



Received: 03/10/2021  
Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación  
Vol. 8, Nº2, 25-30 (2022)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2022.5039

## Despliegue de un sistema open-source de monitorización IoT para el seguimiento ambiental del centro gerontológico de Egogain Deployment of an open-source IoT monitoring system for environmental monitoring of the Egogain gerontological centre.

Alexander Martín Garín<sup>a</sup>, José Antonio Millán García<sup>a</sup>, Peter Albrecht<sup>b</sup>, Iñigo Rodríguez Vidal<sup>c</sup>, Ángel Rodríguez Sáiz<sup>d</sup>

<sup>a</sup>ENEDI Research Group

<sup>b</sup>A+O Architects

<sup>c</sup>CAVIAR Research Group

<sup>d</sup>Department of Architectural Constructions & Construction Engineering and Land, University of Burgos

*Resumen*— Los espacios buscan atender unas condiciones de confort cada vez más exigentes y sin olvidar los criterios de eficiencia energética. En este sentido, los centros de cuidados de ancianos cobran vital relevancia y son un claro ejemplo donde las condiciones interiores y las mejoras a adoptar se centran en perseguir el bienestar del usuario. Además, este tipo de edificios, habitualmente comparten espacios de múltiples usos que dificulta establecer un criterio común de actuación. La presente comunicación analiza los trabajos llevados a cabo de monitorización en el marco de una auditoría energética de un centro gerontológico de propiedad pública. Un edificio caracterizado por sus grandes dimensiones en el que coexisten usos administrativos, sociales, servicios además del propio residencial. El objetivo perseguido por la monitorización era verificar y cuantificar el grado de disconfort térmico percibido por los usuarios y recabado en entrevistas previas. Dadas las particularidades del caso de estudio, el sistema implementado debía de ser capaz de superar las barreras generadas por las dimensiones del edificio y además ser un sistema de bajo coste y modular para poder ampliar las capacidades y puntos de monitorización. En cuanto a los resultados obtenidos, la monitorización ha permitido detectar y cuantificar las condiciones ambientales interiores de los espacios más representativos. Por otro lado, se ha podido verificar el correcto funcionamiento de la solución propuesta en su conjunto, así como detectar los puntos de mejora.

*Palabras clave*— Centros de cuidados de ancianos; Internet of Things (IoT); LoRaWAN; Monitorización de edificios; Open-Source.

*Abstract*— Spaces seek to meet increasingly demanding comfort conditions without forgetting energy efficiency criteria. In this sense, care centres for the elderly are of vital importance and are a clear example where the interior conditions and the improvements to be adopted are focused on pursuing the user's wellbeing. In addition, this type of buildings usually shares spaces with multiple uses, which makes it difficult to establish a common criterion for action. This paper analyses the monitoring work carried out as part of an energy audit of a publicly owned gerontological centre. A building characterised by its large dimensions in which administrative, social, and service uses coexist in addition to residential use. The objective of the monitoring was to verify and quantify the degree of thermal discomfort perceived by the users and collected in previous interviews. Given the particularities of the case study, the system implemented had to be able to overcome the barriers generated by the dimensions of the building and also to be a low-cost and modular system in order to be able to extend the capacities and monitoring points. In terms of the results obtained, the monitoring has made it possible to detect and quantify the indoor environmental conditions of the most representative spaces. On the other hand, it has been possible to verify the correct operation of the proposed solution as a whole, as well as to detect points for improvement.

*Index Terms*— Elderly care centres; Internet of Things (IoT); LoRaWAN; Building monitoring; Open-Source.

