



# SOLUCIÓN IOT PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE LAS REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

José Manuel Rodríguez Castellano<sup>1\*</sup>, Juan Manuel Díaz Cabrera<sup>2\*</sup>, Isabel  
Luisa Castillejo González<sup>3</sup>, Antonio Javier Guisado Baena<sup>4</sup>, Antonio Manuel  
Ramírez Ortega<sup>4</sup>, Antonio Luis Moreno Miranda<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Beca de Especialización de la Modalidad Va – Semillero de Emprendedores UCO-  
Santander 2023 de la Universidad de Córdoba, Parque Científico Tecnológico de  
Córdoba Rabanales 21, c/Astrónoma Cecilia Payne, Edificio Centauro, 14014 Córdoba,  
España.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Automática, Universidad de Córdoba, Campus  
Universitario de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci, 14071 Córdoba, España.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba, Campus  
Universitario de Rabanales, Edificio Gregor Mendel C5, 2ª planta, 14071 Córdoba,  
España.

<sup>4</sup> Smart Fénix S.L., Parque Científico Tecnológico de Córdoba Rabanales 21,  
c/Astrónoma Cecilia Payne, Edificio Centauro, 14014 Córdoba, España.

[rodriguezcastellano.josemanuel@gmail.com](mailto:rodriguezcastellano.josemanuel@gmail.com)

[jmdiaz@uco.es](mailto:jmdiaz@uco.es)

## RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en la implementación del piloto desarrollado para la actualización y modernización del sistema de lectura y medición del consumo de agua en la Villa de Posadas (Córdoba, España). Para este piloto se han instalado 50 contadores inteligentes con protocolo de comunicaciones LoRaWAN, un Gateway, y la Plataforma web IoT de gestión y control de la arquitectura desplegada. Transcurrido un año de recogida de datos se muestran en este trabajo las conclusiones obtenidas tras el análisis de estos y la comparación con el histórico de los datos recopilados por el Ayuntamiento de la Villa de Posadas con el sistema tradicional implementado en esta localidad para la gestión de la red de abastecimiento de aguas. La solución mostrada nos permite evidenciar las posibilidades que aporta esta tecnología con respecto a las que aportaba el sistema tradicional de lectura y toma de datos. Esta solución nos va a permitir construir modelos de consumo eficientes y sostenibles, generados a través de la digitalización del sistema de abastecimiento de aguas.

### Palabras clave

Solución IoT, Gestión hídrica eficiente, Sostenibilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El agua es un bien escaso e imprescindible. Las mismas fuentes naturales de agua son usadas para consumo humano, regadío o industria. El agua se ha convertido en indispensable para nuestra supervivencia y su disponibilidad no depende únicamente de factores naturales, sino también de la acción humana [1]. El proceso de cambio climático está generando entre otros una pertinaz escasez de lluvias que se repite en cada año hídrico provocando tensiones hídricas en la gestión del agua, y llevando a los gestores públicos a decretar situaciones excepcionales de sequía y emergencia. Por ser un bien esencial para nuestra sociedad, la gestión del agua es una responsabilidad pública lo que conlleva como consecuencia una necesaria gestión de las demandas de agua. Se están llevando a cabo diferentes actuaciones,

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

para reducir la demanda de agua. Estas actuaciones consisten principalmente en la modernización de las infraestructuras de transporte y distribución. En materia energética, la apuesta se centra en impulsar la instalación de sistemas renovables para autoconsumo, y la implementación de sistemas más eficientes. Estas acciones han provocado el ahorro en el consumo energético. La implementación de soluciones inteligentes se sustenta sobre una variada gama de tecnologías. Esta variedad es la que imposibilita en algunos casos o incrementa el valor de su despliegue. Por este motivo con esta propuesta se pretende desarrollar y administrar de forma competente los recursos y soluciones centralizadas propias, que amorticen la inversión inicial aunando los proyectos futuros y aplicando, en la medida de lo posible, soluciones donde los elementos que intervengan estén basados en protocolos y/o normas abiertas, comunicaciones cooperativas y gratuitas, así como hardware y software abierto. El valor añadido de esta propuesta con respecto a lo existente es la construcción de modelos generados a través de la digitalización del ciclo urbano del agua y sistemas de gestión energética para entidades administradoras de redes de distribución de aguas que permita un uso eficiente y sostenible del agua.

