y/o de dinámica de fluidos (CFD), que permita determinar el comportamiento ambiental de las propuestas. El desarrollo de los modelos de simulación y validación conlleva:

-Simulación del comportamiento térmico de edificios y sistemas.

-Simulación de sistemas de almacenamiento.

-Modelos matemáticos predictivos para simulación de comportamiento de sistemas globales publicados en revistas científicas.

Con ello, en función de los criterios de aplicación de cada solución, se determinarán los resultados energéticos y medioambientales potenciales, junto con las estrategias y condiciones de contorno necesarias para su efectiva aplicación tecnológica (tipología edificatoria, perfil de ocupación y uso, clima, etc.)

· M5: Análisis de impacto y sostenibilidad. Aspectos medioambientales, económicos y sociales. Determinación de los escenarios donde las soluciones puedan implementarse de manera efectiva en función del impacto socioeconómico y medioambiental. Para ello, se determinará en que escenarios las soluciones pueden implementarse bajo niveles de coste óptimo.

Una vez obtenidos los resultados de cada paquete de trabajo, se procederá a la discusión de resultados, valoración tecnológica y conclusiones. Se analizarán los resultados económicos y ambientales de las soluciones halladas, se determinarán las oportunidades de mercado y de transferencia tecnológica, así como las nuevas líneas de investigación y desarrollo de interés.

5. PLAN DE TRABAJO

El plan de etapas fijado engloba los 6 meses de duración de la estancia. Las tareas derivadas de los objetivos y metodología de trabajo se resumen en la Tabla .

Tabla 1. Plan de etapas.

	Hitos – Consecución de tareas según metodología	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1	Fundamentos. Identificación de estrategias de gestión adaptadas a regulación energética regional						
2	Selección y caracterización de casos de estudio y escenarios potenciales de aplicación						
3	Definición y caracterización del modelo energético. Integración de componentes en la edificación						
4	Desarrollo de algoritmo predictivo y de control inteligente (Smart controller)						
5	Definición de metodologías de cálculo y evaluación viables. Métodos nodales y/o dinámicos						
6	Valoración medioambiental, económica y social de las medidas						
7	Análisis de mercado y oportunidades de implementación de las soluciones propuestas.						
8	Discusión de resultados. Determinación de estrategias de aplicación.						
9	Conclusiones						
10	Difusión de resultados				*		**

* Desarrollo de comunicación en seminario o congreso internacional

** Desarrollo de artículo para publicación en revista científica.

Durante los meses finales de la estancia, se plantea el desarrollo de una comunicación para un seminario o congreso internacional, y un artículo científico, como estrategia de difusión de los resultados obtenidos.

6. AVALACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA LINEA DE INVESTIGACIÓN

Dicha línea de investigación se avala tras la consecución de los siguientes convenios previos de financiación, contratos y reconocimientos obtenidos en convocatorias públicas competitivas a nivel nacional e internacional:

Financiación y contratos:

- Ayudas para la Formación del Personal Universitario (FPU). Convocatoria financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Seleccionado entre las 24 plazas otorgadas en la convocatoria FPU 2014 para Ingenieros y Arquitectos de toda España. Cuantía: 61.544 €
- Estancia internacional de 3 meses en The University of Edinburgh (2017). Convocatoria financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Gobierno de España, en la convocatoria de Ayudas a la movilidad para estancias breves y traslados temporales 2016. Cuantía: 5010 €
- Estancia internacional de 3 meses en la Technical University of Munich (TUM) (2018). Convocatoria financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Gobierno de España, en la convocatoria de Ayudas a la movilidad para estancias breves y traslados temporales 2017. Cuantía: 4290 €

Reconocimientos y Premios:

- Premio Joven a la Cultura Científica 2018 en el ámbito de las ciencias experimentales, otorgado por la Delegación de Igualdad, Juventud y Relaciones con la Comunidad Universitaria del Ayuntamiento de Sevilla. Cuantía: 4000€
- Primer premio a la Mejor Publicación Científica en Arquitectura y Ciencias de la Construcción 2018, otorgado por el Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción de Sevilla (España). Cuantía: 400€
- Primer premio internacional YEAR AWARD 2018, a la mejor idea de proyecto de investigación durante la YEAR Network Conference en Viena (Austria), en junio de 2018, organizada por la Young European Associated Researchers (YEAR, www.year-network.com).
- Reconocimiento al mejor artículo de investigación 2017 presentado en el congreso internacional III CICSE por la revista Materiales de Construcción del Centro Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC). Mayo 2017.

