

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 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.

Así, se considera un **edificio inteligente** si incorpora sistemas de información en su funcionamiento normal, 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.

sensoriZAR plantea que ser más eficientes supone conocer cómo se comporta un edificio cuando se usa según el medioambiente en que se sitúa, su configuración arquitectónica y sus sistemas técnicos de climatización y de producción de energía. Y para conocer los edificios, se necesita información.

Esta información 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, et.; 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.

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: 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 logra avanzar 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, de tal forma que los edificios no residenciales estén equipados, con sistemas que permitan monitorizar, registrar, analizar y adaptar el consumo de energía de forma continua.

Para conseguir todos estos retos, se necesita **trabajar y saber trabajar con datos** en los edificios como sucede 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. 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 interoperabilidad tanto con instalaciones de producción renovable y no renovable del edificio como con la red de suministro de energía.

Todo esto lleva a la Universidad de Zaragoza a crear la iniciativa UZ Smart Campus (ver [Figura 1](#))

En la iniciativa UZ Smart Campus, ¿cómo encaja sensoriZAR?

La iniciativa **UZ smart campus** aborda los campus universitarios con perspectiva holística: desde las infraestructuras (nivel físico) hasta las aplicaciones y servicios (nivel lógico), integrando los sistemas de gestión específicos a través del ecosistema IoT *sensoriZAR* en **3 niveles** (ver [Figura 1](#)):

- **Elementos de campo** para la monitorización continua de:
 - Niveles de CO₂, iluminación, humedad, temperatura, presencia y contaminación en diferentes ubicaciones de los edificios universitarios (por ejemplo, pasillos, despachos, aulas, cafeterías, bibliotecas, aparcamientos, etc.) para evaluar las condiciones de confort térmico y calidad del aire, y determinar cuándo utilizar los sistemas de climatización (HVAC).
 - Control de accesos y otros parámetros relacionados con la movilidad de los flujos de personas (y vehículos) en los edificios universitarios como: horarios, frecuencias de acceso, etc.
 - Sistemas de seguridad y prevención de emergencias para garantizar los servicios públicos en un campus universitario.
 - Presencia de personas en las diferentes aulas, obtenida por diferentes sistemas de verificación de códigos de respuesta rápida (QR) y monitorización de dispositivos móviles dentro de la información específica de las aulas (reservas, recursos, etc.).
- **Sistemas de gestión** para la monitorización continua de:
 - Consumos energéticos y sistemas de climatización (HVAC), identificando consumos imprevistos, analizando información específica a través de sistemas SCADA (como temperaturas en los fluidos de transferencia de calor en impulsión y retorno), comparando con datos externos (como datos meteorológicos históricos y previsión), e integrando con otras variables clave, como niveles de generación eléctrica de los paneles fotovoltaicos para analizar la eficiencia de las energías renovables.
 - Movilidad de tráfico, contaminación urbana, servicios de emergencias, sistemas de seguridad, entre otra información clave del campus universitario para integrar todos los datos de forma homogénea en el ecosistema IoT *sensoriZAR*.
- **Experiencia de usuario** para ofrecer una amplia variabilidad para la visualización e interacción a través de apps móviles, interfaces web, cuadro de mando de datos con indicadores clave de rendimiento (KPI) y otros servicios en la nube.

