

# Construyendo el futuro con Edificios 2.0: el centro de investigación CIESOL

Por **Nova Ciencia** - May 17, 2023



*Centro de investigación CIESOL.*



Artículo de

**José Domingo Hervás, M<sup>a</sup> del Mar Castilla y Manuel Pérez**

Investigadores de CIESOL.

En los índices de referencia de los mercados europeos, **la subida de algunos combustibles fósiles está tensionando el precio de la electricidad en los mercados eléctricos dentro de la Unión Europea (UE)**. Esta subida se debe a varios factores geopolíticos que no tienen que ser excluyentes entre sí, pero que están acelerando el **cambio energético de un modelo dependiente de**

**combustibles fósiles**, limitados, contaminantes y en manos de unos pocos países, a otro donde en **el mix energético las energías renovables cubren, si no toda, una parte importante de la demanda energética**.

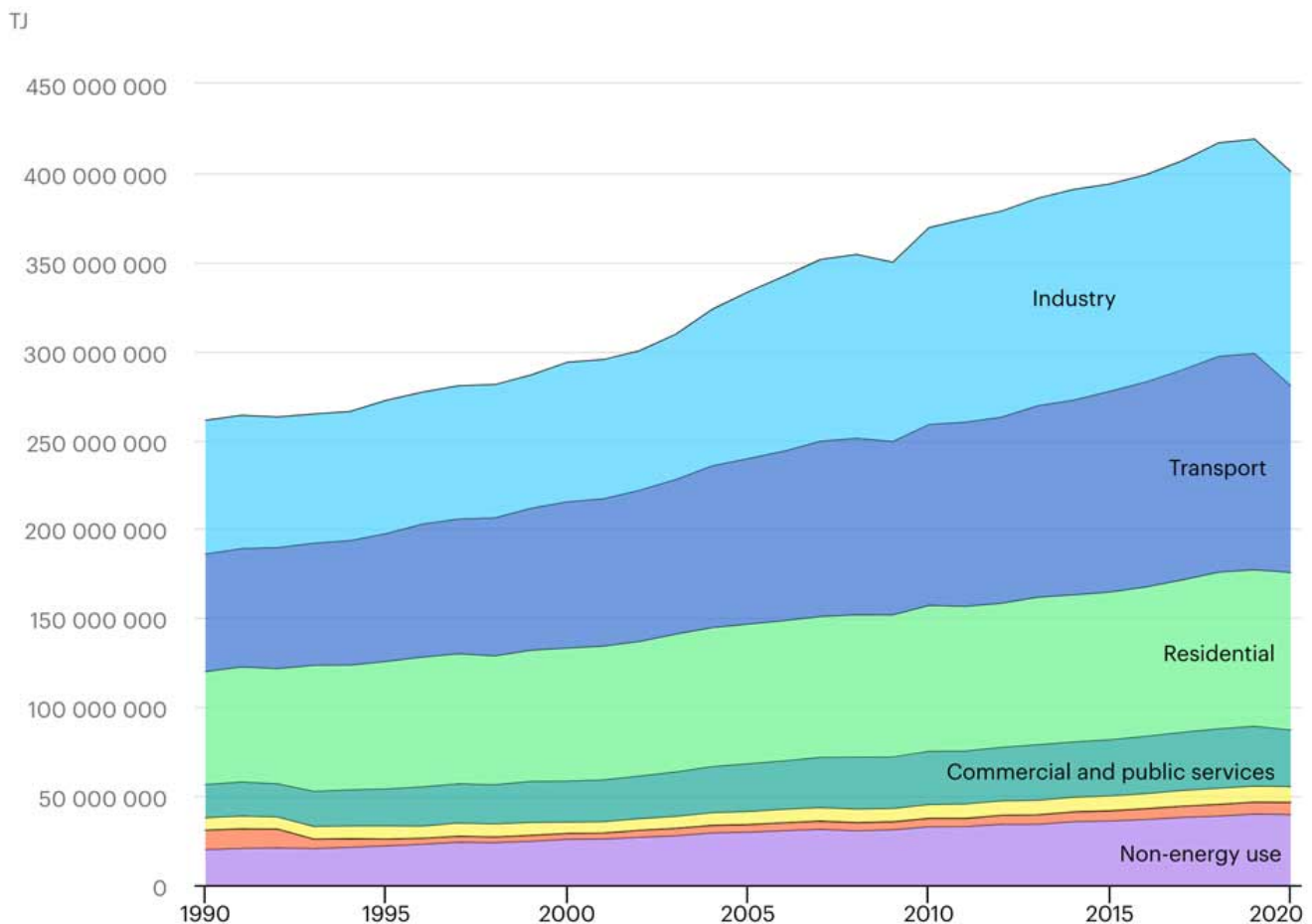
Aunque en los países desarrollados, el gasto energético se suele asociar principalmente al sector de transporte o al sector industrial, **el gasto asociado a edificios del sector residencial es aproximadamente un cuarto de la energía total consumida, elevándose este porcentaje al 31.4%** si nos atenemos a los datos a nivel nacional. El sector de la construcción es crucial para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales de la UE.



