



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación

Vol. 8, Nº2, 7-13 (2022)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2022.5035

Monitorización del consumo eléctrico a través de flujos de datos para la gestión inteligente y sostenible de edificios públicos

Monitoring electricity consumption through data streams for smart and sustainable management of public buildings

Beatriz Montalbán Pozas^a, Marta Lucas Bonilla^a, Beatriz García Iglesias^a, Sergio Barroso Ramírez^a, Pablo Bustos García De Castro^a, Francisco Serrano Candela^a

^aDepartamento de Construcción. Escuela Politécnica de Cáceres. Universidad de Extremadura. Avda de la Universidad, s/n

Resumen-- La situación actual de escasez de recursos energéticos, unido a la ineficiencia en el uso de los edificios, y al avance de la tecnología sugiere la implantación de sistemas inteligentes para un uso más sostenible. En este texto se expone el desarrollo de un sistema de información heterogéneo que permite la monitorización de las infraestructuras edificatorias, y la integración de datos en una plataforma digital de visualización, dentro de una arquitectura escalable y de fuentes abiertas. Se ha implementado en el caso de estudio del municipio del Casar de Cáceres, y en el ámbito del consumo eléctrico de los edificios públicos; este municipio cuenta con unos 4500 habitantes y 39 contratos de contadores públicos que se agrupan según cada edificio y su tipología de uso (sanitario, educativo, culturales, asistenciales, otros, y alumbrado público). El uso de estos indicadores facilitará el establecimiento de políticas de evaluación de los edificios. Para finalizar, estos flujos de datos facilitarán la gestión municipal y mejorará la calidad de los servicios ofrecidos, permitiendo además mejorar su eficiencia y el ahorro de recursos, tanto naturales como humanos y económicos.

Palabras clave— Consumo eléctrico; Big Data; Digitalización; IoT; Monitorización.

Abstract— The current situation of scarcity of energy resources, together with the inefficient use of buildings and the advance of technology, suggests the implementation of intelligent systems for a more sustainable use. This text presents the development of a heterogeneous information system that allows the monitoring of building infrastructures and the integration of data in a digital visualisation platform, within a scalable and open-source architecture. It has been implemented in the case study of the municipality of Casar de Cáceres, and in the field of electricity consumption of public buildings; this municipality has about 4500 inhabitants and 39 public meter contracts that are grouped according to each building and its type of use (health, education, cultural, welfare, other, and public lighting). The use of these indicators will facilitate the establishment of building evaluation policies. Finally, these data flows will facilitate municipal management and improve the quality of the services offered, as well as improving their efficiency and saving resources, both natural, human and economic.

Index Terms— Electricity consumption; Big Data; Digitisation; IoT; Monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

EL actual metabolismo urbano provoca un alto impacto en la sostenibilidad y uso de los recursos materiales del planeta que requiere una mejora en la planificación y en sus políticas de acción (Kissinger; Puchol-Salort, 2021). Esta preocupación

se observa igualmente a nivel municipal (GCoM, 2021). Para su control deben tenerse en cuenta los avances actuales realizados en el campo de la tecnología de las smart cities (Palumbo, 2021). Asimismo, el uso de indicadores a escala urbana se manifiesta como beneficioso para la mejora de la eficiencia de las ciudades (Akuraju, 2020).

