

NOTAS DE INVESTIGACIÓN Y RESEÑAS

SMART CAMPUS: ECOSISTEMA DIGITAL DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT) COMO FACTORÍA DE APRENDIZAJE, CONOCIMIENTO Y TRANSFERENCIA

Ignacio Martínez

Smart Cities Lab (I3A)¹. Universidad de Zaragoza
imr@unizar.es

Los edificios consumen alrededor del 40% de la energía total consumida en Europa, según el Informe Especial del Tribunal de Cuentas Europeo de 2020. Y dado su potencial de ahorro, su papel es decisivo para la aplicación por la Unión Europea de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el compromiso de **ahorrar más del 20% del consumo de energía a partir de 2020 y el 32,5% antes de 2030**.

En la Universidad de Zaragoza, tras haber puesto en común con los equipos de dirección y las administraciones de los centros y de los institutos universitarios de investigación el *Plan urgente de medidas en materia de energía*, aprobado el 9 de marzo de 2022 por el Consejo de Dirección, se sigue una **estrategia transversal de ahorro, eficiencia energética y sostenibilidad en los edificios universitarios**. La aplicación de estas medidas puede **reducir en unos 3 millones el gasto energético** y, para ello, además de la esencial concienciación y colaboración de todos los miembros de la comunidad universitaria, un elemento clave es **impulsar proyectos multidisciplinares de sensorización, digitalización y automatización** que permitan a los usuarios y gestores de los edificios la toma de decisiones basada en datos tanto para generar ahorros económicos como energéticos.

Recibido: 07-07-2022. Aceptado: 18-07-2022.

DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2022747217

(1) El grupo *Smart Cities Lab* está compuesto (por orden alfabético) por: Alberto Mur, Alvaro Marco, Ángel Bayod, Ángel Fernández, Belén Zalba, Belinda López, David Cambra, Enrique Cano, Enrique Torres, Ignacio Martínez, Raquel Trillo, Roberto Casas, Salvador Nevot, Sergio Ilarri y Teresa Blanco.



En este contexto, se considera un **edificio inteligente** si incorpora en su funcionamiento sistemas de información para el control, automatización, monitorización, gestión y mantenimiento de diversas actividades, de sus sistemas y de los múltiples subsistemas que constituyen un edificio. Estos controles se utilizan para hacerlos más eficientes, tanto en cómo procesa la energía, como en los costes de operación. Así, ser más eficiente supone conocer cómo se comporta un edificio cuando se usa en función del medioambiente en el que se sitúa, su configuración arquitectónica y los sistemas técnicos de climatización y de producción de energía que dispone. Y para conocer los edificios, se necesita información que la proporcionan los sistemas de sensorización. Así, se puede generar un clima interior distinto del exterior a través de la regulación de la temperatura y humedad; se puede ajustar la iluminación; se puede disponer de alertas de función, presencia, incendios, control de accesos, etc.; pero no se sabe cómo se comporta todo esto en función de las preferencias del usuario, el clima, la producción de energía renovables o el funcionamiento térmico del edificio a estudiar.

Por otro lado, la digitalización y la automatización de los edificios es un **objetivo de la Unión Europea** reflejado en diversas normativas, como la Directiva Europea 208/844 sobre el rendimiento energético de los edificios. Estas normativas y sus futuros desarrollos indican que, en lo relativo a la calidad del aire interior, los edificios más eficientes son los que ofrecen un nivel de confort y bienestar más elevado a sus usuarios y ayudan a tener una mejor salud. Ser más eficiente significa incluir todos los elementos pertinentes y los sistemas técnicos (tanto pasivos como activos) de un edificio. Además, se destaca la **innovación para el desarrollo de infraestructuras** como recarga inteligente de vehículos eléctricos (en conexión con los procesos energéticos de los edificios) y flexibilidad para utilizar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y los sistemas electrónicos: por ejemplo, mediante un índice que pueda indicar el grado de capacidad para que un edificio pueda adaptar su funcionamiento tanto a las necesidades del ocupante como a la red, mejorando su eficiencia energética y su rendimiento general. Esto permite conocer y confiar en el comportamiento de un edificio y visualizar los ahorros que se producen de forma real, no promesas o simulaciones virtuales. Así se percibe que, si se avanza en este sentido, la automatización y digitación de los edificios no sólo es una alternativa posible a las inspecciones técnicas, sino que supone un cambio en las dinámicas de mantenimiento y que los edificios estén equipados con sistemas que permitan monitorizar, registrar, analizar y adaptar el consumo de energía.

