

Transformación digital y edificios 2.0

El Edificio CIESOL, modelo de idoneidad de la arquitectura bioclimática y la energía solar en edificios públicos para calefacción y refrigeración

María del Mar Castilla y José Domingo Álvarez

Grupo de Investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica (ARM).
Universidad Almería

En los índices de referencia de los mercados europeos, la subida de algunos combustibles fósiles, como el petróleo o el gas, está tensionando el precio de la electricidad en los mercados a nivel nacional y en otros países de la Unión Europea (UE)^[1]. Esta subida se debe a varios factores que no tienen que ser excluyentes entre sí: 1) el hecho de que se haya podido alcanzar el pico de producción de los principales suministradores de gas a nivel europeo, Argelia y Rusia^[2]; 2) diversas tensiones geopolíticas que afectan al suministro como la guerra en Ucrania^[3]; y, 3) problemas logísticos debido al repunte de la demanda energética una vez que se ha dejado atrás la pandemia provocada por la Covid-19^[4]. Estos factores están acelerando el cambio

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

El sector de la construcción es crucial para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales de la Unión Europea

Aunque en los países desarrollados, el gasto energético se suele asociar principalmente al sector industrial o al sector de transporte, el gasto asociado a edificios del sector residencial es aproximadamente un cuarto de la energía total consumida^[5] (ver figura 1), elevándose este porcentaje al 31,4 % si nos atenemos a los datos a nivel nacional^[6]. El sector de la construcción es crucial para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales de la UE. Al mismo tiempo, 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)^[6]. 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^[7]. 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.

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



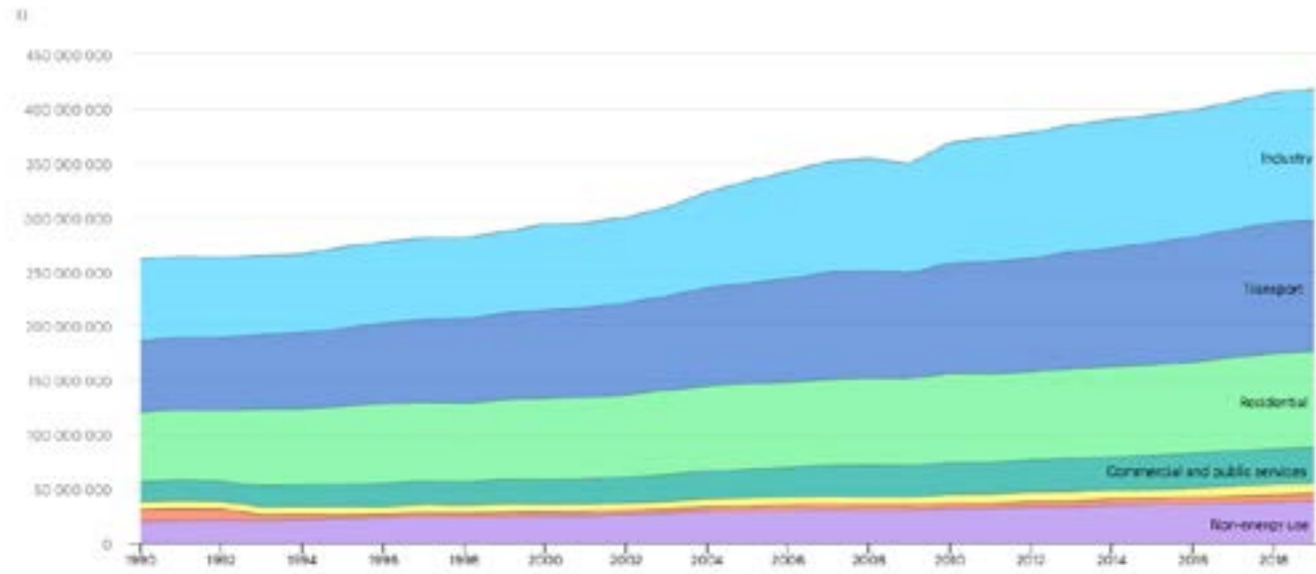
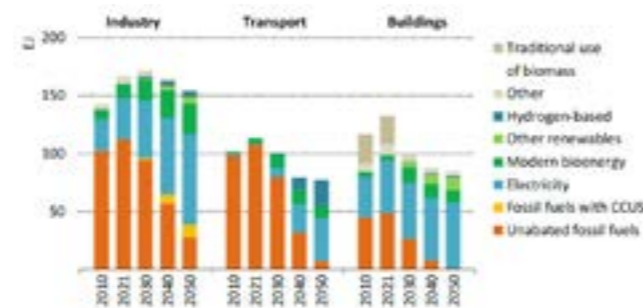