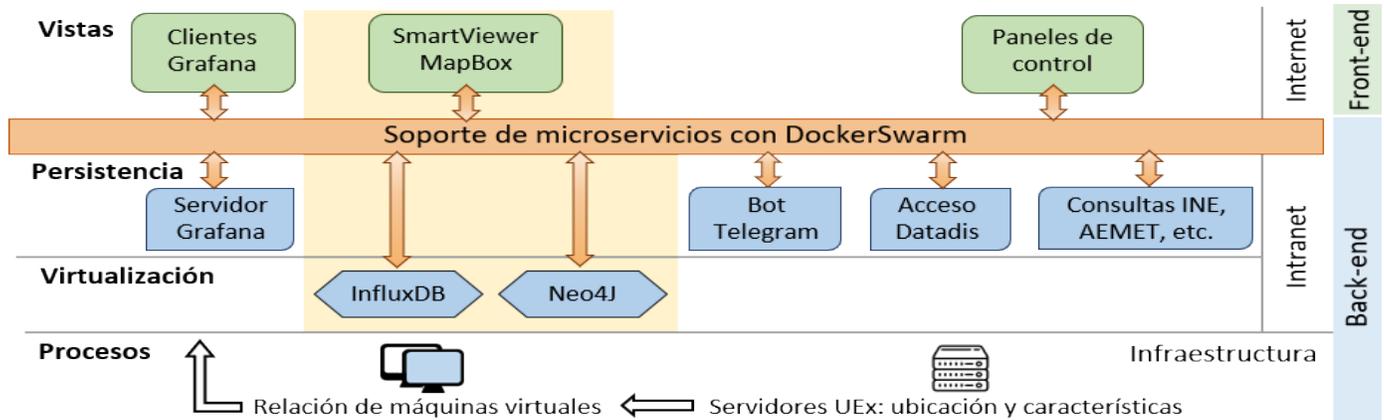


Fig. 1. Esquema general de la arquitectura del sistema de información

En este campo, el uso de la monitorización permite el conocimiento en tiempo real de las variables de funcionamiento, aunque actualmente este término se encuentra a menudo asociado solamente a los edificios (Burgas; Guerra-Santín, 2015). Por otro lado, el diseño de ecosistemas inteligentes a través de sensores y actuadores (Ahad, 2020), o mediante centros de control (Park et al., 2019) requiere de una gran inversión, en muchos casos, no disponible. Respecto a estas dos cuestiones hay que tener en cuenta el beneficio de los datos preexistentes (Big Data) vinculado a muchos ámbitos urbanos.

Basado en estos antecedentes, este estudio surge a partir de la colaboración entre la Diputación Provincial de Cáceres y la Universidad de Extremadura para definir la metodología de la estrategia de especialización territorial inteligente de la provincia. Así, se plantea el diseño e implantación de un sistema de información territorial heterogéneo ciber-físico que permita la monitorización de las infraestructuras territoriales y la integración de los datos obtenidos en una arquitectura escalable. Además, se deberá implantar, y probar en varios municipios y ámbitos. Dentro de estos últimos, uno de los datos preocupantes es el alto consumo de energía eléctrica (Eurostat., 2020), para el cual también se utiliza para su control en edificios las técnicas de datos (Khan et al., 2013). De este modo este artículo recoge el caso práctico de la gestión del consumo eléctrico dentro del sistema de datos aplicado al caso de estudio del municipio del Casar de Cáceres.

II. METODOLOGÍA

Para iniciar este estudio es preciso diseñar el sistema de información, que posteriormente se implanta a nivel municipal.

A. Diseño del sistema de información

El sistema aloja, mantiene, relaciona y ofrece datos de los dispositivos desplegados en el territorio inteligente. Su arquitectura (Fig. 1) se describe mediante sus dos elementos principales. Por un lado, el Back-end, o sistema de gestión, recibe, almacena la información y proporciona el acceso para su consulta. Lo forman:

1. La infraestructura de virtualización: cuenta con las máquinas virtuales que alojan los servidores de bases de datos, bus de servicios y visualización.
2. La persistencia: viene representada por los sistemas de

almacenamiento, en este caso dos bases de datos gratuitas y de fuentes abiertas: InfluxDB (InfluxDB, 2019) orientada a series temporales y que se integra con la herramienta de visualización Grafana (Grafana Labs, 2020) y Neo4j (Neo4j, 2021) orientada a grafos, y de los que se sirve como modelo para organizar la información almacenada, en este caso se utiliza un grafo dirigido, con nodos etiquetados de la siguiente manera: provincia → municipio → edificios → dispositivos, y cuya relación puede ser de pertenencia, continencia, etc. Así, en un grafo la información está intrínsecamente conectada por la propia naturaleza de la estructura de datos que sigue el grafo. Neo4j también posibilita relacionar el espacio con los dispositivos que monitorizan su estado.

3. Los programas de transformación: se deben alojar en la siguiente capa y sirven para implementar medidas de seguridad, proporcionar puntos de servicio web, hacer peticiones a suministradores, transformar y gestionar datos, etc.
4. El bus de servicios: ofrece diversas funcionalidades relacionadas con los protocolos de comunicación y la forma en que se ofrecen los servicios, los monitoriza, gestiona y supervisa su ejecución. En este caso se utiliza el soporte de microservicios con DockerSwarm, de fuentes abiertas y escrito en el lenguaje Python. Sus principales servicios son:
 - a. `map_casar.MapBox`. Channel: `/visor-diputacion`: permite a los usuarios acceder a un visor web que posibilita navegar por el municipio y consultar los datos almacenados.
 - b. `Sensor to Db Api`. Channel: `/api/v1/input/json`: facilita la inserción de los datos de los sensores en InfluxDB; cuando se generan nuevos datos, los dispositivos realizan una llamada remota a este servicio enviando normalmente los datos en formato JSON.
 - c. `Api Reading Sensors`. Channel: `/read/influx/json`: permite el acceso a los datos de InfluxDB, siendo solamente necesario hacer la llamada al servicio incluyendo una estructura JSON que especifique el identificador del sensor y las fechas deseadas.