7. RESULTADOS ESPEREADOS

Los trabajos de investigación futuros se basarán en la validación de nuevas técnicas de implementación de soluciones de almacenamiento inteligente en edificación. Los trabajos de investigación irán dirigidos a la optimización operacional de la demanda edificatoria hacía la consecución de edificios con demanda energética flexible, a través de aplicaciones activas y pasivas de gestión energética. Las estrategias operacionales se basarán en un sistema de gestión inteligente que resolverá una evaluación multicriterio basada en la predicción futura de demanda de energía (respaldada por ocupación predefinida del usuario final, datos meteorológicos presentes y pronosticados y monitoreo de la carga del edificio), evolución de la tarifa eléctrica y rendimiento del edificio.

La figura 5 ilustra un ejemplo de integración de un sistema de gestión inteligente de la demanda energética en edificios, donde los recursos energéticos disponibles (instalaciones renovables locales y/o red eléctrica) son gestionados de manera automática, a través del desplazamiento de los periodos de consumo hacia periodos horarios más favorables de operación, desde el punto de vista económico y ambiental, gracias a las soluciones de almacenamiento térmico y/o eléctrico.

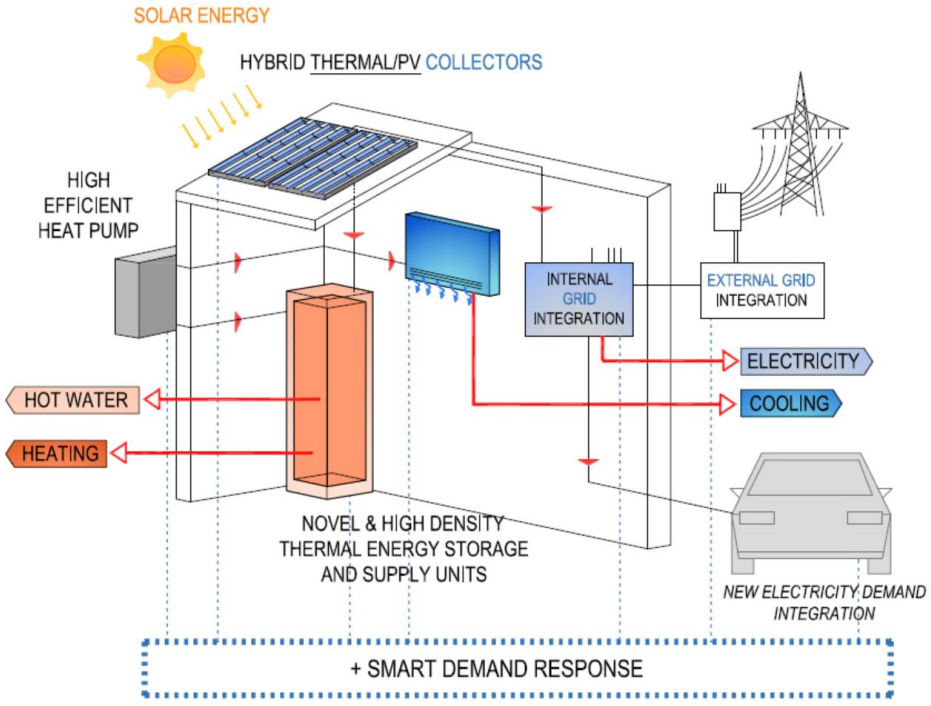


Fig. 5. Ejemplo de gestión inteligente de demanda energética en edificios

De los resultados obtenidos se espera desarrollar una comunicación a un congreso internacional, y una publicación científica en una revista de alto impacto.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Gobierno de España, *Estrategia española de ciencia y tecnología y de innovación 2013-2020*. Ministerio de Economía y Competitividad. Gobierno de España, 2013.

[2] European Commission, *Horizon 2020 Work Programme 2016-2017 in the area of Societal Challenge 3 "Secure, Clean and Efficient Energy*". European Union, 2016.

[3] European Commission, *An EU Strategy on Heating and Cooling (COM(2016) 51 final)*. 2016.

[4] International Energy Agency, *Transition to Sustainable Buildings. Strategies and Opportunities to 2050*. OECD/IEA, 2013.

[5] "UK Data Service. A model to estimate the diversity of domestic energy demand at high-resolution." .

[6] E. McKenna and M. Thomson, "High-resolution stochastic integrated thermal-electrical domestic demand model," *Applied Energy*, vol. 165, pp. 445–461, 2016.