## I. INTRODUCCIÓN

La sensorica cobra cada vez más un papel importante en el sector AEC ya que ofrece un elevado potencial de explotación gracias a su integración junto con la tecnología IoT. En los últimos años ha habido un enorme crecimiento en este sector, siendo el número de dispositivos conectados a Internet mayor que el número de personas en el mundo (Dave, 2020). Por otro lado, la tecnología innovadora también tiene una clara desventaja ya que muchas ideas o proyectos brillantes pueden verse truncados por falta de financiación. El alto costo de tecnología propietaria supone una importante barrera ante la que se enfrentan tanto los proyectos técnicos como las investigaciones científicas. Sin embargo, en los últimos años han surgido alternativas que permiten enfrentar esta situación a través de soluciones Open-Source que se aplican en múltiples áreas (Pearce; 2012, 2017). Es evidente que en los próximos años estas tendencias de software y hardware abierto adquirirán cada vez más relevancia dada la fuerte apuesta que están haciendo tanto la comunidad académica, las instituciones públicas como la ciudadanía (Dosemagen, 2017; European commission, 2019; Méndez et al., 2019).

La monitorización de edificios es una de las herramientas más extendidas para poder llevar a cabo el seguimiento y el control ambiental de sus espacios, y además permite la detección y verificación de posibles anomalías que puedan darse en el mismo. Además, con motivo de la alarma sanitaria los aspectos de la salud y bienestar de los usuarios y la calidad de aire de los espacios interiores han cobrado una notable importancia sobre la población en general (García de Frutos et al., 2019). En este sentido, los edificios públicos juegan un papel ejemplarizante por ofrecer un servicio público a la ciudadanía y cada vez más se desarrollan estudios de monitorización que analizan el comportamiento de este tipo de edificios (Montalbán Pozas, 2020; Lucas Bonilla, 2020).

La presente investigación muestra los trabajos desarrollados de monitorización para el seguimiento de las condiciones interiores de un centro público de cuidado de ancianos. Dichos trabajos se enmarcan en un proyecto de auditoría energética cuyo objetivo es la propuesta de mejora del comportamiento térmico global. Debido a ello, se implementó la monitorización como herramienta de verificación del comportamiento térmico interior. En este sentido, la comunicación aborda la metodología desarrollada para el diseño y despliegue del sistema de monitorización basado en plataformas Open-Source, así como los principales resultados y conclusiones obtenidas.



Fig. 1. Caso de estudio del Centro Gerontológico Egogain del municipio de Eibar (Gipuzkoa): (a) Vista desde suroeste (b) Vista desde sureste.

## II. METODOLOGÍA

### A. Descripción del caso de estudio

El edificio objeto de estudio es el Centro Gerontológico Egogain situado en c/ Legarre, 8, perteneciente al municipio de Eibar, (Fig. 1). Se encuentra en una zona despejada, dentro del núcleo urbano y rodeado de edificios tanto de uso residencial como terciario. El centro es de titularidad pública y actualmente se encuentra gestionado por la Diputación Foral de Gipuzkoa, concretamente por el Departamento de Políticas Sociales. El edificio cuenta con 9 plantas más planta baja que hacen una superficie útil total de 13790 m<sup>2</sup> y dispone de 170 plazas. El Centro Egogain no es un único edificio, sino un complejo compuesto por varios volúmenes conectados entre sí. Como zonificación gruesa se recurre a la denominación usada en el propio centro, según la cual el ala oeste corresponde a las siglas MAI (Módulo de Atención Integral) y el ala este a MAPA (Módulo de Atención a Personas Autónomas), (Fig. 2). Como todo edificio de estas dimensiones, dispone de una gran cantidad de espacios interiores y tipos de uso diferentes. Principalmente podrían distinguirse tres tipos de espacios. Por un lado, los espacios principalmente diseñados para el uso de los residentes como habitaciones dobles o individuales, espacios comunes de esparcimiento o comedores. Por otro lado, espacios necesarios para el desarrollo y buen funcionamiento del edificio como la lavandería, cocinas, peluquería, vestuarios y cuartos técnicos. Por último, espacios de uso administrativo.

### B. Diseño del sistema de monitorización IoT

Para poder llevar a cabo el diseño del sistema de monitorización, en un primer paso se establecieron una serie de criterios que debía de cumplir el sistema de manera que sirviera a modo de hoja de ruta durante la investigación. Para ello, el sistema debía de cumplir los siguientes aspectos:

1. Estar basado en plataformas de software y hardware abierto,
2. Sistema asequible
3. Transmisión inalámbrica de nodos de medición
4. Tener la propiedad de los datos generados
5. Ofrecer una solución fácil de usar para el usuario final para la consulta de datos monitorizados.