Disponer de **mejores edificios y más eficientes energéticamente mejoran la calidad de vida de los ciudadanos** al tiempo que aportarán beneficios adicionales a la economía y la sociedad. Para impulsar la eficiencia energética de los edificios, la UE ha establecido un marco legislativo que incluye la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios 2010/31/UE (EPBD) y la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE.

Centrándonos a nivel nacional, **el 69,4% de la demanda energética de los edificios residenciales en 2018 se concentró en calefacción (42,7%) y electrodomésticos (26,7%)**. Produciendo un aumento del consumo en la edificación del 1,2%/año durante el periodo 2000-2018 en el sector residencial, impulsado por la demanda eléctrica (+3,1%/año). En el sector residencial, las actuaciones puestas en marcha por el gobierno de España siguen las directrices

europeas. En particular, las Directivas de Eficiencia Energética (DEE) y de los Edificios (DEEE), revisadas en 2018 en el marco del "Paquete de Invierno", donde destaca la **estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España**. Por lo que se puede concluir que se hace necesario, si se quieren cumplir los objetivos de ahorro energético y de cero emisiones determinados por los gobiernos nacional y por la UE, no solo construir nuevos edificios con estos objetivos en mente sino también **adaptar o rehabilitar los edificios ya existentes** para alcanzar tal fin.



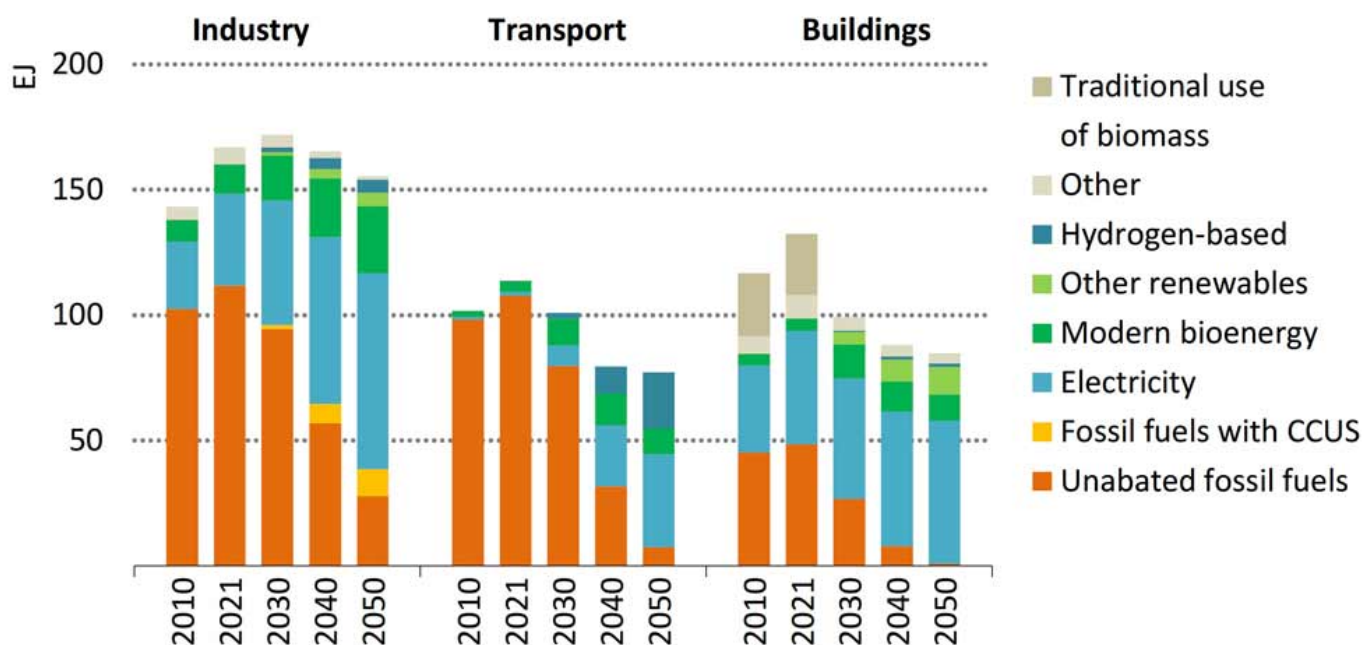
*Consumo energético por sector en la franja 1990-2019 (Agencia Nacional de la Energía).*