Para el desarrollo del piloto se ha desplegado una red de comunicaciones basada en protocolos de comunicaciones LPWAN (Low Power Wide Area Network), se ha seleccionado la sensórica apropiada a la solución adoptada, para poder monitorizar la red de abastecimiento de aguas, y se ha desarrollado una plataforma de sistema de gestión de la información persiguiendo el control integral del agua y sus costes. En definitiva, y debido a las problemáticas derivadas de la gestión tradicional se optó por implantar un sistema de telelectura basado en una solución IoT (Internet of Things), que nos va a ofrecer medidas en tiempo real, reducción de costes económicos y humanos, disminución de pérdidas, y un mayor rendimiento de la red de abastecimiento de aguas que conlleva el aumento de la eficiencia de esta [2].

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

El trabajo se ha centrado en una prueba piloto de gestión de la red de abastecimiento de aguas en el municipio de la Villa de Posadas. El suministro de esta localidad es gestionado por EMPROACSA, bombeando 1.079.910,0 m<sup>3</sup> desde el pantano de Iznájar a unos 90 km de la población, y mediante pozos propios, 60.227,0 m<sup>3</sup>. Las características actuales de su red de abastecimiento no permiten conocer el estado completo de la misma, lo que dificulta la detección de incidencias que no son visibles en el exterior, así como la localización de consumos excesivos o la falta de abastecimiento. La administración de dicho municipio estima pérdidas entorno al 40% del total del agua consumida por la localidad, según fuentes consultadas. El sistema actual de toma de lectura se realiza mediante visita de los operarios a los 3846 contadores que tiene la localidad y su posterior volcado de datos al SINAC (Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo). Se estima que se realizan alrededor de 300 lecturas por fontanero y día, siempre y cuando se dediquen a esta actividad en exclusivo. Esta acción se ve ralentizada por el hecho de que algunas de las viviendas son antiguas y presentan los contadores en su interior. Estas dificultades han propiciado que el Ayuntamiento proponga la instalación de un sistema piloto de monitorización basado en tecnología IoT que es el que se presenta en este trabajo.

### **2.1. MATERIALES - COMPONENTES DEL SISTEMA IOT IMPLANTADO.**

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

El sistema piloto IoT consta de un protocolo de comunicaciones abierto LPWAN basado en tecnología de radio bidireccional que permite transmitir un bajo volumen de datos a grandes distancias con bajo consumo. A diferencia de otras tecnologías de comunicación inalámbrica, este sistema permite el despliegue en un área extensa de un gran conjunto de dispositivos alimentados por baterías de una manera sencilla y viable económicamente [3]. La extensión de la cobertura depende en gran medida del despliegue de gateways (antenas) que serán las encargadas de dirigir los mensajes desde el dispositivo a la nube para que, posteriormente, sea procesada, analizada y mostrada. Para este piloto se ha optado por ubicar un único gateway ubicado en la cubierta del edificio que alberga el Ayuntamiento de la Villa de Posadas.

La sensórica utilizada se ha basado en contadores ultrasónicos que permiten controlar, monitorear y gestionar el uso del agua, ofreciendo una amplia gama de medidas con una precisión muy alta y un error de medición muy cercano al 0% [4]. En la zona piloto se han colocado un total de 50 contadores del modelo Siconia® WATER WM. Los datos obtenidos se gestionan en una plataforma web de tele-lectura abierta, interoperable y con modelo de datos normalizados que permiten la gestión de estos datos de una forma centralizada y con posibilidad de integración con sistemas de terceros permitiendo extender y hacer uso de las funcionalidades de la plataforma. El sistema de monitorización y análisis de los datos se realiza mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite la gestión del consumo de agua a partir de los datos georreferenciados obtenidos. La plataforma SmartWater es la encargada de gestionar y presentar de forma accesible y amigable para el usuario la información. La visualización se realiza mediante un cuadro de mandos personalizado que permite la completa monitorización de la red de abastecimiento de aguas, acceder a las herramientas de análisis, configurar alarmas y eventos, generar informes, entre otras opciones de manejo.

**2.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS APORTADOS POR EL AYUNTAMIENTO DE LA VILLA DE POSADAS (CÓRDOBA).**

El análisis se ha centrado en comparar el consumo de los contadores instalados en el municipio con los obtenidos con el sistema piloto. La información de las lecturas de los contadores los ha facilitado el Ayuntamiento, ofreciendo información desde el año 2002 para futuros análisis multitemporales. Para poder realizar el análisis de estos datos se clasificaron y homogeneizaron los tramos de las lecturas de consumo, estableciéndose tramos de tiempo en 6 períodos: Período 1 (Enero-Febrero), Período 2 (Marzo-Abril), Período 3 (Mayo-Junio), Período 4 (Julio-Agosto), Período 5 (Septiembre-Octubre), Período 6 (Noviembre-Diciembre).