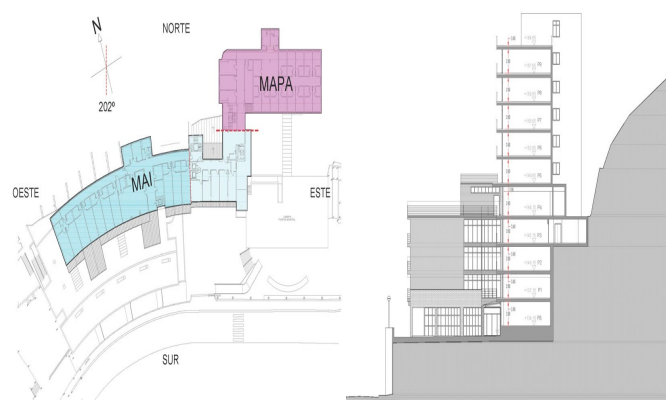


Fig. 2. Caso de estudio del Centro Gerontológico Egogain del municipio de Eibar (Gipuzkoa): (a) Zonificación general en planta (b) Sección transversal Norte-Sur

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DE LOS NODOS LoRaWAN DESPLEGADOS PARA LA MONITORIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

	Nº de nodos	Ubicaciones del nodo	Parámetros de medición	Resolución	Precisión	Alimentación
<b>ERS CO2 Lite</b>	4	Administración	Temperatura	0,1 °C	±0,2 °C	2 baterías de LiSOCL <sub>2</sub> AA 3.6V ER14505 de 2700 mAh
		Habitación 601	Humedad Relativa	0,10%	±2 %	
		Habitación 627	Concentración CO2	1 ppm	±50 ppm	
		Sala 6ª planta				
<b>Cubecell (HDC 1080)</b>	6	Exterior	Temperatura	0,1 °C	±0,2 °C	Batería LiPo recargable 3.7 V de 80mAh
		901				
		801				
		701	Humedad Relativa	0,10%	±2 %	
		510				
Lavandería						

Para el diseño de la plataforma de monitorización, el núcleo principal de la solución desplegada se basó en el protocolo IoT LoRaWAN siguiendo la metodología desarrollada en investigaciones previas de los autores (Martín-Garín et al., 2021; Mekki, 2019). LoRaWAN es una LPWAN enfocada específicamente para dispositivos de bajo consumo de energía con necesidades de comunicación de largo alcance y pequeños volúmenes de transmisión de datos. Este protocolo requiere una puerta de enlace para la creación de una red pública o privada usando LoRaWAN para recibir datos de los nodos y luego enviar estos datos al servidor. Gracias a esto, la instalación de la pasarela proporciona la propiedad de la red a diferencia de lo que ocurre en otros protocolos de IoT como Sigfox. En otras palabras, ambos son protocolos IoT LPWAN, pero su principal diferencia radica en el método de implementación de la infraestructura de red. De esta forma, LoRaWAN se convierte en el protocolo de comunicación IoT que mejor se ajusta a los requerimientos de esta investigación. A través del presente trabajo, y con el objetivo de ofrecer soluciones para el empoderamiento ciudadano, se ha decidido participar en la comunidad The Things Network (TTN) para la implementación de una red IoT pública y descentralizada. TTN es una iniciativa gratuita y de código abierto para habilitar la conectividad de los dispositivos a través de la creación de una red LoRaWAN de IoT global colectiva. Actualmente, la comunidad está compuesta por más de 164.700 miembros, 20.400 gateways distribuidos por todo el mundo, un flujo de 45 millones de mensajes diarios y siendo los países más populares Suiza, Alemania, Bélgica y España.

En cuanto a los equipos de monitorización desplegados, se emplearon por un lado los nodos ERS CO2 Lite del fabricante ELSYS y, por otro lado, nodos CubeCell Capsule Solar Sensor del fabricante Heltec Automation con la incorporación del sensor HDC1080. Estos últimos, programados bajo la plataforma Open-Source Arduino.