**Los edificios bioclimáticos son aquellos que han sido diseñados teniendo en cuenta las condiciones climáticas del lugar donde van a ser construidos,** intentando maximizar los recursos disponibles, como sol, lluvia, viento, etc., para disminuir su impacto ambiental y reducir su consumo de energía. Las medidas adoptadas dentro del edificio para conseguir estos objetivos pueden ser de tipo pasivo o de tipo activo.

Por otro lado, y situándolos en un escalón superior si tenemos en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero, **se denominan Edificios de Energía Cero a aquellos con un consumo de energía neta cercana a cero en un año típico**. Por este motivo la energía demandada por el edificio procederá de fuentes de

energías renovables instaladas en el propio edificio. Estas fuentes de energías renovables están acompañadas de sistemas de almacenamiento, baterías para el caso de instalaciones fotovoltaicas o tanques térmicos para los campos de placas solares planas, inversores y otros componentes electrónicos que forman en su conjunto lo que se conoce como microrred eléctrica.

La agencia internacional de la energía (IEA por sus siglas del inglés *International Energy Agency*), en su último informe anual del año 2022, predice que en el sector de los edificios para alcanzar el objetivo de cero emisiones en el año 2050 la energía consumida deberá de ser proporcionada mediante electricidad que, a su vez, se producirá en un alrededor del 70% por plantas solares fotovoltaicas y generadores eólicos y cerca de un 90% por fuentes de energía renovable. Las otras fuentes energéticas provendrán de fuentes de energía renovable instaladas en el propio edificio y que conformarán su microrred eléctrica.



*Evolución del consumo final por sector en un escenario de cero emisiones periodo 2010-2050 (Agencia Nacional de la Energía).*

Sin embargo, **no basta con que el aporte energético del edificio se haga mediante fuentes de energía renovable**, bien sea de manera indirecta por medio de la electricidad consumida o de manera directa con los sistemas renovables instalados en el edificio, también **se necesita aumentar la eficiencia energética del edificio** mejorando la forma en que se gestiona el uso de esa energía.

La **gestión de los flujos de energía en microrredes energéticas**, es decir, la toma de decisiones de cuándo utilizar la energía proveniente de las fuentes de energía renovable, la guardada en los sistemas de almacenamiento o cogerla directamente de la red principal, no es una tarea trivial si se pretende que el edificio sea de energía cero reduciendo, por tanto, sus emisiones de gases de efecto

invernadero y su dependencia de los combustibles fósiles. Por este motivo se hace necesario el **desarrollo e implantación de sistemas de control avanzados que se encarguen de gestionar estos flujos de energía** descargando de tal tarea a los usuarios del edificio.

Los sistemas de control pueden supervisar y gestionar el uso de los diferentes sistemas que contenga el edificio, no solo de la microrred, así como la comunicación entre estos. Para alcanzar dicho fin se necesita **desarrollar modelos de estos sistemas que permitan predecir su comportamiento ante diversas circunstancias** y que, junto con la adquisición de datos en tiempo real de estos sistemas, el sistema de control utilizará para la toma de decisiones.

Estos sistemas de control se pueden beneficiar del uso de Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (NTIC), como el Internet de las Cosas (IoT), el aprendizaje automático (*machine learning*), el uso masivo de datos (*Big Data*), la realidad aumentada, etc., que utilizándose conjuntamente con los sistemas de control mejorarán la gestión de energía del edificio y su eficacia. Por ejemplo, utilizando grandes cantidades de datos suministrados por dispositivos IoT se pueden calcular por medio de técnicas de aprendizaje automático varios tipos de modelo que serán útiles a los sistemas de control para su toma de decisiones.