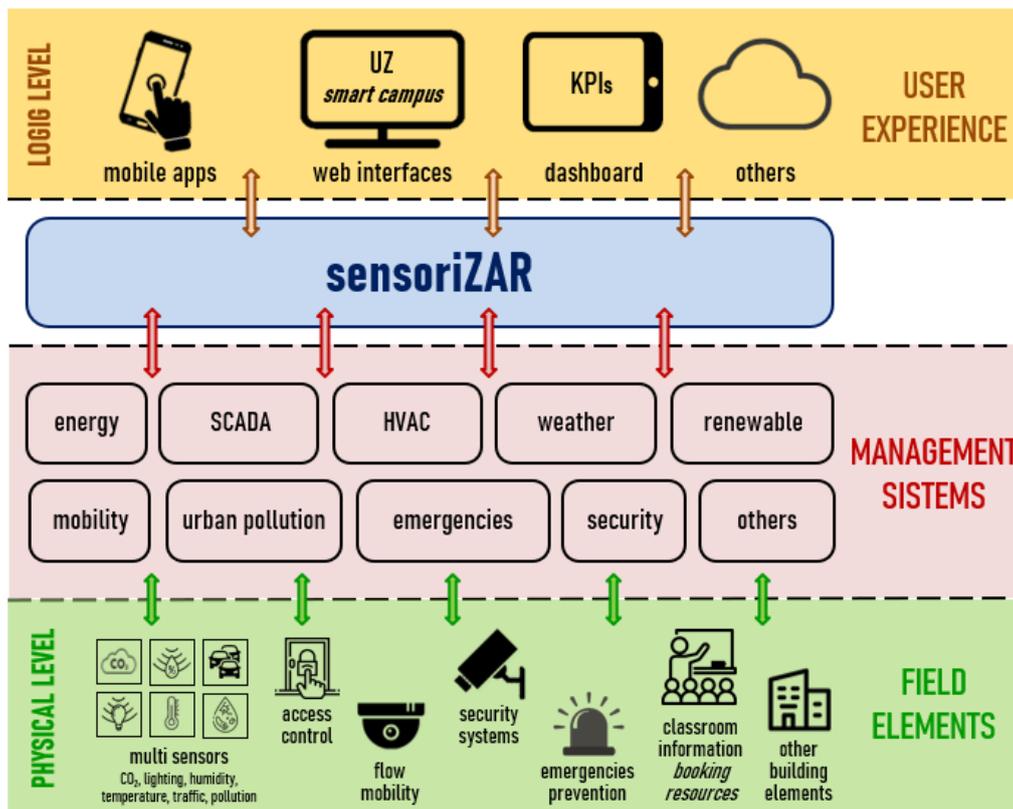


Figure 1. Integración del ecosistema IoT *sensoriZAR* dentro de la iniciativa UZ smart campus.

¿Cuál es el modelo sensoriZAR?

El ecosistema **sensoriZAR** (sensorizar.unizar.es) es 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. **sensoriZAR** permite desarrollar una **línea de investigación transversal de colaboración conjunta** para estudiar **los campus universitarios como factorías de aprendizaje (*living lab*)** en las que dotar de inteligencia a las decisiones basadas en datos.

sensoriZAR ayuda a crear un **modelo dual de espacios digitales y físicos** en los que conviven disciplinas digitales, sistemas automatizados y geolocalizados, producción renovable de energía, tecnologías térmicas, etc. Todo ello mediante un **ecosistema “medir - analizar - decidir y actuar”** (ver **Figura 2**) en el que los datos se traducen en información que se convierte en conocimiento sobre el que tomar decisiones basadas en datos. El ecosistema completo persigue **3 retos de valor diferencial**:

- **sensoriZAR los datos** para conocer realmente cómo se comportan los edificios en tiempo-real (como complemento a los estudios de simulación) y conectar, en una plataforma única e interoperable todas las fuentes de datos existentes para disponer de todos los datos de forma centralizada y homogénea.
- **analizar la información** utilizando metodologías avanzadas para estudiar cómo funcionan energéticamente los edificios, realizar acciones para mejorar su eficiencia y su uso, plantear estrategias para la rehabilitación energética, etc.
- **visualizar el conocimiento** para poder tomar decisiones basadas en datos en diversos entornos:
 - sensorizar.unizar.es/ambiental para monitorizar los niveles de calidad ambiental: CO₂, temperatura, humedad, ocupación, etc.
 - sensorizar.unizar.es/salas-estudio para saber los asientos disponibles en las salas de estudio
 - sensorizar.unizar.es/parking para conocer las plazas libres en los aparcamientos de la Universidad
 - sensorizar.unizar.es/energía para saber en detalle el gasto energético de los edificios de cada campus