Para conseguir todos estos retos, se necesita **trabajar y saber trabajar con datos** en los edificios como está sucediendo en otros sectores. Es necesario compartir información y compararla. Desarrollar evaluaciones comparativas de la eficiencia energética del edificio en régimen dinámico, de detección de pérdidas de eficiencia de sus instalaciones técnicas e informar sobre las posibilidades de mejora de la eficiencia energética a las personas responsables de la instalación o de la gestión técnica del edificio. Hay que ser capaces de permitir la comunicación, tanto con instalaciones técnicas conectadas, como con otros aparatos que estén dentro del edificio (elemento clave a largo

plazo) para garantizar la interoperabilidad tanto con instalaciones de producción renovable y no renovable del edificio como con la red de suministro de energía, sin olvidar la dificultad que supone la coexistencia de distintos tipos de tecnologías patentadas, dispositivos y fabricantes. Esto lleva a pensar y desarrollar plataformas abiertas de información.

En todo este contexto, desde la Universidad de Zaragoza en colaboración con la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) y el grupo *Smart Cities Lab* del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), se propone **seguir avanzando en el paradigma de campus inteligente**. Se muestra en la Figura 1 un esquema conceptual de la iniciativa *Smart Campus* de la Universidad de Zaragoza.

Durante 2021 y 2022 ya se han dado los primeros pasos dentro de la iniciativa *Smart Campus* de la Universidad de Zaragoza desarrollando una primera prueba de concepto de gemelos digitales (*digital twins*) de los edificios de los campus universitarios a través del ecosistema [sensorizar.unizar.es](https://www.sensorizar.unizar.es). Este ecosistema supone una **plataforma transversal IoT** (*Internet of Things*) para monitorización digital de edificios como solución coste-efectiva, de *software* y *hardware* libre, datos abiertos y ultra-bajo consumo. En estos primeros meses ya se han instalado **más de 90 sensores en más de 60 espacios** del Campus Río Ebro, incluyendo 3 instalaciones de energías renovables con más de 65 paneles fotovoltaicos, y se ha desplegado la cobertura para **extrapolar estas infraestructuras a los campus de San Francisco y Veterinaria y seguir avanzando en una iniciativa global de Universidad** para gestionar en tiempo real información de CO₂, humedad, temperatura, ocupación, consumo, etc. en diversos espacios como aulas, cafeterías, salas de estudios, despachos, etc.

Todo ello permite desarrollar una **línea de investigación transversal de colaboración conjunta con muy diversos grupos de I+D+i de nuestra comunidad universitaria** para estudiar los campus universitarios como *living lab* con resultados extrapolables a todo tipo de instalaciones de eficiencia energética y energías renovables, basadas en soluciones IoT coste-efectivas, de ultra-bajo consumo y sostenibles, que racionalicen los recursos públicos además de dotar de inteligencia a las decisiones basadas en datos, mediante **3 elementos de valor diferencial**:

- Generar **espacios conceptuales creando un modelo dual de espacios digitales y físicos** (imbricando soluciones educativas con edificios inteligentes) en los que conviven disciplinas digitales, sistemas automatizados y geolocalizados, producción renovable de energía, tecnologías térmicas, etc. en los que la investigación y la formación convergen en proyectos transversales, de aplicación y concienciación social y medioambiental en todo tipo de ámbitos de conocimiento: agro-alimenticio, económico, geográfico, educativo, social, normativo, etc.
- Crear un **ecosistema “medir - analizar - decidir y actuar”** para cumplir los objetivos clave del siglo XXI: lucha contra el cambio climático (con edificios y tec-