Por tanto, podríamos decir que, de manera equivalente al campo industrial donde se ha acuñado el concepto de Industria 4.0 para denominar a la nueva revolución que ha introducido en dicho campo el uso de las NTIC, entraríamos en un **nuevo concepto de edificio 2.0 donde por medio de los sistemas de control y las NTIC los edificios pueden evolucionar hacia Edificios de Energía Cero** reduciendo, por tanto, sus emisiones de gases invernadero y mejorando su eficiencia para cumplir la agenda ambiental marcada por los diferentes gobiernos.

## El centro de investigación CIESOL

El centro de investigación **CIESOL** se encuentra situado en el campus de la Universidad de Almería (UAL) y se trata de un Centro Mixto de Investigación entre el CIEMAT y la UAL, acogiendo a grupos de investigación de ambas instituciones. Se construyó bajo el amparo del **proyecto ARFRISOL**, este proyecto Científico-Tecnológico de carácter Estratégico del Plan Nacional de I+D+I 2004-2011 fue cofinanciado con fondos FEDER, subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y liderado por la Unidad de Eficiencia Energética del CIEMAT incluyendo, como participantes, a la UAL, a la Universidad de Oviedo y a diversas entidades privadas. **CIESOL fue uno de los cinco contenedores de investigación considerados** que fueron construidos en varios emplazamientos dentro del territorio

nacional (los otros cuatro se encontraban en Soria, Madrid, Oviedo y Tabernas (Almería)) con diferentes condiciones climáticas.

El objetivo del proyecto era investigar **cómo con diferentes medidas bioclimáticas pasivas y medidas activas, el uso de sistemas basados en energías renovables, se conseguía reducir el consumo energético de los edificios a cero**, o tener un consumo casi nulo, mientras que el confort de los usuarios de dichos edificios no se veía comprometido, ya que el rendimiento y productividad de los usuarios de edificios está ligado a su confort, o sensación de bienestar, dentro del mismo. Demostrando así la idoneidad de la arquitectura bioclimática y la energía renovable en edificios públicos para la rehabilitación térmica: calefacción y refrigeración.



### *Subsistemas energéticos de CIESOL.*

Entre las medidas bioclimáticas pasivas construidas en el edificio cabe destacar:

1. la utilización de diferentes cerramientos en función de la orientación. Por ejemplo, para las orientaciones sur y este se optó por una fachada ventilada, es decir, un cerramiento de alta inercia térmica;
2. el retranqueo de las ventanas ubicadas en las fachadas sur y este para aprovechar la incidencia de la radiación solar durante los meses más fríos y evitarla durante los más cálidos;
3. sombrear la cubierta del edificio mediante la instalación de un campo fotovoltaico y un campo colector.

Finalmente, es importante destacar que, como principal estrategia activa, el edificio cuenta con un **sistema de climatización basado en refrigeración solar**. Para monitorizar todas estas instalaciones el centro de investigación CIESOL fue equipado con una amplia red de sensores compuesta por más de 725 señales que se integraban en un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA).

Sin embargo, en el diseño del edificio no se tuvo en cuenta la implantación de estrategia de control y los estudios posteriores demostraron que éstas eran necesarias para que los usuarios del edificio consiguieran el confort térmico en determinadas épocas del año; debido a que el edificio está ubicado en la provincia de Almería, al sureste de España, con un clima mediterráneo seco caracterizado por inviernos suaves y veranos calurosos. Por ello, **a lo largo del proyecto ARFRISOL se diseñaron y probaron diversos sistemas de control del confort térmico para estancias individuales con muy buenos resultados** que complementaron las medidas bioclimáticas propias del edificio.

Quince años después de su construcción, y tras más de una docena de años de uso, el sistema SCADA se adaptó a los tiempos actuales donde diversos paradigmas como Internet de las Cosas (IoT), computación y almacenamiento en la nube o sistemas ciberfísicos se están imponiendo en la gestión, supervisión y control de sistemas. Dicha adaptación se realizó gracias a una subvención de infraestructuras y equipamientos de I+D+i para entidades públicas de la Junta de Andalucía. Esta subvención se utilizó para renovar todo el hardware y software del sistema de adquisición de edificios, que ya estaba obsoleto, e incluir nuevos hardware como un sistema de balizas para detectar la presencia de personas en las habitaciones, un punto de recarga para vehículos eléctricos o NTIC que no estaban disponibles durante el diseño y la construcción del edificio. De esta manera, con el nuevo sistema SCADA desarrollado y utilizando las nuevas tecnologías antes comentadas, se ha conseguido una mejor **integración e interacción con los subsistemas del edificio** (microrred, máquina de absorción, panel eléctrico inteligente, punto de recarga para vehículos eléctricos) permitiendo, además, almacenar todos los datos de su vasta red de sensores en una nube privada a disposición de todos los investigadores del centro.