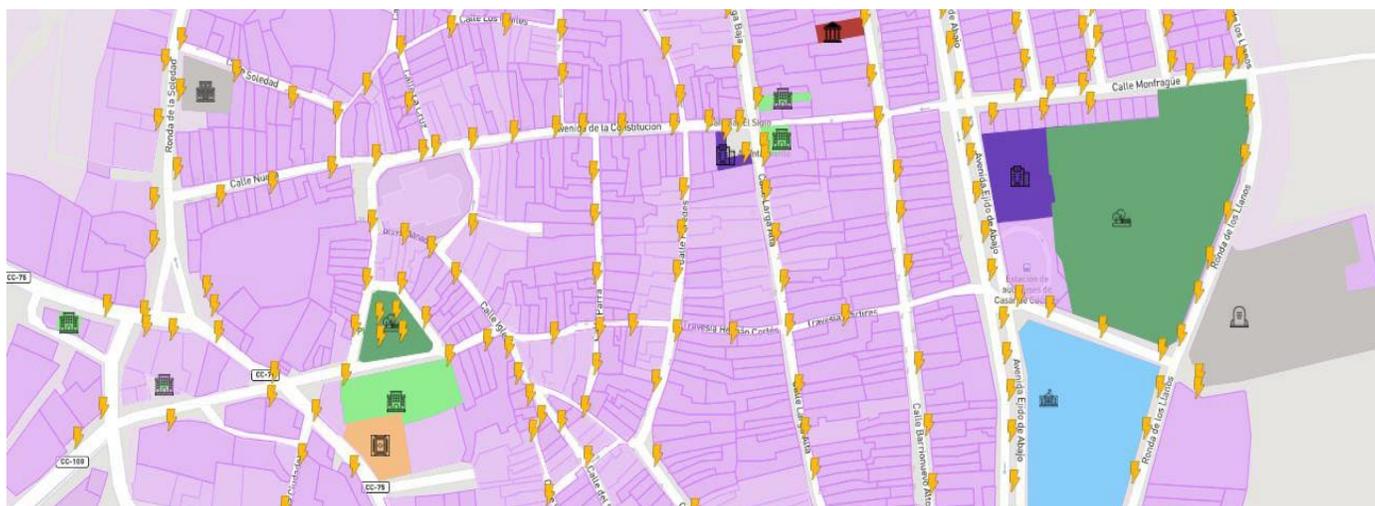


Fig. 2. Visor espacial del municipio caso de estudio

En este sistema ciber-físico la información se adquiere del mundo físico, mediante diversos dispositivos y procesos de recolección de datos, como la instalación de sensores que puedan medir variables de interés municipal, como el consumo eléctrico, y comunicarse con los servidores, utilizando protocolos bien establecidos y que se implementan a través de un bus de servicios. En este caso, se han utilizado los datos obtenidos previamente por otros agentes y medios: como los de API's existentes o web, como el consumo eléctrico registrado que las compañías de suministro ponen a disposición de sus clientes. Para cada fuente, se ha creado un programa específico de acceso, recogida, filtrado y almacenamiento de datos, que se ejecutan periódicamente y de manera automática desde un servidor del sistema.

Por otro lado, el Front-end, o sistema de visualización, es la parte que incluye las funcionalidades de vistas y tableros de control, con diferentes representaciones:

- a. Temporal: se realiza a través del software abierto y gratuito Grafana, que posibilita el análisis y visualización de sus datos sobre web mediante gráficos.
- b. Espacial: se lleva a cabo a través de un visor web específico desarrollado en este proyecto (Fig. 2) y que combina características visuales de los SIG con entornos propios de realidad virtual. Los elementos estructurales se obtienen mediante un procedimiento semiautomático apoyado en la herramienta FME. Así,

se presenta al usuario el entorno físico digitalizado y sincronizado por el Sistema Ciber Físico de una forma natural y directa.