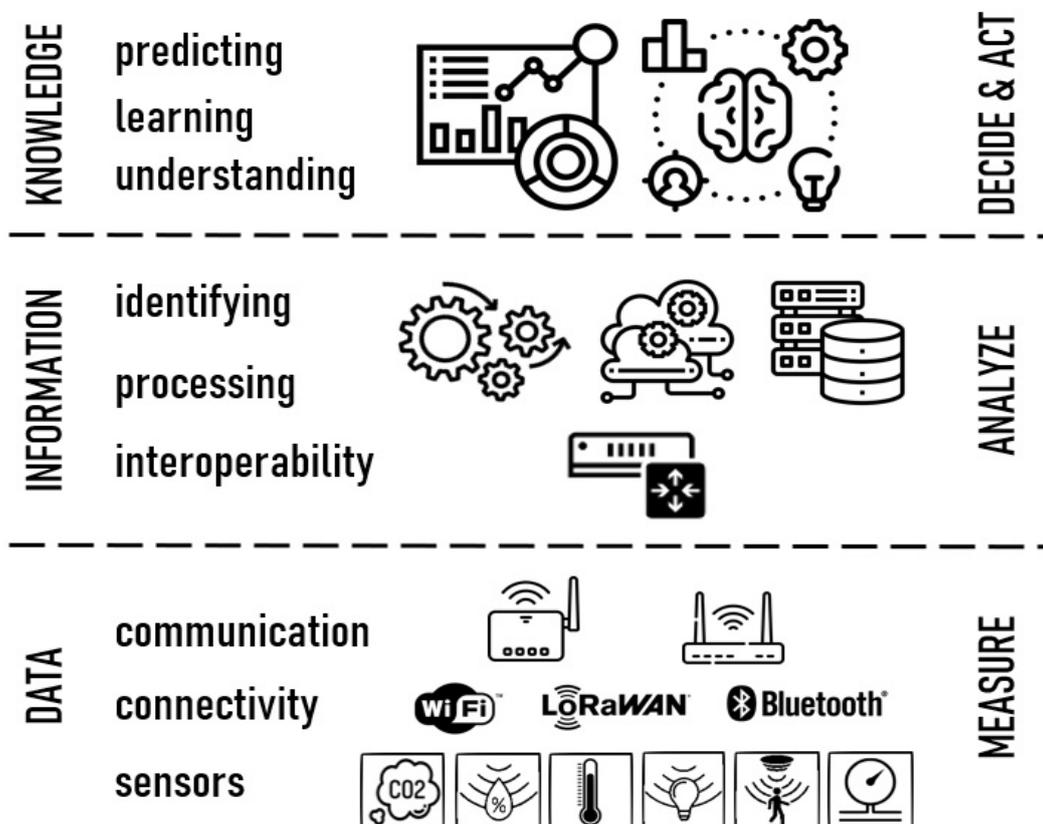


Figura 2. Modelo “medir - analizar - decidir y actuar” de sensoriZAR

¿Cómo está diseñado sensoriZAR?

La arquitectura del ecosistema IoT *sensoriZAR* incluye tanto la infraestructura como las herramientas necesarias para crear y gestionar todos los procesos que se producen en la metodología “medir – analizar – decidir y actuar”. Con esta arquitectura se consigue almacenar un gran volumen de datos, muy variados, generados a alta velocidad y dotar de las herramientas necesarias para extraer valor añadido. La arquitectura se compone de 6 capas (ver [Figura 3](#)): adquisición, ingesta, procesado, almacenamiento, análisis y consumo.