## Edificios 2.0: integración de tecnologías innovadoras para lograr una huella de carbono cero

La integración de nuevas tecnologías en edificios se fundamenta en la integración de energías renovables y la reducción del consumo de energía proporcionando, simultáneamente, una sensación de comodidad para los usuarios del edificio. Para ello, **la unidad funcional de Modelado y Control Automático del edificio CIESOL** está desarrollando dos proyectos de investigación que tienen como objetivo común **analizar los efectos y beneficios de aplicar una transformación digital**

**en edificios** (residenciales, comerciales o institucionales) con el fin de lograr edificios con una huella de carbono casi nula. Aunque los resultados derivados de esos proyectos se enfocan en el edificio CIESOL, estos son aplicables a cualquier otro edificio que pueda integrar energías renovables y una red de sensores apropiada.

Más concretamente, el proyecto **NTech4Build**, acrónimo de **Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética en los edificios**, pretende finalizar la integración de tecnologías innovadoras en el edificio CIESOL para su uso posterior en el desarrollo de sistemas de control automático permitiendo obtener edificios más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. El proyecto NTech4Build se centra en tres áreas específicas, las cuales están claramente definidas:

- **Localización de comportamientos anómalos en el edificio mediante Big Data y técnicas de aprendizaje automático.** El mantenimiento correctivo es una metodología que permite solucionar comportamientos anómalos cuando se detectan fallos o quejas de los usuarios, lo cual puede ocasionar mayores consumos de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, es fundamental, contar con un sistema predictivo capaz de realizar una detección temprana de anomalías y permita solucionar el problema en el menor tiempo posible.

La incorporación del IoT en el mundo de la edificación ha permitido obtener una gran cantidad de datos que se pueden utilizar para incrementar la eficiencia energética y el rendimiento desde tres puntos de vista diferentes: edificio, sistema y dispositivo. De esta manera, a partir de estos datos históricos, y utilizando técnicas basadas en aprendizaje automático, la localización de anomalías se define como el proceso de identificar comportamientos inusuales en los datos, y razonar cuál podría ser el problema que ha causado la anomalía.

- **Determinar los patrones de ocupación en edificios.** Calcular la cantidad de personas presentes en edificios es crucial debido a que, en general, los seres humanos llevan a cabo sus actividades diarias en ellos. Asimismo, las personas, debido a su temperatura corporal, generan una gran cantidad de calor y, además, también son responsables del incremento de la concentración de dióxido de carbono ya que lo generan durante el proceso de respiración.





*Equipos energéticos del edificio CIESOL.*

Por otro lado, los usuarios de edificios suelen tener comportamientos repetitivos, como entrar y salir a horas específicas, dependiendo del propósito del edificio. Por ello, estimar la cantidad de personas en edificios residenciales, comerciales e institucionales puede ayudar a optimizar el uso de energía y la gestión de los espacios disponibles. Para este fin, se pueden emplear diversas tecnologías que abarcan desde sistemas simples con sensores de CO<sub>2</sub> y cámaras, hasta sistemas más avanzados que utilizan radiobalizas y localizadores, que pueden estar integrados en teléfonos inteligentes para obtener información precisa sobre la ubicación y los movimientos de los usuarios.

- **Análisis de la productividad de sistemas fotovoltaicos y térmicos mediante técnicas de aprendizaje automático.** La evaluación del rendimiento de este tipo de sistemas es fundamental para alcanzar la meta de construir edificios de energía casi cero, ya que esto implica integrar fuentes de energía renovable en los edificios. El edificio CIESOL, por ejemplo, tiene instalado un campo de colectores solares planos para generar agua caliente y un campo fotovoltaico para producir energía eléctrica. Para lograr una eficiencia energética óptima, es imprescindible estimar el rendimiento y la producción de energía de estos sistemas, lo que requiere conocer las condiciones meteorológicas del pasado y del presente, incluyendo la presencia de polvo en suspensión y nieve. No obstante, los dispositivos de medición de alta calidad necesarios para este fin son costosos. Por eso, se pueden usar técnicas de aprendizaje automático basadas en la captación de imágenes y algoritmos para detectar fallos y evaluar el rendimiento de estos sistemas.