B. Implementación a nivel municipal

En primer lugar, el marco de trabajo parte de un estudio multinivel sobre la implementación de las medidas de desarrollo sostenible a nivel municipal. Respecto a la monitorización del consumo eléctrico, los ejes y objetivos preferentes que se presentan derivan de:

1. Los Ejes Estratégicos de desarrollo sostenible local (F.E M. y provincias, 2021): en concreto en el número 3. Sostenibilidad de los espacios urbanos.
2. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible: nos centramos en el ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, además de los ODS 7, 13 y 9.
3. El Plan de Acción para la implementación de la Agenda 2030 en España (Min. Der. Sociales, 2021), y en concreto "Evitar la dispersión urbana y revitalizar la ciudad existente, Ordenar el territorio y hacer un uso racional del suelo, Favorecer la proximidad y la movilidad sostenible, Garantizar el acceso a la vivienda, Gestionar de forma sostenible los recursos y favorecer la economía circular, Prevenir y reducir los efectos del cambio climático".

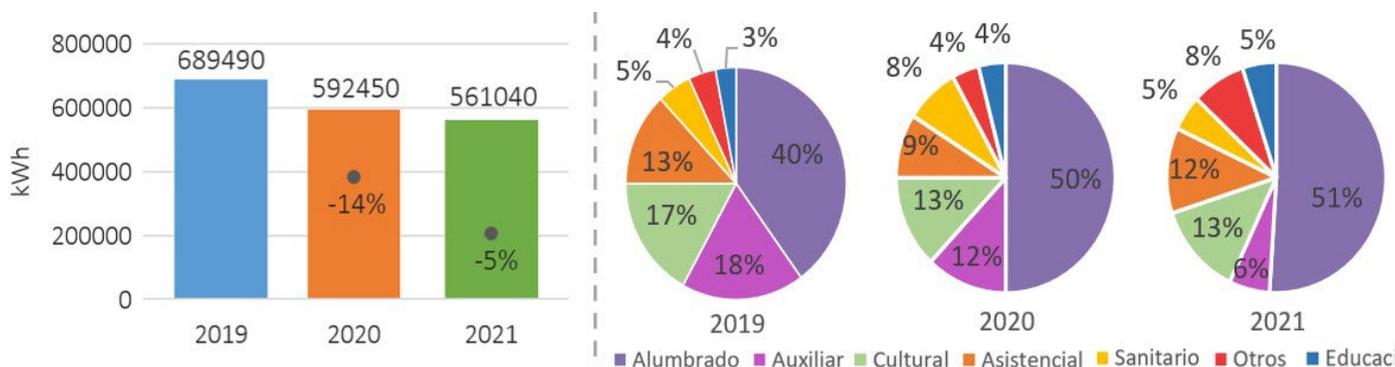
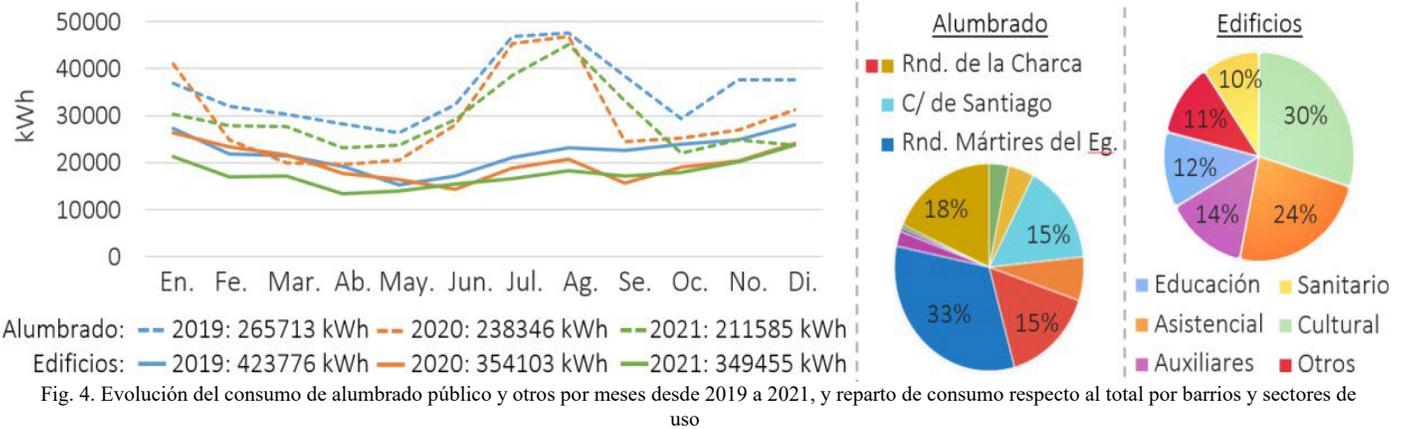