Figura 1. Consumo energético por sector en la franja 1990-2019[8]

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, tenemos los Edificios de Energía Cero (EEC) que son aquellos edificios 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^[5], (ver figura 2). Las otras fuentes energéticas provendrán de fuentes de energía renovable instaladas en el propio edificio y que conformarán su microrred energética.

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 electri-



cidad 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 o por lo menos se quiere reducir significativamente su dependencia de energía procedente de combustibles fósiles y, por lo tanto, sus emisiones de gases de efecto invernadero. 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



Ciesol sigue el patrón de edificio administrativo público construido con hormigón armado, cristal, lamas de aluminio y cerámica

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.

Además, el 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., pueden utilizarse conjuntamente con los sistemas de control para mejorar la gestión de energía del edificio y reducir su consumo mejorando 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 EEC reduciendo, por tanto, sus emisiones de gases invernadero y mejorando su eficiencia para cumplir la agenda ambiental marcada por los diferentes gobiernos.

El Edificio CIESOL

El centro de investigación CIESOL (<https://ciesol.com/>) se encuentra situado en el campus de la Univer-

sidad de Almería (UAL) y se trata de un Centro Mixto de Investigación entre el CIEMAT y la UAL, acogiendo a grupos de investigación de ambos centros (ver figura 3). Fue diseñado y construido como uno de los cinco contenedores de investigación (CDdI) considerados dentro 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, además de a la UAL y a la Universidad de Oviedo, a diversas entidades privadas como constructoras, fabricantes e instaladoras de captadores solares y módulos fotovoltaicos, fabricantes de bombas de absorción, etc.



Centro de investigación CIESOL situado en el campus de la UAL



Dentro del ámbito del proyecto ARFRISOL se construyeron otros cuatro edificios en diferentes localizaciones del territorio nacional, Madrid, Soria, Oviedo y Tabernas (Almería), con diferentes condiciones climáticas, teniendo en cuenta su ubicación, el clima y el uso de materiales autóctonos, de manera que con un consumo de energía convencional nulo o mínimo y utilizando energías renovables, el confort de los usuarios de estos edificios se mantuvo dentro de un rango óptimo. Por ello, el objetivo principal del proyecto de investigación PSE-ARFRISOL fue demostrar la idoneidad de la arquitectura bioclimática y la energía solar en edificios públicos para la rehabilitación térmica: calefacción y refrigeración.

Los edificios bioclimáticos maximizan sol, lluvia y viento para disminuir su impacto ambiental y reducir su consumo de energía

Para lograr los objetivos del proyecto ARFRISOL, el edificio CIESOL fue equipado con una amplia red de sensores para monitorear más de 725 señales y con un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA). Además, como se ha señalado anteriormente, el edificio CIESOL fue diseñado y construido siguiendo criterios de arquitectura bioclimática. Más concretamente, entre las medidas bioclimáticas pasivas, caben 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^[9]. Sin embargo, en el diseño del edificio se tuvo en cuenta cualquier estrategia de control y los estudios posteriores demostraron que estas eran necesarias para que los usuarios del edificio consiguieran el confort térmico en determinadas épocas del año^[9]. Cabe mencionar que el edificio está ubicado en la provincia de Almería, al sureste de España, que tiene un clima mediterráneo seco con inviernos suaves, pero 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^{[10],[11],[12],[13]}.

Renovación de las instalaciones

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, a través de la subvención de infraestructuras y equipamientos de I+D+i para entidades públicas de la Junta de Andalucía (ID 5447-20, Sistema abierto y escalable de supervisión, gestión eficiente de la energía y control de confort del edificio singular y estratégico CIESOL (publicado en BOJA N° 29, 12 de febrero de 2020, página 233). 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, como la inclusión del paradigma IoT para gestionar el edificio y el diseño de una arquitectura de nube privada para almacenar los datos del sistema SCADA (ver figura 4)^[14]. En concreto,

todos los subsistemas de CIESOL como la microrred, el punto de recarga para vehículos eléctricos, la instalación de refrigeración solar, etc., están supervisados por el nuevo sistema SCADA de edificios CIESOL realizado mediante el software EcoStruxure de Schneider Electric basado en dispositivos IoT, consiguiendo una interacción entre la instalación de refrigeración solar, el panel eléctrico inteligente, las señales técnicas, los analizadores de red y el software existente Power Monitoring Expert para el panel eléctrico inteligente. Todos los datos recogidos se guardan en una nube privada ubicada en el centro TICs de la UAL.