El segundo proyecto de investigación conocido como **COMMIT4.0EB** y cuyo acrónimo viene de ***Sistemas de Control y Gestión usando Tecnologías de la Información y la Comunicación para Edificios de Energía Cero*** tiene como meta fundamental el diseño de estrategias de control efectivas, colaborativas y eficientes que permitan integrar las diversas fuentes de energía del edificio CIESOL y su demanda. Con esto, se lograría mantener un adecuado funcionamiento del edificio a distintos niveles mientras se consigue una reducción de sus emisiones. El proyecto COMMIT4.0EB se basa en algunos de los desarrollos e integraciones previamente elaborados en el ámbito del proyecto de investigación NTech4Build. Este proyecto incluye tres áreas principales de mejora e investigación:

- **Gemelos digitales de edificios.** Se puede definir gemelo digital como una versión simulada de un sistema físico real que recolecta datos en tiempo real de su entorno y del propio sistema, y utiliza estos datos para predecir su comportamiento. De esta manera, si se considera un gemelo digital de un edificio, éste puede, por ejemplo, proporcionar información vital para el desarrollo de sistemas de control, detectar posibles problemas y ofrecer información útil para mejorar el funcionamiento del edificio, permitir la optimización del sistema de climatización o, incluso, realizar previsiones de la producción y la demanda. En resumen, el gemelo digital proporciona información valiosa para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema físico real.
- **Confort de los usuarios y edificios con huella de carbono casi nula.** Es crucial asegurar el bienestar de las personas ya que dicho bienestar está directamente relacionado con su productividad. Por otro lado, hay que tener en cuenta que los seres humanos pasan la mayoría de su tiempo dentro de edificios. Además, el confort no se enfoca exclusivamente en el ambiente térmico, sino que también engloba a otros factores como la iluminación y la calidad del aire, ya que es una sensación subjetiva influenciada por factores físicos, fisiológicos y psicológicos. Los sistemas de control automático para garantizar el confort de los usuarios deben considerar estos factores incluyendo también un enfoque desde la perspectiva de género. Sin embargo, mantener condiciones adecuadas para el bienestar de los usuarios requiere un consumo de energía significativo. Por lo tanto, en los edificios de energía casi nula, se debe buscar un equilibrio entre el consumo de energía y la sensación de bienestar de los usuarios.
- **Gestión energética en edificios.** Para lograr un edificio de bajo consumo energético es esencial gestionar el edificio como un todo, considerando los sistemas que lo componen y aprovechando al máximo las fuentes de energía renovable. También es importante utilizar sistemas de almacenamiento de energía y reducir el uso de energías convencionales. Un buen ejemplo de esto es el edificio CIESOL, donde se deben gestionar adecuadamente la instalación de frío solar, el punto de carga para vehículos eléctricos y la microrred energética.

## Cuáles son las ventajas de un edificio bioclimático

Un edificio bioclimático es aquel que se ha diseñado con la finalidad de beneficiarse de su ubicación y el entorno que lo rodea para brindar confort a sus usuarios y reducir el consumo de energía. Sin embargo, en ciertos casos esto no es suficiente debido a las condiciones climáticas de la zona o a una mala gestión por parte de los ocupantes. Por otro lado, muchos edificios ya existentes tienen limitadas posibilidades de adaptación para reducir su consumo energético. En estos casos, es posible mejorar su eficiencia energética mediante la integración de sistemas de control automático y el uso de energías renovables.

Hoy en día, la mayoría de los sectores están en plena transformación digital gracias al uso de tecnologías innovadoras como IoT, realidad aumentada, IoT, etc. La combinación de estas tecnologías con los sistemas de control automático puede dar lugar a una nueva generación de edificios, a los que se podría hacer referencia como edificios 2.0, que se caracterizan por una gestión eficiente de la energía generada y consumida, mejorando la eficacia y eficiencia del edificio y garantizando el bienestar de sus ocupantes, incluso en situaciones adversas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i TED2021-131655B-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y "Unión Europea NextGenerationEU" y del proyecto de I+D+i PID2021-126889OB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la "Unión Europea".

---