Fig. 3. Consumo eléctrico total anual, porcentaje de reducción respecto al año anterior, y reparto del mismo por uso (años 2019, 2020 y 2021)



C. Implementación y análisis en el caso de estudio

Los datos utilizados han sido varios. Por un lado, el número de habitantes anuales se obtiene a través del Padrón Municipal del Instituto Nacional de Estadística y se carga de manera automatizada al sistema mediante un script en Python que se ejecuta periódicamente. Esta descarga un archivo en formato JSON, extrae los datos y los inserta en la base de datos InfluxDB. Por otro lado, se han obtenido datos territoriales, a través de ficheros shapefiles que la Diputación ha proporcionado sobre parcelas y manzanas y que son transformados con el software FME en un único fichero en formato GeoJSON. Posteriormente se ha desarrollado un script en Python que lee dicho archivo y crea las queries que insertan las parcelas o manzanas en la base de datos Neo4J; después forman por cada una de ellas un nodo independiente con sus correspondientes atributos (extraídos de los shapefiles que se relaciona a su vez con un nodo superior (nodo Pueblo). Además de ello, se han añadido los datos sobre los usos de los contratos integrándose en el visor con el mismo procedimiento anterior.

Respecto a los datos de consumo eléctrico, se han ubicado los puntos de alumbrado público en el visor integrando los shapefiles. Además, se han recopilado datos históricos de consumos eléctricos (lecturas mensuales, tensión, tarifa, potencia contratada, número de transformador, etc.) a través de la plataforma “datadis” de la Asociación de Empresas Eléctricas. El vertido de estos fue de forma automática.

Una vez que se dispone de los datos se ha realizado un análisis de consumo eléctrico histórico de los años disponibles: 2019, 2020 y 2021 con el objetivo de inferir el comportamiento anual y detectar posibles anomalías. Cabe destacar que el 14 de marzo del 2020 se decretó estado de alarma debido a la pandemia global del COVID con un periodo de confinamiento domiciliario de aproximadamente 3 meses y posteriormente se

establecieron restricciones de uso y de aforo, por lo cual el patrón habitual de consumo se vio alterado. A través del análisis se observa una evolución descendente del consumo municipal total anual; el del 2020 es un 14% menor que el del 2019, y el de 2021 un 5% menor. Respecto al reparto del consumo entre los diferentes tipos de contratos municipales, cabe destacar que el mayor porcentaje corresponde al alumbrado, que oscila entre el 40 y el 51% del total, seguido del cultural entre un 13 y un 17%. Los sectores educativo y sanitario emplean únicamente en torno al 5% del total. Asimismo, se puede resaltar la bajada del porcentaje del uso auxiliar, del 18% en 2019, al 6% en el 2021 (Fig. 3).

Respecto al consumo mensual, se observa que sigue un patrón anual similar y descendente. En el caso del alumbrado hay un máximo en enero y diciembre que corresponde al encendido de Navidad; en este caso hay que mencionar que se realizó un cambio a lámparas tipo led previo a estos años, quedando una parte que se sustituyó en agosto de 2020 a partir de cuya fecha se aprecia una notable bajada de consumo. El resto de los contratos presentan valores máximos en julio y agosto (asociado al aumento de población y de las actividades asociadas al período veraniego); además, se observa una considerable bajada a partir de marzo del 2020, que coincide con el periodo de confinamiento y restricciones covid, que anuló el uso de muchos edificios públicos (Fig. 4).

En el reparto del consumo de alumbrado por barrios, cabe destacar que la Ronda de Mártires del Ejido contabiliza más de un 30% del total (valor que no corresponde con el número de luminarias instaladas en la zona), la Ronda de la Charca, un 18 y un 15% en sus dos contratos, y la calle Santiago un 15%. Por otra parte, respecto al reparto del resto de contratos, es en el sector cultural el de mayor consumo, con un 30% del total, seguido del asistencial con un 24% (Fig. 4).