[7] M. Muratori, "Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand," *Nature Energy*, vol. 3, no. 3, pp. 193–201, 2018.

[8] J. Lizana, R. Chacartegui, A. Barrios-Padura, and J. M. Valverde, "Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review," *Applied Energy*, vol. 203, pp. 219–239, 2017.

[9] A. Arteconi, N. J. Hewitt, and F. Polonara, "State of the art of thermal storage for demand-side management," *Applied Energy*, vol. 93, pp. 371–389, 2012.

[10] J. Lizana, D. Friedrich, R. Renaldi, and R. Chacartegui, "Energy flexible building through smart demand-side management and latent heat storage," *Applied Energy*, vol. 230, pp. 471–485, 2018.

[11] P. Siano, "Demand response and smart grids - A survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461–478, 2014.

[12] R. Renaldi, A. Kiprakis, and D. Friedrich, "Optimisation of Thermal Energy Storage Integration in a Residential Heating System," in *SusTEM 2015*, 2015, pp. 131–139.

[13] S. Kalaiselvam and R. Parameshwaran, *Thermal energy storage technologies for sustainability: systems design, assessment, and applications*, 1st ed. Academic Press, 2014.

[14] H. Mehling and L. F. Cabeza, *Heat and cold storage with PCM. An up to date introduction into basics and applications*. Springer, 2008.

[15] S. Kalaiselvam and R. Parameshwaran, "Chapter 4: Sensible Thermal energy Storage," in *Thermal energy storage technologies for sustainability: systems design, assessment, and applications*, 1st ed., Academic Press, 2014, pp. 65–81.

[16] P. Tatsidjodoung, N. Le Pierrès, and L. Luo, "A review of potential materials for thermal energy storage in building applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 327–349, 2013.

[17] S. Kalaiselvam and R. Parameshwaran, "Chapter 5: Latent Thermal energy Storage," in *Thermal energy storage technologies for sustainability: systems design, assessment, and applications*, 1st ed., Academic Press, 2014, pp. 83–126.

[18] S. Kalaiselvam and R. Parameshwaran, "Chapter 6: Thermochemical energy storage," in *Thermal energy storage technologies for sustainability: systems design, assessment, and applications*, 1st ed., Academic Press, 2014, pp. 127–144.

[19] J. Cot-Gores, A. Castell, and L. F. Cabeza, "Thermochemical energy storage and conversion: A-state-of-the-art review of the experimental research under practical conditions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 7, pp. 5207–5224, 2012.

[20] L. Navarro *et al.*, "Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 2. Integration as passive system," *Renewable Energy*, 2015.

[21] L. Navarro *et al.*, "Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 1. Active storage systems," *Renewable Energy*, vol. 88, no. forthcoming, pp. 526–547, 2016.

[22] J. Heier, C. Bales, and V. Martin, "Combining thermal energy storage with buildings – a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 1305–1325, 2015.

[23] L. Hyman, "Overview," in *Sustainable Thermal Storage Systems: Planning, Design, and*

Operations, The McGraw-Hill, 2011, pp. 1–23.

[24] D. Sandoval, P. Goffin, and H. Leibundgut, "How low exergy buildings and distributed electricity storage can contribute to flexibility within the demand side," *Applied Energy*, vol. 187, pp. 116–127, 2017.

[25] L. Romero Rodríguez, J. Sánchez Ramos, S. Álvarez Domínguez, and U. Eicker, "Contributions of heat pumps to demand response: A case study of a plus-energy dwelling," *Applied Energy*, vol. 214, no. February, pp. 191–204, 2018.

[26] B. Cui, D. Gao, F. Xiao, and S. Wang, "Model-based optimal design of active cool thermal energy storage for maximal life-cycle cost saving from demand management in commercial buildings," *Applied Energy*, 2016.

[27] C. Finck, R. Li, R. Kramer, and W. Zeiler, "Quantifying demand flexibility of power-to-heat and thermal energy storage in the control of building heating systems," *Applied Energy*, 2017.

[28] R. Renaldi, A. Kiprakis, and D. Friedrich, "An optimisation framework for thermal energy storage integration in a residential heat pump heating system," *Applied Energy*, 2015.

[29] GTR, A. Cuchí, and P. Sweatman, *Informe GTR 2014. Estrategia para la rehabilitación. Claves para transformar el sector de la edificación en España*. 2013.

[30] International Energy Agency, *Technology Roadmap. Energy efficient building envelopes*. France: OECD/IEA, 2013.