- **Adquisición.** Todo comienza con el origen de los datos: dónde se generan, a qué velocidad, con qué calidad, etc. Esta capa resuelve la heterogeneidad de los diversos tipos de sensores, marcas, modelos, fabricantes, etc. y armoniza la problemática de conectividad entre distintos tipos de tecnologías, protocolos, equipos de interconexión, etc. que se comunicarán de forma interoperable con el IoT *gateway* en la siguiente capa.
- **Ingesta.** Esta capa es la puerta de entrada de los datos (a través del IoT *gateway*) y se encarga de su recolección unificada. Puede estar compuesta de una amplia variedad de técnicas como: publicación, suscripción, procesos por lotes o flujos continuos, entre otros. Para este proyecto, la capa de ingesta planteada se compone de un servidor de mensajería IoT (MQTT broker), una plataforma de eventos (Kafka) y una aplicación de gestión de dispositivos (Thingsboard). Todo ello permite la ingesta a través componentes creados específicamente para la recolección de datos con orígenes no soportados de forma nativa o cuyo acceso es indirecto o restringido.
- **Procesado.** Tras la capa de ingesta, esta capa permite transformar los datos, si es necesario, para su posterior almacenamiento. El procesado de datos puede ocurrir en forma de flujo o mediante procesado por lotes. Para realizar esta tarea existen múltiples tecnologías, cada una con un propósito específico. Algunas de las empleadas en este proyecto (todas ellas open source) son: Spark Streaming (para el procesamiento de datos en tiempo real de forma escalable), Airflow (para gestionar, monitorizar y planificar flujos de trabajo) y Spark (como *framework* de computación en clúster para procesamiento de datos distribuidos), entre otras. Así, en esta capa, puede realizarse diversos procesos de enriquecimiento de los datos como compactación, normalización, validación, entre otros.
- **Almacenamiento.** Los datos generados necesitan un soporte de almacenamiento, para su posterior consulta y análisis. Para manejar un gran volumen de datos se hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento distribuido, repositorios de objetos o tecnologías de almacenamiento específicas como bases de datos grafos, de series temporales, etc. Para este proyecto y debido a la heterogeneidad en la naturaleza de los datos, se ha utilizado Kafka (como soporte de almacenamiento distribuido para los datos en bruto), PostgreSQL (como sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos), TimeScaleDB (como base de datos optimizada para almacenar datos como series temporales) y Cassandra (como soporte de almacenamiento distribuido específico de series temporales), entre otros servicios de almacenamiento. Gracias a esta versatilidad se consigue una amplia integración de sistemas y servicios y se garantiza la escalabilidad, disponibilidad y fiabilidad de toda la plataforma.
- **Análisis.** Para la extracción de características, análisis y experimentación con los datos almacenados existen multitud de tecnologías. Debido a que las herramientas utilizadas son de código abierto y utilizan formatos y protocolos estándar, la arquitectura es lo suficientemente flexible para utilizar una tecnología u otra según el objetivo. Para este proyecto se han empleado: Amazon Web Services (como conjunto de herramientas y servicios para cloud computing), Amazon S3 (como servicio específico de gestión segura de objetos en la nube), Ceph (como sistema de análisis abierto, definido por software, específico para gran cantidad de datos distribuidos) e influxdb (como sistema de gestión fiable para visualizar datos de series temporales, específico para IoT), entre otros.
- **Consumo.** Por último, la capa de consumo está completamente abierta para ser compatible con todo tipo de tecnologías de visualización, paneles, navegadores, etc. En el caso concreto del proyecto se ha integrado tanto un entorno Thingsboard (para monitorización y control a corto plazo) como un entorno Grafana (para visualización de la información estructurada desde diferentes orígenes de datos).

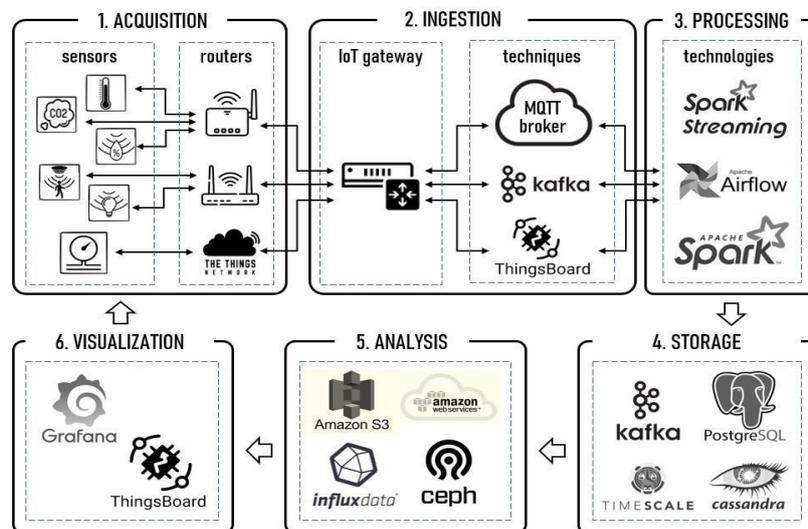


Figure 3. Arquitectura y diagrama funcional de *sensoriZAR*.