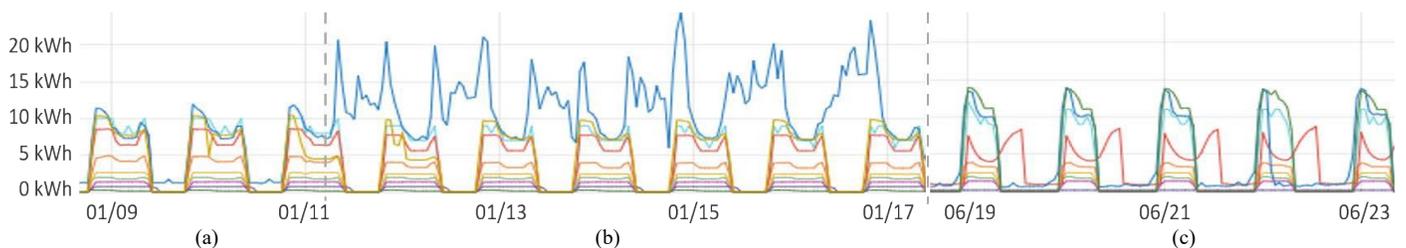


Fig. 5. Evolución del consumo de alumbrado público y otros por meses desde 2019 a 2021, y reparto de consumo respecto al total por barrios y sectores de uso

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

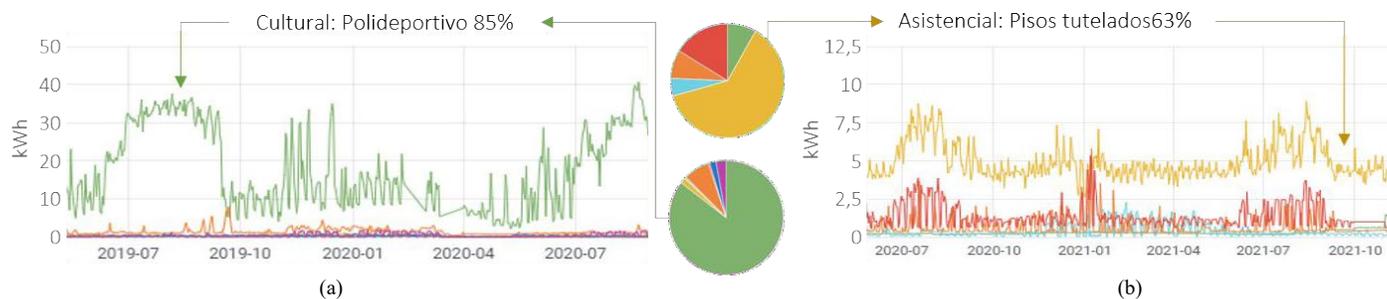


Fig. 6. Ejemplos de comportamiento de altos consumos en el sector cultural (a) y asistencial (b).

En el análisis pormenorizado del consumo por estaciones, meses, días y horas, el comportamiento general del alumbrado es coherente con la luz solar (Fig. 5a); aunque presenta anomalías que se repiten a lo largo del tiempo: la Ronda de Mártires del Ejido con consumo diurno (Fig. 5b) y la Ronda de la Charca, que presenta picos máximos a las 18h y a las 13h y una bajada a las 5h (Fig. 5c).

En el análisis pormenorizado del consumo del resto de contratos por cada sector de uso, y por contadores individuales, se han detectado altos valores. Destaca el del contrato del polideportivo, el cual representa más de un 80% del total del consumo cultural, tiene una base constante de unos 7 kWh, y altos registros de junio a septiembre, asociado al uso de las instalaciones deportivas como la piscina (Fig. 6a). Por otra parte, el hogar del pensionista y los pisos tutelados también muestran una base constante de unos 5kWh superando el 60% del total del sector asistencial; este hecho se asocia a que los pisos tutelados tienen un uso horario más amplio que otros edificios públicos (Fig. 6b).

En este artículo se muestran varios resultados obtenidos en la investigación. En primer lugar, el diseño de un sistema de información global que permite la monitorización en tiempo real de los datos y facilita su entendimiento tanto para la gestión y análisis de las Administraciones públicas correspondientes, como para conocimiento de los residentes del municipio, o empresas privadas. En segundo lugar, se muestra la aplicación a un caso de uso en el ámbito del consumo eléctrico municipal, para ello, se ha configurado, dentro del SI, varias pantallas con un conjunto de gráficas diseñadas según el interés de cada dato, y de los patrones, anomalías, y excesos de consumo obtenido en el análisis realizado. Estas pueden ser consultadas según el rango de tiempo que se desee, a través de una web de uso público (<http://smartpolitech.unex.es:4000/?orgId=4>) (Ejemplo en Fig. 7).

Un último resultado ha sido la obtención de indicadores urbanos de medida del consumo eléctrico del municipio a través de los datos, que pueden servir de base para la gestión tanto a nivel municipal como regional (Tabla 1).