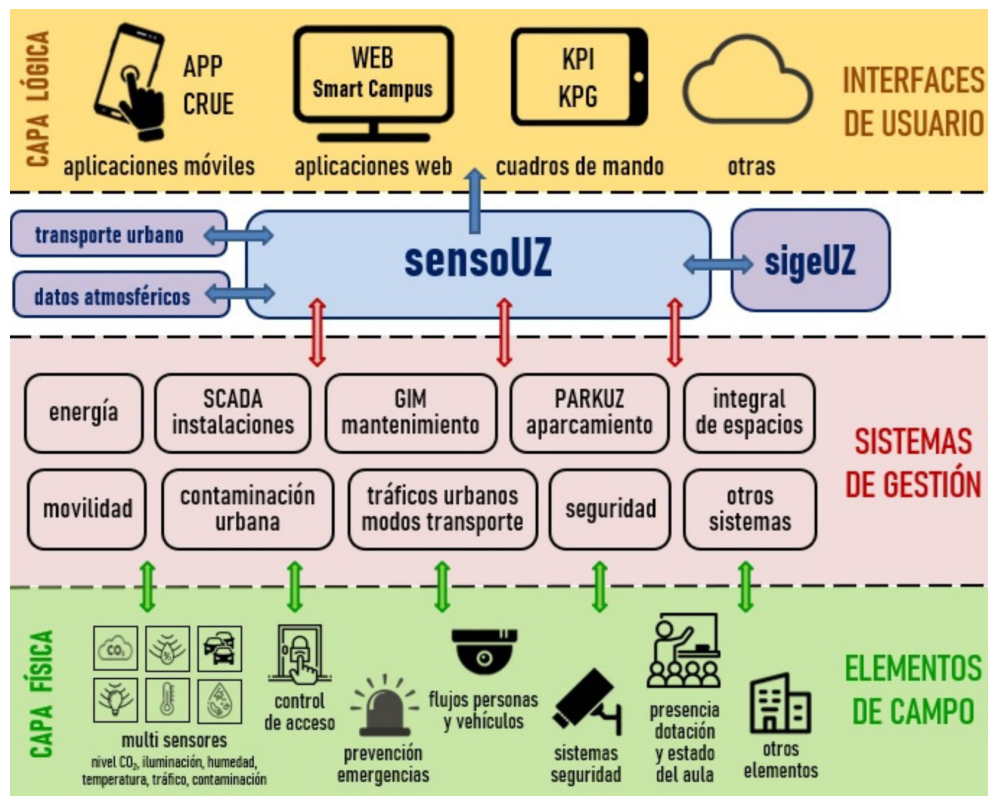


Figura 1. Esquema conceptual de la iniciativa *Smart Campus* en la Universidad de Zaragoza.

Fuente: Elaboración grupo *Smart Cities Lab*.

nologías climáticamente neutras), promoción de la economía circular (centrada en las personas en una sociedad con igualdad de oportunidades y modelos colaborativos impulsando proyectos sociales sin destruir el medio ambiente) y construcción de la era digital (empoderar a las personas y su relación positiva y democrática con las tecnologías) en todo tipo de sectores de aplicación.

- Construir **actuaciones reales y transformadoras hacia los smart campus**, destacando:
 - Desplegar una instalación completa de sensores y equipos de adquisición de datos (en tiempo-real) para medir el mayor número de parámetros de interés: CO₂, temperatura, humedad, iluminación, presencia, ocupación, movilidad, caudal de agua y aire, consumo eléctrico, aprovechamiento solar fotovoltaico, eficiencia y ahorro energético, etc.

- Proporcionar metodologías para analizar cómo funcionan energéticamente los edificios y, sobre decisiones basadas en datos, actuar para mejorar su eficiencia y su uso: ventilación inteligente, producción de energías renovables, espacios sostenibles de educación digital, etc.
- Mejorar las estrategias para la rehabilitación energética de los edificios a través de técnicas inteligentes extrapolando conocimiento en edificios públicos de alta intermitencia.

Este planteamiento transversal y multidisciplinar permite no sólo implicar a diversos grupos de investigación, sino que los datos obtenidos se empleen para todo tipo de análisis, estudios y líneas de I+D en muy diversos ámbitos de aplicación. A modo de ejemplo, se detallan los primeros resultados obtenidos con datos recopilados en los edificios del campus Río Ebro durante el primer trimestre de 2022.

Calidad del aire en interiores. Como se muestra en la Figura 2 (elegida como el peor caso de las aulas analizadas), las metodologías de análisis propuestas a partir de los datos monitorizados, demuestran que **los niveles de CO₂ en las aulas analizadas se han mantenido por debajo del umbral recomendado de 800 ppm casi en un 90% del tiempo analizado.** Solo se superaron estos niveles recomendados entre un 2 y un 8% de los horarios de clase, lo que es un buen indicador y permite todo tipo de análisis y estudios sobre aforos adecuados, ocupación intermitente, calidad del aire en interiores, etc.