Dado que en los registros aportados por el Ayuntamiento no hay datos sobre incidencias, se optó por estimarlas mediante sobreconsumos, calculándose los promedios de consumo tanto por períodos como por años, las desviaciones típicas correspondientes y el límite máximo a partir del cual se consideraría como exceso de flujo. La *Figura 1* muestra el detalle de los datos analizados en un contador donde los datos remarcados en rojo marcan exceso de consumo por año y los marcados en amarillo un exceso por periodo o una incidencia.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Periodo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Pro. P	$\sigma$ P	Max.P
1		49	57	62	45	50	58	173	38	46	64.22	39.09	142.40
2		66	66	63	94	96	90	110	51	83	79.89	18.21	116.30
3	325	117	88	91	150	100	133	110	177	77	136.8	69.10	274.99
4	223	247	247	194	106	91	132	121	146	94	160.10	58.99	278.08
5	59	77	47	107	68	68	84	110	86	56	76.20	19.85	115.90
6	59	87	48	89	78	79	79	137	73		81.00	23.31	127.62
Pro. A	49.00	107.17	92.17	101.00	90.17	80.67	96.00	126.83	95.17	71.2			
$\sigma$ A	66.00	65.88	70.60	44.52	32.98	17.41	27.62	22.80	50.12	17.66			
Max. A	117.00	238.94	233.36	190.05	156.12	115.49	151.24	172.43	195.42	106.51			

Figura 1. Consumo Contador S21ZA001010R, Pro. A: promedio de los años,  $\sigma$  A: desviación típica de los años, Max. A: límite máximo de años; Pro. P: promedio de los periodos,  $\sigma$  P: desviación típica de los periodos, Max. P: límite máximo de los periodos.

**2.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS APORTADOS POR LA PLATAFORMA SMARTWATER.**

Por otro lado, la plataforma SmartWater permite extraer variada información. En primer lugar, cabe destacar que los contadores se encuentran georreferenciados, lo que permite visualizar el estado del contador en cada momento (Figura 2), sus datos y realizar análisis geográficos sobre los consumos o las incidencias (Figura 3). De esta manera permite a los gestores conocer con exactitud las zonas más problemáticas en cuanto a consumos y pérdidas, junto con el estado de cada contador y los datos del propietario.



Figura 2. Localización de los contadores e incidencias. En la plataforma se representa la localización de los contadores con el símbolo de un grifo y una gota, el color del fondo indica su estado: azul para perfecto funcionamiento y rojo para incidencia. Además, para no tener un gran número de puntos en pantalla los agrupa por cercanía, estos los representa en esferas con un número, el cual nos indica los contadores dentro de ella, la tonalidad de estos nos indica el estado de los contadores agrupados: azul, para 0% incidencias, naranja, para al menos una incidencia y rojo para 100% de incidencias.

Entre los datos que se pueden obtener destaca el registro del consumo por unidad de hora. Frente a una única medida bimensual con el sistema tradicional, esta información tan detallada permite una mayor precisión a la hora de la gestión de este recurso. Igualmente se detectan alarmas de cualquier incidencia (pérdidas de presión, fugas, falta de flujo, exceso de consumo, manipulación ...). Esta información es enviada automáticamente a los usuarios [5], lo que facilita la reacción ante cualquier incidencia y optimizar el recurso hídrico. En caso de tener que actuar los operarios municipales, tener los datos georreferenciados permite mejorar la eficiencia en la gestión de estas incidencias. Todos estos datos se pueden representar en gráficas que muestren el consumo por periodo, pudiendo definir los rangos de tiempo desde horas hasta meses. Estas gráficas permiten determinar la escala del tiempo más conveniente a la hora de realizar cualquier tipo de planificación o gestión.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

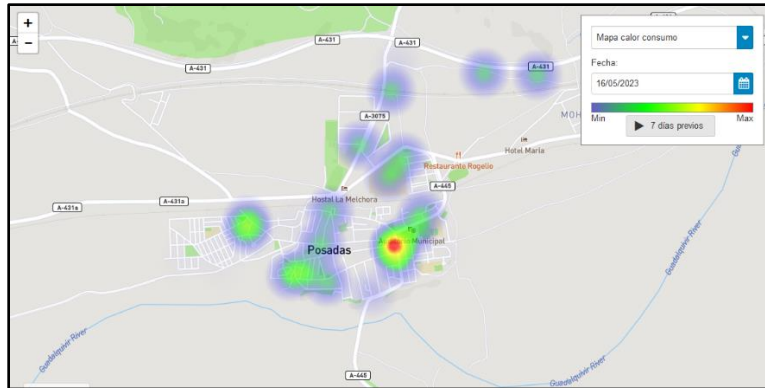


Figura 3. Mapa de calor del Consumo. La zona marcada en rojo define una incidencia (alarma).