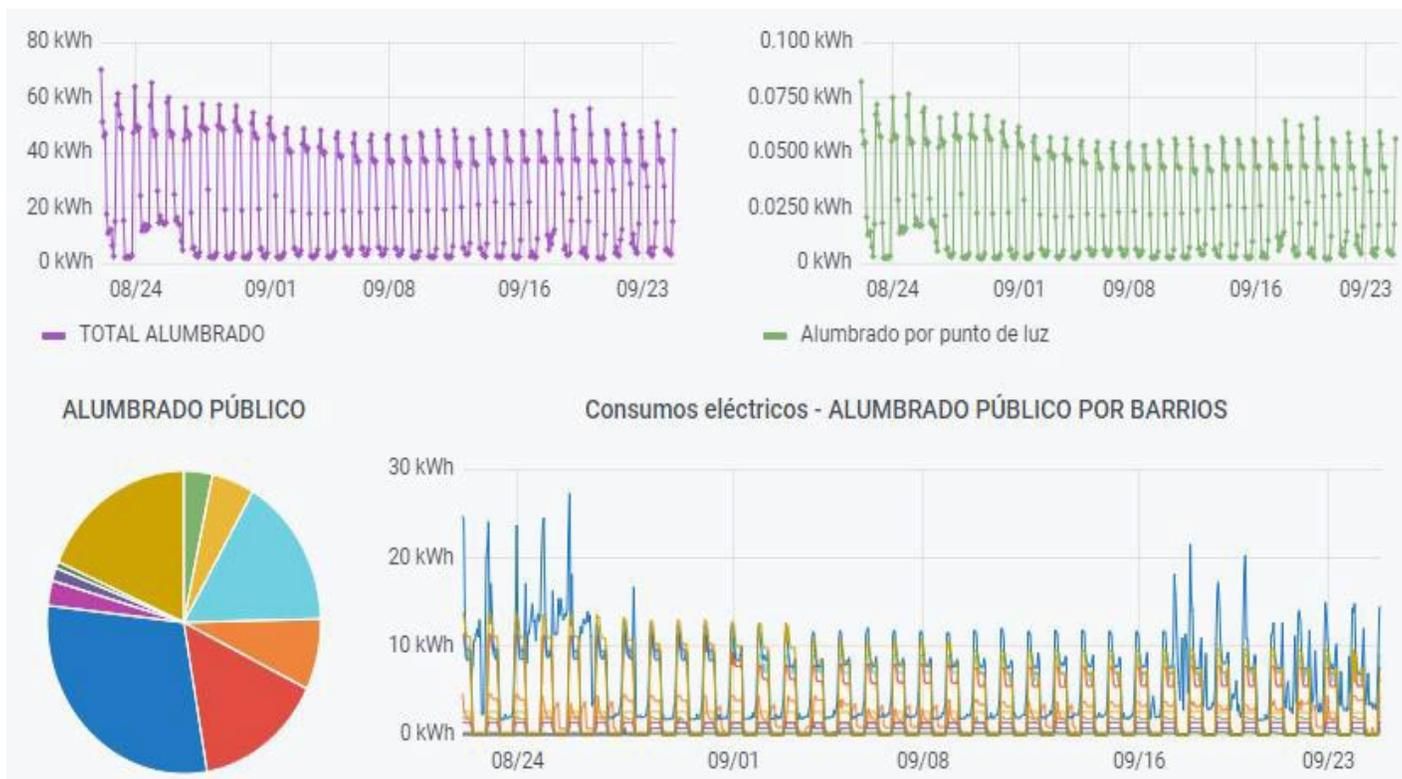


Fig. 7. Ejemplo de gráficas de consumo de alumbrado público en pantalla de Grafana (evolución del consumo total, reparto por barrios, consumo unitario por punto de luz, y evolución del consumo de cada barrio).

TABLA I
INDICADORES DE CONSUMO ELÉCTRICO DEL MUNICIPIO

Consumo	2019	2020	2021	Media
Total anual/ medio mensual (MWh)	689/ 57	592/ 49	561/ 47	614/ 51
Máx./ Mín. mensual (MWh)	70 Ag. / 41 May.	67 En. / 36 May.	63 Ag. / 36 Ab.	
Total por habitante anual (kWh/p)	154	131	124	136,7
Alumbrado: máx. / min. mensual (MWh)	28 Di. / 15 May.	26 En. / 14 Jun.	24 Di. / 13 Ab.	
Alumbrado: medio mensual por luminaria (kWh/lu.)	25,9	23,3	20,6	23,3
Otros: máx. / min. mensual (MWh)	48 Ag. / 26 May.	47 Ag. / 20 Ab.	45 Ag. / 22 Oc.	
Otros: medio mensual por contrato (kWh/con.)	1217	1017	1004	1079