Tecnologías digitales para obtener huella de carbono cero

Tras la completa renovación del edificio para la integración de NTICs que permitan incrementar su eficiencia energética, garantizando, al mismo tiempo, el bienestar de los usuarios es necesario evaluar el verdadero impacto de éstas sobre la reducción de la demanda energética en el edificio. Para ello, desde la unidad funcional de *Modelado y Control Automático* del edificio CIESOL se está trabajando en dos proyectos de investigación con un objetivo común: analizar el impacto y beneficios de la transformación digital en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales para conseguir edificios con una huella de carbono casi cero. Aunque los resultados obtenidos en el marco de esos proyectos de investigación se centran en el edificio CIESOL, estos pueden ser fácilmente

Un gemelo digital es una representación virtual de un edificio, que captura datos de este y su entorno en tiempo real y simula su comportamiento

extrapolables a cualquier edificio capaz de integrar energías renovables y una red de sensores adecuada.

El primer proyecto denominado ‘Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética en los edificios’ (NTech4Build - www.ntechbuild.es), tiene como objetivo principal completar la transformación digital de las instalaciones del edificio CIESOL mediante la integración de NTICs para, posteriormente, poder ampliar los trabajos desarrollados anteriormente en el ámbito del control automático y, así, abarcar una transición ecológica completa que permita obtener edificios energéticamente eficientes. Más concretamente, los objetivos específicos de este proyecto de investigación se centran en tres áreas claramente diferenciadas:

Detección de anomalías en los principales subsistemas del edificio mediante Big Data y técnicas de aprendizaje automático. En general, las tareas de mantenimiento están basadas en un mantenimiento co-



La cubiertas fotovoltaicas son clave en edificaciones bioclimáticas



El edificio 2.0 realiza una gestión óptima de la energía generada y demandada mejorando su eficacia, eficiencia y garantizando el bienestar

talación de frío solar, y un campo fotovoltaico para la producción de energía eléctrica. Para conseguir edificios de energía casi cero, la evaluación del rendimiento y la predicción de la producción de energía de este tipo de sistemas es una información esencial. Para estimarlos es necesario conocer las condiciones meteorológicas presentes y pasadas (incluyendo episodios de nieve y polvo en suspensión). Sin embargo, se debería disponer de dispositivos de medición de alta calidad lo cual puede ser bastante costoso. Para ello, se pueden utilizar otras técnicas basadas en la captación de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático para la detección de fallos y la evaluación del rendimiento de este tipo de sistemas.

Por otro lado, el segundo proyecto de investigación, denominado “Sistemas de Control y Gestión usando Tecnologías de la Información y la Comunicación para Edificios de Energía Cero” (COMMIT4.0EB - www.commit-zeb.es) tiene como objetivo principal el desarrollo de estrategias de control integrales, cooperativas y óptimas que engloben las diferentes fuentes de energía de las que dispone el edificio CIESOL, así como su demanda, para conseguir una reducción de sus emisiones con un correcto funcionamiento del mismo a diferentes niveles. Para ello, se utiliza como base algunos de los desarrollos e integraciones realizadas en el marco del proyecto de investigación NTech4Build. Más concretamente, dentro de este proyecto se incluyen tres grandes campos de mejora o investigación:

Gemelos digitales de edificios. Un gemelo digital es una representación virtual de un sistema físico real, en este caso un edificio, que captura datos de este y su entorno en tiempo real, y utiliza esos datos para simular su comportamiento. Por lo tanto, este gemelo digital permitirá obtener información muy importante para el desarrollo de arquitecturas de control. Por ejemplo,

rectivo, es decir, se realizan esas tareas una vez que se ha detectado un fallo o se ha recibido alguna queja por parte del usuario. Asimismo, una vez detectada una anomalía, el personal técnico de mantenimiento es el responsable de realizar ciertas comprobaciones en el sistema, localizar el subsistema o dispositivo que ha generado la anomalía, consultar manuales, etc. Además, es necesario tener en cuenta que un subsistema o dispositivo que funciona de forma incorrecta se puede traducir en mayores emisiones de CO₂ y un consumo de energía más elevado por lo que es de vital importancia disponer de un sistema predictivo que permita la detección temprana de anomalías y proporcione orientación al usuario para la resolución del problema en el mínimo tiempo posible.