Para solucionar la parte de la infraestructura del gateway, se implementó un sistema capaz de ofrecer conexión inalámbrica a los nodos de monitoreo a través del protocolo LoRaWAN. Se decidió instalar la puerta de enlace RAK7244C de ocho canales de la empresa RAKwireless Technology. La principal ventaja del equipo es que utiliza como núcleo la SBC Raspberry Pi 4 con firmware basado en Raspbian además de integrar el módulo

concentrador RAK2245 Pi HAT LoRa. Con el fin de mejorar la cobertura de la pasarela, se ha implementado con una antena omnidireccional de fibra de vidrio 3dBi de 360 mm de longitud. Finalmente, para la instalación en exteriores, la puerta de enlace se introdujo en una caja de ABS IP65 resistente al agua, con prensaestopas para poder pasar el cable de red PoE y un ecualizador de presión. La instalación de la pasarela se ha realizado en la azotea del Centro de Egogain para ofrecer una línea de visión más directa y mejorar así el alcance. Por último, para poder recopilar, almacenar y visualizar los datos se hizo uso de otra Raspberry Pi que hizo función de servidor. En ella, se instaló el stack Node-RED, InfluxDB y Grafana. Esta última aplicación permitió la creación de un panel dashboard en el que se incluyeron distintos tipos de gráficas para poder visualizar los datos registrados que pueden ser consultados de acuerdo con en el intervalo temporal deseado. A través de la “Fig. 3” se muestra la arquitectura IoT desplegada para la monitorización del caso de estudio.



Fig. 3. Arquitectura IoT del sistema de monitorización Open-Source desplegado.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Datos de monitorización

Para poder presentar de una manera concisa los resultados de monitorización, se ha decidido escoger una selección de estos con el objeto de plasmar el comportamiento general tanto de temperaturas como de calidad de aire interior de los espacios monitorizados del caso de estudio.



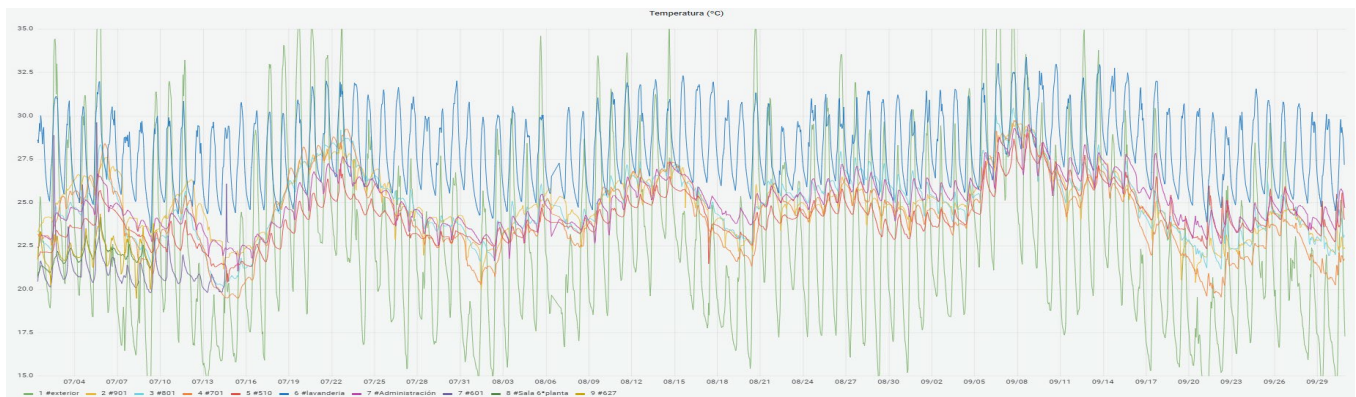


Fig. 4. Registros de temperatura durante periodo comprendido entre el 01/07/2021 a 30/09/2021.