¿Cuáles son los primeros resultados de sensoriZAR?

Los primeros análisis (observando la [Figura 4](#) como peor caso de las aulas analizadas) de los datos monitorizados demuestran que **los niveles de CO₂ en las aulas 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.

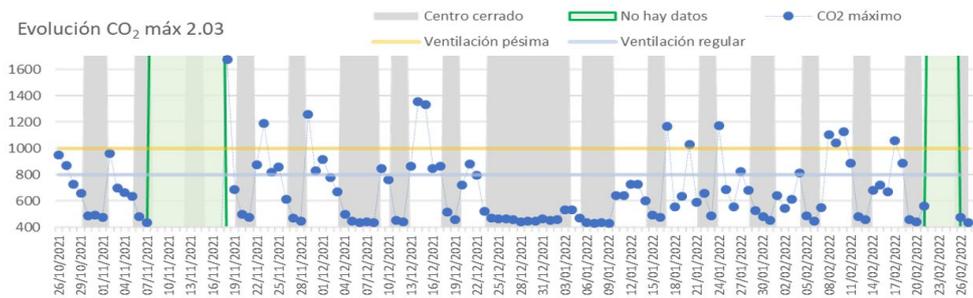


Figura 4. Análisis de los niveles de CO₂ en las aulas (peor caso de los analizados)

Otro resultado interesante se da como **detector de climatización innecesaria y ahorro de energía**. 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 5](#), en media, por encima de 21°C se estaría entre un 15 y un 30% del 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.** La [Figura 6](#) resume estas medidas propuestas y plantea cómo deben comportarse el ventilador y la válvula de tres vías según si el aula está ocupada o no y si el sistema de climatización está en modo refrigeración o calefacción.

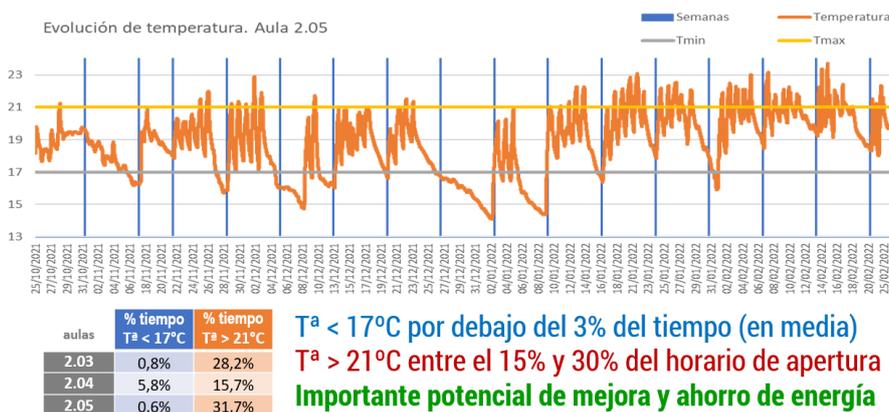


Figura 5. Análisis de los niveles de temperaturas en diversas aulas del Campus Río Ebro

	VENTILADOR	V3V
SIN DOCENCIA	APAGADO	CERRADA
CON DOCENCIA INVIERNO	ENCENDIDO SI V3V abierta o CO ₂ > 700 ppm	CERRADA SI T ≥ 21°C
CON DOCENCIA VERANO		ABIERTA SI T < 21°C y T < T consigna CERRADA SI T ≤ 26°C