Por otro lado, la integración de IoT en el sector de la edificación ha permitido la disponibilidad de una gran cantidad de datos que pueden usarse para mejorar la eficiencia energética y el rendimiento a tres niveles: edificio, subsistema y dispositivo. Por tanto, teniendo en cuenta la alta disponibilidad de datos históricos y las técnicas basadas en aprendizaje automático, la detección de anomalías se puede definir como el proceso de localizar comportamientos “raros” en los datos_[15] e inferir, a partir de ellos, cual es posible problema que ha ocasionado la anomalía.

Estimación de la ocupación en edificios. Las personas son los principales ocupantes de los edificios ya que desarrollan en ellos la mayor parte de sus tareas cotidianas. De esta manera las personas se convierten en la

principal fuente tanto de calor, por su alta temperatura corporal, como de CO₂ al expulsarlo durante el proceso de respiración. Además, dependiendo de la naturaleza de uso del edificio, los usuarios suelen tener patrones de comportamiento repetitivos ya que, por ejemplo, tienen un horario fijo para entrar a trabajar, regresan a casa a la misma hora, etc. Por lo tanto, la estimación de la ocupación en edificios residenciales, comerciales e institucionales puede ayudar a gestionar de manera más eficiente el uso de energía y la reserva de espacios.

Para ello, se pueden utilizar una gran variedad de tecnologías diferentes, desde sistemas sencillos compuestos de sensores de concentración de CO₂, cámaras o hasta sistemas más complejos formados por un conjunto de radiobalizas y unos localizadores que, por ejemplo, pueden estar integrados en el teléfono inteligente del usuario permitiendo obtener una información exacta sobre la localización de los usuarios y las rutas que siguen en sus desplazamientos cotidianos.

Evaluación del rendimiento de sistemas fotovoltaicos y térmicos mediante técnicas de aprendizaje automático. Como se ha mencionado anteriormente, uno de los puntos clave para conseguir edificios de energía casi cero está relacionado con la integración de las energías renovables en los edificios. En el caso del edificio CIESOL, se dispone de un campo de colectores solares planos para la generación de agua caliente que se utiliza en la ins-



será posible disponer de predicciones sobre la producción y demanda del edificio, detectar incidencias o anomalías con antelación, optimizar el funcionamiento del sistema de climatización, etc.

Bienestar de los usuarios y eficiencia energética.

Los seres humanos pasan la mayor parte de su tiempo en el interior de los edificios, por lo que es muy importante garantizar su confort ya que éste está directamente relacionado con su productividad. Este tema ha tomado especial relevancia en los últimos años debido a la pandemia causada por la Covid-19. Además, hay que tener en cuenta que el confort no se refiere únicamente al ambiente térmico que rodea a las personas, sino que también debe considerar otros factores como una correcta iluminación y una calidad de aire adecuada. Asimismo, el confort es una sensación subjetiva que depende de factores físicos, fisiológicos e incluso psicológicos que debe incluirse a la hora de desarrollar sistemas de control automático que garanticen el confort de los usuarios como, por ejemplo, mediante la utilización de una perspectiva de género. Por otro lado, para mantener unas condiciones adecuadas que garanticen el bienestar de los usuarios es necesario consumir una cierta cantidad de energía. De esta manera, en los edificios de energía casi nula hay que buscar un compromiso entre la energía consumida y el confort de los usuarios.

Gestión energética en edificios. Para conseguir un edificio de energía casi nula es necesario realizar una gestión del edificio como una única entidad teniendo en cuenta los sistemas que lo integran, intentando maximizar el uso de energías renovables, utilizando sistemas de almacenamiento de energía y minimizando el uso de energías convencionales. Por ejemplo, en el caso del edificio CIESOL se debe realizar una gestión óptima la instalación de frío solar, la microrred energética y el punto de carga de vehículos eléctricos.