Respecto a los registros de temperatura se muestran los valores durante el periodo más caluroso del año 2021 tal y como muestra la “Fig. 4”. Uno de los puntos más destacados es el perfil registrado de la lavandería. La actividad desarrollada en dicho espacio genera altas cargas internas que dan como resultado unas temperaturas interiores aproximadamente 5°C superiores a la del resto de espacios. En cuanto a las habitaciones, los registros permitieron evidenciar el comportamiento indicado por la propiedad de las habitaciones 901, 801 y 701 que sufrían sobrecalentamiento como consecuencia de la mayor exposición al ser espacios una pared adicional hacia el exterior respecto del resto de habitaciones. Este aspecto hace que dichas estancias tengan una incidencia solar directa que afectaba notablemente al comportamiento térmico interior y que difiere sustancialmente respecto a habitaciones que colindan con otras habitaciones tal y como puede observarse mediante los registros obtenidos de la habitación 510.

Con relación a los datos obtenidos de calidad de aire interior, la Fig. 5 muestra los valores de la segunda y tercera semana de noviembre. Dichos valores registran dos habitaciones, una sala común de esparcimiento y un despacho de administración. Por un lado, los valores correspondientes al perfil de uso administrativo tienen un claro carácter de uso laboral de lunes a viernes de 8:00-15:00 mostrando concentraciones de CO<sub>2</sub> no superiores a los 1000 ppm. Por otro lado, las dos habitaciones muestran un comportamiento similar en el que a partir de las 20:00 el nivel de concentración de CO<sub>2</sub> asciende hasta valores ligeramente inferiores a los 2000 la ppm y comienza a descender hacia las 8:00 de la mañana del próximo día

correspondiendo con el despertar de los usuarios y con la correspondiente ventilación de las habitaciones. Por último, la sala común de esparcimiento guarda también un patrón común en el que muestra un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> a partir de las 10:00 horas aproximadamente el momento en el que los usuarios terminan de desayunar y se acercan a dicho espacio para realizar sus actividades. Dichos valores se mantienen por lo general en valores inferiores a los 1000 ppm y comienzan a descender a partir de las 19:00 cuando los usuarios dejan el espacio para comenzar a cenar y posteriormente dirigirse a sus habitaciones.

#### B. Comportamiento energético de los nodos de monitorización

Otro de los puntos a mencionar del sistema de monitorización se encuentra relacionado con el comportamiento energético de las baterías de los nodos CubeCell. Durante el periodo de monitorización resultó ser necesario efectuar varias visitas al centro para proceder a la recarga de las baterías como consecuencia de la baja capacidad de estas. Como se puede observar en la Fig. 6, los 80 mAh de capacidad ofrecían aproximadamente 3 meses de duración considerando que la toma de las mediciones era de 10 minutos. Por otro lado, el nodo exterior no ofrecía este comportamiento ya que era capaz de captar la energía solar a través del panel solar que dispone y recargar la batería del nodo. Este es un aspecto de gran relevancia que debe de ser evitado y por lo tanto un aspecto a mejorar. En este sentido, los nodos ELSYS no sufrieron prácticamente variación alguna en el estado de sus baterías gracias a la alta capacidad que ofrecen al disponer dos baterías en paralelo de 2700 mAh.