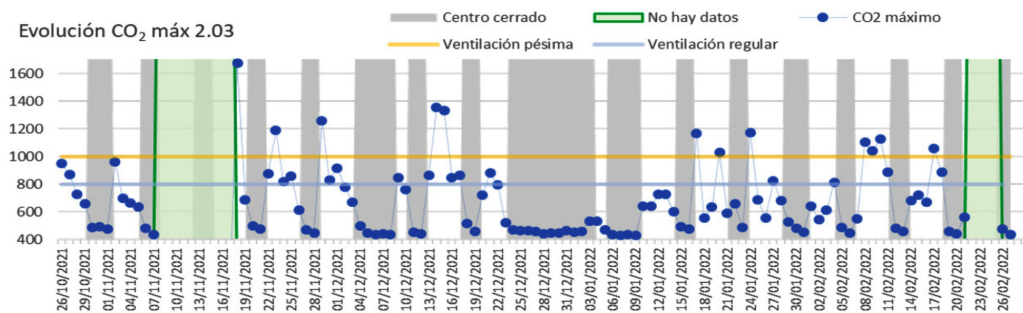


Figura 2. Análisis de los niveles de CO₂ (peor caso de las aulas analizadas).

Fuente: Elaboración grupo *Smart Cities Lab*.

Ahorro y eficiencia energética. El Real Decreto 1826/2009 de instalaciones térmicas en edificios marca que una temperatura adecuada, si no implica consumo de energía, se da entre 21 y 26°C. Así, para tener confort térmico, se recomienda calefacción en invierno entre 17 y 21°C y refrigeración en verano entre 26 y 27°C. Como muestra la Figura 3, en media, las aulas analizadas están por debajo de 17°C menos del 3%

del tiempo; lo que significa una buena noticia en cuanto a la respuesta del conjunto edificio-instalación-horarios. Por encima de 21°C se estaría entre un 15 y un 30% de las horas que los edificios están en horario de apertura, lo que implicaría **un importante potencial de mejora y de ahorro de energía**. Estas temperaturas más altas pueden ser debidas a cargas positivas (solar, ocupantes, ordenadores, iluminación) pero sería deseable que el sistema de regulación fuese capaz de detectar estos aumentos de temperatura y aprovecharlos para disminuir el consumo de las baterías de los sistemas de ventilación (*fancoils*) de las aulas. Una línea de I+D podría ser **automatizar el funcionamiento de los sistemas de ventilación en las aulas en función de la temperatura interior, el clima exterior, el nivel de ocupación intermitente, los horarios de las clases, etc.**

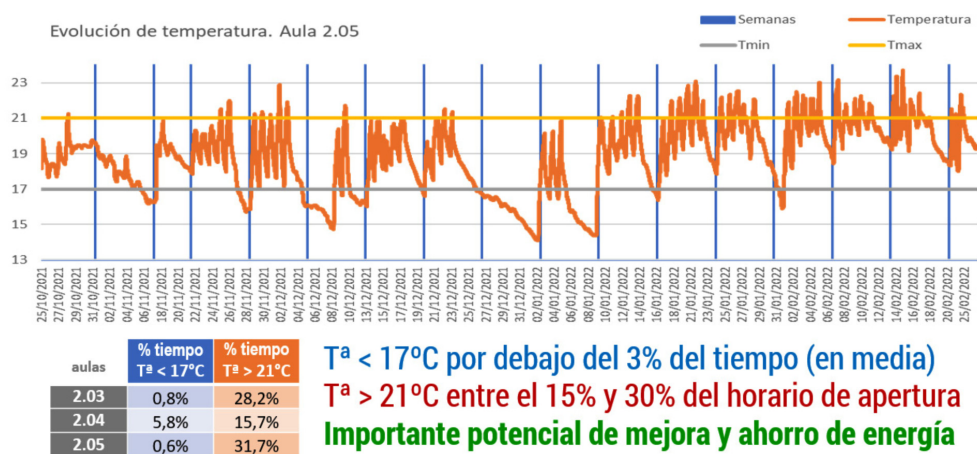


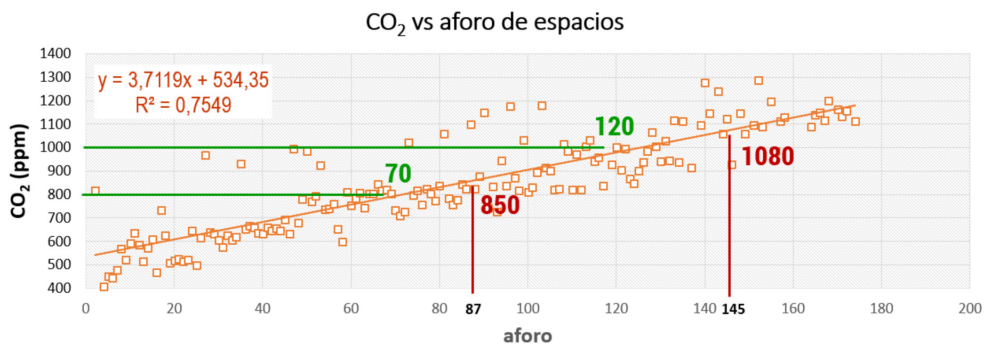
Figura 3. Análisis de los niveles de temperaturas en diversas aulas del Campus Río Ebro.