Bibliografía

1. Eurostat, «Eurostat - Statistics explained,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics. [Último acceso: 1 noviembre 2022].
2. B. P. (BP), «Statistical Review of World Energy,» [En línea]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [Último acceso: 1 noviembre 2021].
3. B. B. C. (BBC), «Rusia invade Ucrania,» 25 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-60488320>. [Último acceso: 1 noviembre 2022].

Control automático y energías renovables

Los edificios bioclimáticos se han diseñado con el objetivo de aprovechar su localización y entorno para garantizar el bienestar de los usuarios minimizando el consumo de los usuarios. Sin embargo, en algunos casos, esto puede no ser suficiente debido al clima característico donde se encuentra localizado el edificio o a una mala gestión por parte de los usuarios de este. Además, existe un gran volumen de edificios que ya se encuentran construidos y cuyas posibilidades de adaptación para minimizar su consumo energético es limitada. En estos casos, se puede mejorar la eficiencia energética mediante el desarrollo de sistemas de control automático y la integración de energías renovables.

Actualmente, casi todos los sectores se encuentran inmersos en una transformación digital ocasionada por el uso de tecnologías disruptivas como el IoT, Big Data, realidad aumentada, etc. La combinación de estas NTICs con los sistemas de control automático puede dar lugar a una evolución de los edificios tal y como los conocemos, originándose lo que podríamos denominar el edificio 2.0, en el que se realiza una gestión óptima de la energía generada y demandada por el edificio mejorando su eficacia, eficiencia y garantizando el bienestar de los usuarios incluso ante 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”.

4. CincoDias, «Crisis de abastecimiento: ¿qué pasa con los contenedores?,» [En línea]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/10/26/opinion/1635226114_239695.html. [Último acceso: 1 noviembre 2021].
5. Agencia Internacional de la Energía, Key World Energy Statistics 2021, IEA, 2021, p. 81.
6. Agence de la transition écologique, «Proyecto Odyssey-Mure - Perfil de España,» [En línea]. Available: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-policies-profiles/spain-spanish.html>. [Último acceso: 1 noviembre 2022].

7. Ministerio transportes, movilidad y agenda urbana, «Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (ERESEE 2020),» Madrid, 2020.
8. Agencia Internacional de la Energía, «Energy Statistics Data Browser,» 18 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. [Último acceso: 24 Noviembre 2022].
9. M. d. M. Castilla, J. D. Álvarez, F. Rodríguez y M. Berenguel, Comfort control in buildings, Springer, 2014.
10. J. D. Álvarez, J. López Redondo, E. Camponogara, J. Normey-Rico, M. Berenguel y P. Ortigosa, «Optimizing building comfort temperature regulation via model predictive control,» *Energy and Buildings*, vol. 57, pp. 361-372, 2013.
11. M. d. M. Castilla, J. D. Álvarez, M. Berenguel, F. Rodríguez, J. L. Guzmán y M. Pérez, «A comparison of thermal comfort predictive control strategies,» *Energy and Buildings*, vol. 43, n° 10, pp. 2737-2746, 2011.

12. M. d. M. Castilla, J. D. Álvarez, J. E. Normey-Rico y F. Rodríguez, «Thermal comfort control using a non-linear MPC strategy: A real case of study in a bioclimatic building,» *Journal of Process Control*, vol. 24, n° 6, pp. 703-713, 2014.
13. M. D. Bretones, J. D. Álvarez, M. d. M. Castilla y M. Berenguel, «A Fuzzy Controller for Thermal Comfort and Indoor Air Quality in a Bioclimatic Building,» de *2020 European Control Conference (ECC)*, San Petersburgo, 2020.
14. J. D. Álvarez, M. d. M. Castilla, J. D. Gil Vergel, F. Rodríguez Díaz y M. Pérez García, «Sistema abierto y escalable de supervisión, gestión eficiente de la energía y control del edificio CIESOL basado en IoT y Cloud Computing,» de *Monitorización y evaluación de la habitabilidad, calidad del aire y eficiencia energética de los edificios: experiencias en España*, Instituto valenciano de la edificación, 2020, pp. 268-278.
15. C. Fan, F. Xiao, Y. Zhao y J. Wang, «Analytical investigation of autoencoder-based methods for unsupervised anomaly detection in building energy data,» *Applied Energy*, n° 211, pp. 1123-1135, 2018.



La combinación de renovables solar y eólica garantiza el suministro del edificio bioclimático