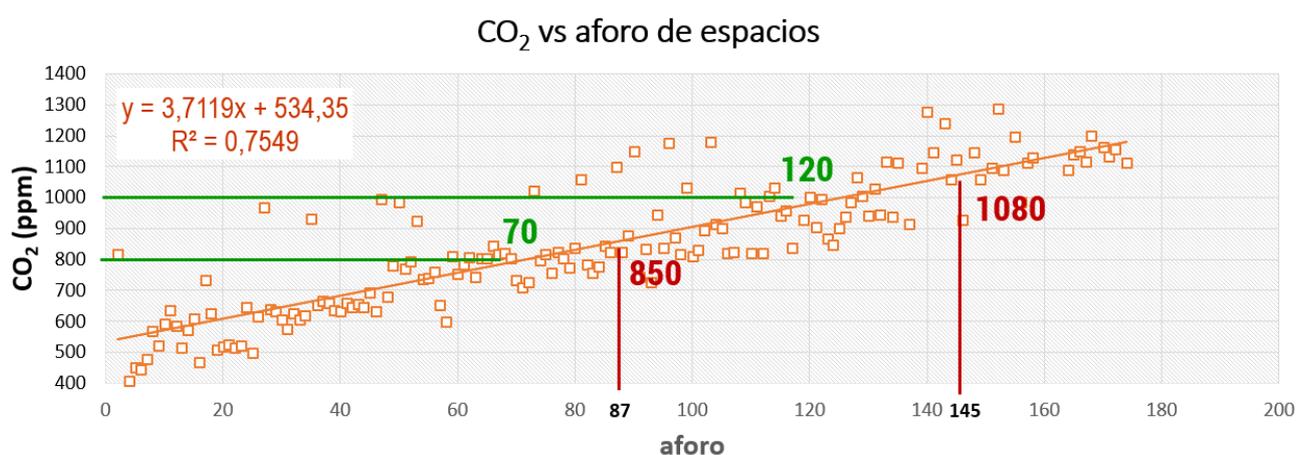
*According to RD 1826/2009

Figura 6. Propuestas para ahorro de energía en *fancoils*.

¿Cuáles son los próximos pasos de sensorizar?

Una primera aportación de I+D es la **contribución con una 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 CO₂ (puntos naranjas en la Figura 7) 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 CO₂**. Como se observa en la horizontal (en verde), para no superar 1000 ppm de CO₂, 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 7. Metodologías para caracterizar espacios y monitorizar aforo dinámico

Todo ello permite avanzar hacia el concepto de **gemelo digital de edificio para ser capaces de predecir cómo va a actuar el edificio** (conocer su consumo instantáneo real, cuándo y cómo lo hace, compararlo con sus históricos, etc.) **y optimizar su respuesta en función de 7 parámetros fundamentales:**

- El clima exterior y su predicción.
- El uso del edificio y las preferencias de los usuarios y la adaptación a futuros.
- El comportamiento físico del edificio.
- Los sistemas de producción de energía disponibles o proyectados en el edificio.
- Los sistemas de climatización y distribución proyectados o disponibles en el edificio.
- El precio (variable) de la energía primaria consumida.
- El entorno biológico del edificio

¿Cuáles son los hitos a medio / largo plazo de sensorizAR?

Los **hitos más relevantes** a medio / largo plazo de **sensorizAR** se detallan en la **Figura 8**.