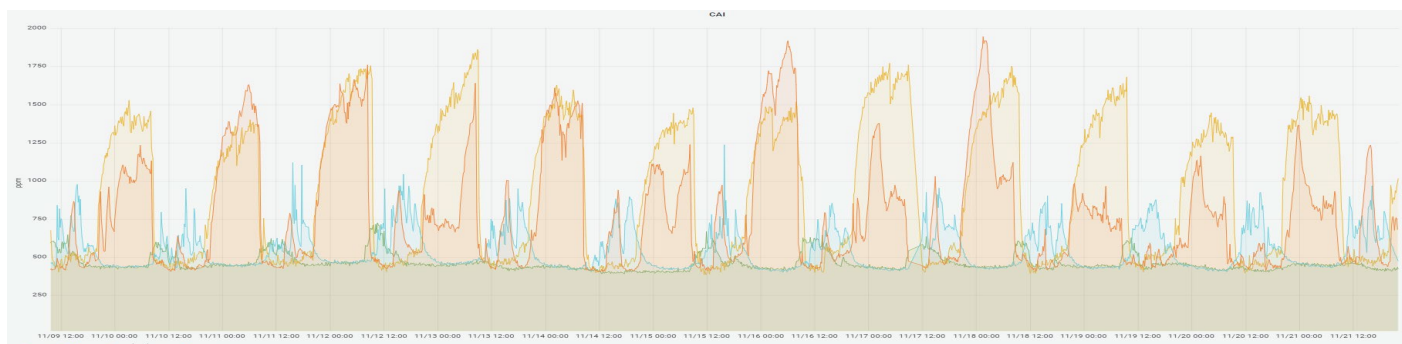


Fig. 5. Registros de concentración de CO<sub>2</sub> durante periodo comprendido entre el 09/11/2021 a 21/11/2021

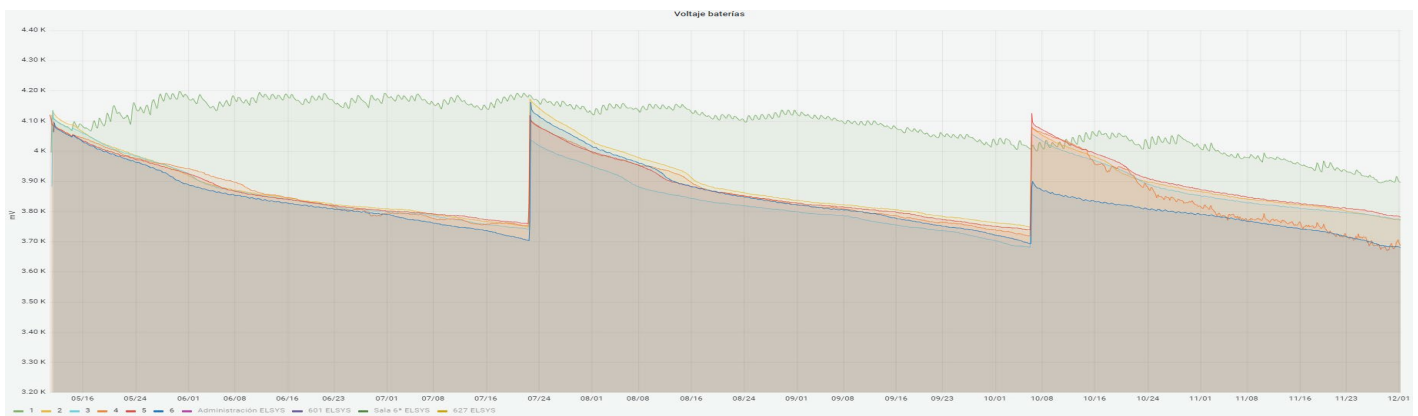


Fig. 6. Monitorización de la evolución del estado de las baterías de los nodos Cubecell.

#### IV. CONCLUSIONES

La presente investigación se ha centrado en el diseño y despliegue de un sistema de IoT basado en plataformas Open-Source para la monitorización de edificios. Para ello se ha verificado su correcto funcionamiento en un centro de cuidado de ancianos de propiedad pública. El sistema desplegado se ha caracterizado por ser una solución sencilla, económica, no intrusiva gracias a consistir en una solución inalámbrica, ofrecer la propiedad total tanto de los datos generados como de la propia infraestructura y por último apoyar a la comunidad TTN en el despliegue de la red pública IoT.

En cuanto a los perfiles de monitorización observados, los resultados guardan coherencia con los valores esperados. El sistema implementado ha permitido verificar y cuantificar los puntos conflictivos previamente identificados por la propiedad en relación con el discomfort existente en ciertos espacios del centro. Gracias a ello, estos datos sirven como base para para el proceso de intervención que se desarrollará en el edificio con el objeto de optimizar su comportamiento energético. Con relación a las futuras líneas de investigación, uno de los puntos de interés detectados en el artículo es el consumo de energía de los dispositivos de monitorización. En este sentido, la recolección de energía, conocido también como energy harvesting, es uno de los temas de vanguardia en esta área. El uso de energía residual de diversas fuentes podría ser una alternativa para alimentar este tipo de dispositivos. Pequeñas fuentes de temperatura, luz o vibraciones pueden ser captadas y almacenadas mediante un proceso de transformación previo a través de un circuito de control de potencia. Así, futuros desarrollos podrían considerar el uso de este tipo de soluciones para optimizar la gestión energética de los dispositivos de monitorización. Otro de los aspectos de gran interés, es la continuación con el despliegue de la red IoT descentralizada TTN basada en LoRaWAN con el fin de ofrecer una red pública y gratuita intentando ampliar su cobertura. Esta propuesta permitiría el desarrollo de soluciones y tecnología enfocadas a la sociedad en general de acuerdo con los nuevos modelos de investigación conocidos como Science with and for Society (SwafS).

#### ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

<b>AEC</b>	Architecture, Engineering & Construction
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>LPWAN</b>	Low Power Wide Area Networks
<b>PoE</b>	Power over Ethernet
<b>SBC</b>	Single Board Computer
<b>TSDB</b>	Times series database
<b>TIN</b>	The Things Network

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido para este trabajo a través del proyecto "Sistema piloto para la monitorización avanzada de edificios en red LPWAN con dispositivos IoT" financiado por el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa.

#### REFERENCIAS

- E. Dave. (). The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).
- S. Dosemagen, M. Liboiron and J. Molloy, "Gathering for open science hardware 2016," *Journal of Open Hardware*, vol. 1, (1), 2017. . DOI: <https://doi.org/10.5334/joh.5>.
- European Commission, "The Impact of Open-Source Software and Hardware on Technological Independence, Competitiveness and Innovation in the EU Economy — SMART 2019/0011. 2019/S 248-611337." European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Directorate E: Future Networks, Unit E2: Cloud and Software, 2019. Available: <https://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:611337-2019:TEXT:EN:HTML&tabId=1>.
- D. García de Frutos, J. Marrot Ticó, M. Monzón Chavarrías, Payán de Tejada Alonso, Alejandro, Fernández Hernández, María del Carmen and J. López-Asiain Martínez, *Edificios Y Salud. 7 llaves Para Un Edificio Saludable*. (Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE) ed.) 2019.
- M. Lucas Bonilla, B. Muriel Delgado and B. Montalbán Pozas, "Propuesta de implementación de sistema de sensorización y monitorización para la mejora de edificios públicos = Implementing a monitoring system's proposal for the improvement of public buildings," *Anales De Edificación*,

- vol. 6, (3), 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.20868/ade.2020.4613>.
- A. Martín-Garín, J. A. Millán-García, R. J. Hernández-Minguillón, M. M. Prieto, N. Alilat and A. Bañri, "Open-Source Framework Based on LoRaWAN IoT Technology for Building Monitoring and Its Integration into BIM Models. In: Hussain C.M., Di Sia P. (eds) Handbook of Smart Materials, Technologies, and Devices." 2021. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58675-1\\_9-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58675-1_9-1).
- A. Martín-Garín, J. A. Millán-García, I. Leon, X. Oregi, J. Estevez and C. Marieta, "Pedagogical approaches for sustainable development in building in higher education," Sustainability, vol. 13, (18), 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810203>.
- K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," ICT Express, vol. 5, (1), pp. 1-7, March 2019, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>.
- E. Mendez, R. Lawrence, C. J. MacCallum and E. Moard, "Progress on Open Science: Towards a Shared Research Knowledge System – Final Report of the Open Science Policy Platform," European Commission, Directorate-General for Research and Innovation Open Science, 2020.
- B. Montalbán Pozas, B. Muriel Delgado and M. Lucas Bonilla, "Metodología para mejorar el confort y la calidad del aire en edificios públicos con tecnología de bajo coste = Methodology to improve comfort and air quality in public buildings with low-cost technology," Anales De Edificación, vol. 6, (3), 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.20868/ade.2020.4612>.
- J. M. Pearce, "Building research equipment with free, open-source hardware," Science, vol. 337, (6100), pp. 1303-1304, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1228183>.
- J. M. Pearce, "Impacts of open source hardware in science and engineering," Bridge, vol. 47, (3), pp. 24-31, 2017.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.