Fuente: Elaboración grupo *Smart Cities Lab*.

Nuevas tendencias: predicción y patrones de comportamiento. Como tercer ejemplo de aplicación, se propone una interesante línea de I+D como metodología para caracterizar espacios y/o monitorizar su aforo dinámico a partir de los datos medidos con el equipamiento solicitado. Representando la correlación entre aforo y valores máximos de CO_2 (puntos naranjas en la Figura 4) y trazando la línea que una los máximos, se dan 2 tipos de contribuciones:

- La primera: **estimar el máximo aforo permitido para no superar un valor recomendado de CO_2** . Como se observa en la horizontal (en verde), para no superar 1000 ppm de CO_2 , el aforo sería de unas 120 personas y, en situación de pandemia con 800 ppm, el aforo sería de unas 40 personas.

- La segunda: **estimar el nivel de CO₂ que va darse a partir de un determinado aforo propuesto.** En la vertical (en rojo) se observan los aforos propuestos durante la pandemia por la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad. En la etapa de mayor incidencia, con un aforo de 87 personas, el nivel de CO₂ rondaría los 850 ppm y, en la etapa de incidencia menor, con un aforo de 145 personas, el nivel de CO₂ estaría en 1050 ppm, ambos valores adecuados.



- **Estimar el máximo aforo permitido para no superar un valor recomendado de CO₂**
- **Estimar el nivel de CO₂ que va darse a partir de un determinado aforo propuesto**

Figura 4. Metodologías para caracterizar espacios y monitorizar aforo dinámico.

Fuente: Elaboración grupo *Smart Cities Lab*.

Estos son sólo los primeros pasos.

Disponer de datos de presencias, de flujos de personas, en definitivas, de cómo nos comportamos, debe ayudarnos, no a fiscalizar lo que hacemos como miembros libres de la comunidad universitaria, sino a **generar mayores oportunidades, mayor intercomunicación y mejores decisiones.**

Visualizar cómo se utilizan los edificios nos **ayudará a compartir recursos y a colaborar entre centros.** Ver cómo nos movemos para generar espacios para la mayoría y no para privilegiados. Entender las dinámicas climáticas urbanas para mejorar nuestras zonas verdes, tanto para contribuir a revertir al cambio climático, como para disponer de mayores espacios de relación.

Consideramos básico medir tráficos para encontrar un equilibrio entre las necesidades de aparcamiento y movilidad urbana, con otros medios más sostenibles como andar, bicicletas, transportes públicos o los Vehículos de Movilidad Personal (VMP). En definitiva, una **mejor y mayor autogobernanza** con transparencia en las que las decisiones basadas en información y en el interés general –tanto de la comunidad como en el contexto más amplio posible–, sean fácilmente explicables y contrastables.

Bibliografía

- European Court of Auditors (ECA). Special Report. Energy Efficiency in Buildings: More Emphasis on Profitability. 2020. https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_11/SR_Energy_efficiency_in_buildings_ES.pdf.
- EU Council. Executive Conclusions. Building a Sustainable Europe by 2030. Progress Thus Far and Next Steps. 2019. <https://www.consilium.europa.eu/media/41693/se-st14835-en19.pdf>.
- European Union Law. European Climate Law. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing the Framework for Achieving Climate Neutrality and Amending Regulation. 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080>.
- I. Martínez, B. Zalba, R. Trillo-Lado, T. Blanco, D. Cambra, R. Casas (2021). Internet of Things (IoT) as Sustainable Development Goals (SDG) Enabling Technology towards Smart Readiness Indicators (SRI) for University Buildings. *Special Issue Post-pandemic Cities and Buildings: Strategies to Increase Their Adaptive Capacity and Environmental Health. Sustainability*, 13 (14): 7647 (1-19). ISSN: 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su13147647>
- Spanish Government. Long-Term Strategy for Energy Rehabilitation in Building Sector (ERESEE). 2020. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana>.
- Spanish Government. Technical Building Code (CTE). 2017. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AborroEnergia.html>