IV. CONCLUSIONES

Del desarrollo del presente proyecto se obtienen diversas conclusiones entre las que destaca que es posible el uso de la tecnología para el avance hacia la mejora de la sostenibilidad urbana, sin que sea necesaria para ello inversión económica en sensorización. La utilización de un sistema de información escalable, adaptable y de fuentes abiertas permite que se pueda replicar en cualquier caso de estudio: territorios o edificios. A través de esta metodología es posible posteriormente la automatización de procesos, la mejora de la gestión municipal y la optimización paulatina del rendimiento territorial, ya que gracias a ella es posible conocer los datos en tiempo real, obtener indicadores que permiten evaluar el territorio, detectar comportamientos anómalos y, por tanto, actuar en consecuencia. De este modo, mejorando nuestros territorios se puede lograr una mejora de la calidad de los servicios ofrecidos y un ahorro de recursos, tanto naturales como humanos y económicos, así como la consecución de los objetivos del Plan de Acción de la Agenda Urbana 2030 (gestionar de forma sostenible los recursos y favorecer la economía circular) y del ODS 11 (lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles).

AGRADECIMIENTOS

La realización y presentación de este trabajo ha sido posible gracias al convenio de colaboración entre la Diputación Provincial de Cáceres y la Universidad de Extremadura “Sensorización de datos de infraestructuras territoriales Inteligentes. Sistema ciber-físico para definir la metodología de especialización territorial inteligente de la provincia de Cáceres” y de la financiación concedida por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la Unión Europea a través de la ayuda de referencia GR21018.

REFERENCIAS

- M. A. Ahad, S. Paiva, G. Tripathi, and N. Feroz, “Enabling Technologies and Sustainable Smart Cities,” *Sustain. Cities Soc.*, p. 102301, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102301.
- V. Akuraju, P. Pradhan, D. Haase, J. P. Kropp, and D. Rybski, “Relating SDG11 indicators and urban scaling—An exploratory study,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 52, p. 101853, 2020.
- L. Burgas, J. Melendez, J. Colomer, J. Massana, and C. Pous, “Multivariate statistical monitoring of buildings. Case study: Energy monitoring of a social housing building,” *Energy Build.*, vol. 103, pp. 338–351, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.069.
- C. Europea, “Eurostat,” 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy>
- F. E. de M. y Provincias, “Hacia una Estrategia Local de Desarrollo Sostenible.” [Online]. Available: www.femp.eswww.municipiosyeconomicacircular.org.
- Grafana Labs, “The leading open-source software for time series analytics,” 2020. [Online]. Available: <http://grafana.org>
- O. Guerra-Santin and C. A. Tweed, “In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods,” *Energy Build.*, vol. 93, pp. 189–207, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.042.
- InfluxData, “InfluxDB,” 2019. [Online]. Available: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.7/>
- I. Khan, A. Capozzoli, S. P. Corgnati, and T. Cerquitelli, “Fault Detection Analysis of Building Energy Consumption Using Data Mining Techniques,” *Energy Procedia*, vol. 42, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.057.
- M. Kissinger and Z. Stossel, “An integrated, multi-scale approach for modelling urban metabolism changes as a means for assessing urban sustainability,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 67, p. 102695, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102695.

- Ministerio de derechos sociales y Agenda 2030. Gobierno de España. Agenda 2030. [Online]. Available: <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/index.htm>
- I. Neo4j, “Neo4j,” 2021. [Online]. Available: <https://neo4j.com/>
- “Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía (Global Covenant of Mayors for Climate & Energy – GCoM)” [Online]. Available: <http://pactodealcaldes-la.eu/>.
- R. Palumbo, M. F. Manesh, M. M. Pellegrini, A. Caputo, and G. Flamini, “Organizing a sustainable smart urban ecosystem: Perspectives and insights from a bibliometric analysis and literature review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 297, p. 126622, May 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.126622.
- J. Y. Park et al., “A critical review of field implementations of occupant-centric building controls,” *Build. Environ.*, vol. 165, p. 106351, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2019.106351.
- P. Puchol-Salort, J. O’Keeffe, M. van Reeuwijk, and A. Mijic, “An urban planning sustainability framework: Systems approach to blue green urban design,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 66, p. 102677, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102677.



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.