- **Fase I. Adquisición de múltiples datos** de monitorización en tiempo-real (al menos durante 6 meses) tanto de los multisensores *smart campus* (aulas, salas de estudio, cafeterías, etc.) y los patrones de uso (tasas de ocupación de espacios, calendarios, etc.) como de los parámetros SCADA (climatización, rendimiento, eficiencia energética, etc.) y la información climática del exterior. Con todos esos datos, se desarrollará un **modelo de analítica inteligente** (basado en *Machine Learning*) para determinar la demanda energética de las instalaciones y plantear un **modelo digital del edificio**.
- **Fase II. Construcción de patrones de comportamiento y demanda prevista**. A partir del modelo digital del edificio, se introducirán los datos previstos para cada día, tanto de climatología exterior como de uso del edificio (horarios, calendarios, ocupaciones, etc.) como entrenamiento tanto para ir mejorando y evolucionando el modelo como para ir construyendo **patrones de comportamiento y demanda prevista**. Con estos patrones, además de poder realizar análisis y estudios que serán muy interesantes e innovadores en diversos campos, **sensorizAR** ofrecerá servicios a terceros para que, introduciendo sus propios datos previstos de funcionamiento de sus organizaciones, puedan obtener modelos personalizados de comportamiento de sus instalaciones.
- **Fase III. Desarrollo de algoritmos de optimización** tanto del modelo del edificio (proporcionado por la sensorización inicial de la Fase I que seguirá reportando datos de forma continua) como de los patrones de comportamiento y demanda prevista (obtenidos en la Fase II que seguirán ampliándose y mejorándose de forma iterativa), se irá construyendo **algoritmos de optimización** tanto para ejecutar las diversas operaciones diarias de los edificios (gestión de la climatización, apertura y cierre de espacios, encendido y apagado de iluminación, etc.) como para ajustarlas de forma **personalizada a la demanda instantánea de los usuarios**. A partir tanto de las observaciones previstas como del histórico de datos de comportamientos y demanda, se irá evolucionando en **mejorar y personalizar las estrategias de operación** de los edificios. Estos algoritmos constituirán, en sí mismos, un producto/servicio a ofrecer desde **sensorizAR** como elemento de valor diferencial.
- **Fase IV. Integración en los sistemas de control** de los elementos activos tanto los actuales (PLC, SCADA, sistemas de automatización, etc.) como aquellos por instalar o renovar para conseguir un **control inteligente del edificio, adaptado a la predicción y a los requisitos del usuario**. En esta fase se incorporarán innovaciones como: la generación y almacenamiento de energías renovables, la automatización y/o mecanización de puertas y ventanas para ventilación y control de climatización, la renovación de materiales para ser energéticamente eficientes, etc. Estas aportaciones de **sensorizAR** supondrán una fuerte componente de I+D+i, transferible al tejido económico y productivo en forma de colaboraciones profesionales, asesoramiento experto, casos de éxito, creación *start-up*, patentes, etc.

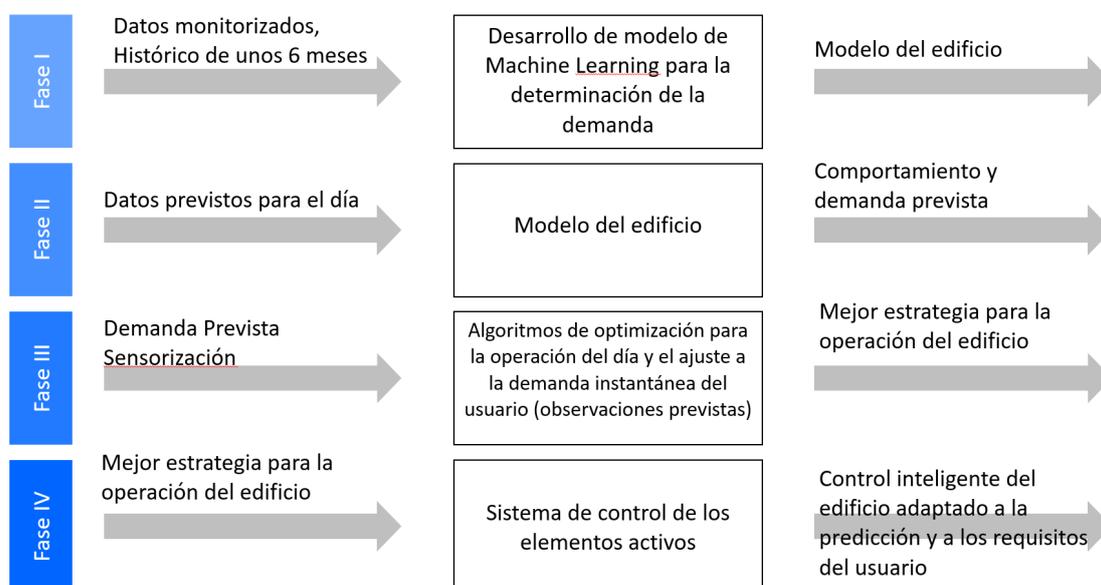


Figura 8. Hitos relevantes de sensorizAR