**3. RESULTADOS.**

En la Figuras 4 y 5 se muestra la tabla que representa los consumos medios en el periodo 2018-2021. De los contadores que abastecen a zonas verdes (S21ZA000887G, S21ZA001432J, S21ZA000843U, S21ZA001349P, S21ZA000883C), además del consumo promedio de estos años.

Periodo	2018	2019	2020	2021	Promedio
1	1.00	3.25	1.75	1.00	1.75
2	2.33	4.75	1.00	11.40	4.87
3	2.00	5.75	8.00	15.60	7.84
4	2.67	8.00	45.60	18.20	18.62
5	1.00	5.50	15.60	3.20	6.33
6	0.67	4.25	5.60		3.51

Figura 4. Consumo método tradicional. Promedio: promedio de los periodos.

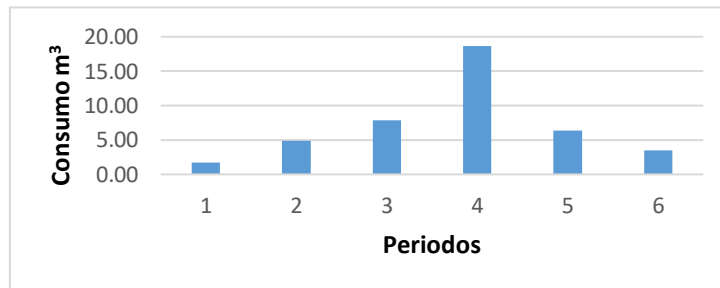
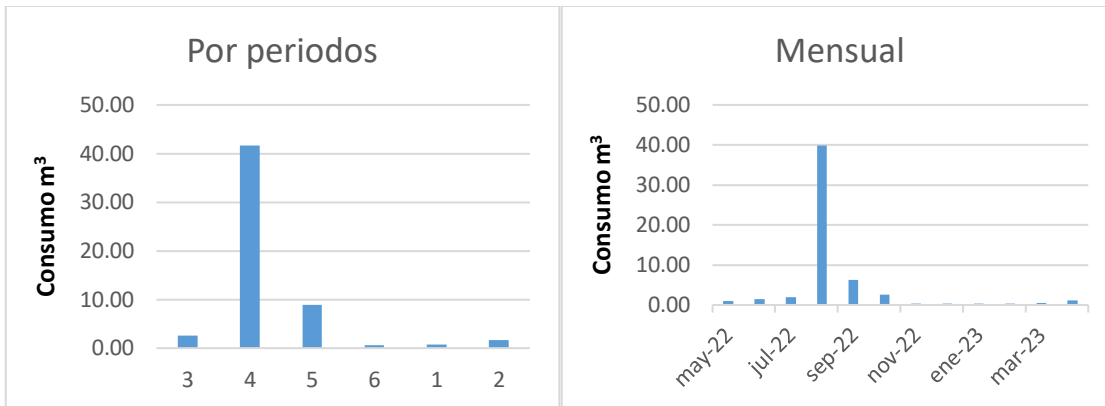


Figura 5. Consumo Promedio Zonas Verdes en el periodo 2018-2021. Como se puede apreciar el consumo es mayor en el periodo 4 (Julio-Agosto), siendo casi nulo en el periodo 1 (Enero-Febrero), debido a la reducida necesidad de riego en esas fechas, (gráfica obtenida a partir de los datos aportados por el Ayuntamiento).

Mediante la metodología usada con anterioridad a la implantación del sistema IoT solo queda registrado el consumo en períodos de tiempo de dos meses, dividiendo el año en 6 períodos como hemos mencionado anteriormente, lo que únicamente nos permite conocer qué año y/o conjunto de dos meses se consumió una mayor cantidad de agua. Esto dificulta notablemente la gestión eficiente del agua, como se puede comprobar. En las Figuras de la 6 a la 11 se pueden observar los datos que se obtienen de la plataforma SmartWater y que nos permiten realizar una gestión más exhaustiva de la red de abastecimiento de aguas del municipio.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes



Figuras 6 y 7. La Figura 6 representa el consumo medio por periodos, mientras que la Figura 7 representa el consumo medio mensual, de los contadores instalados en zonas verdes (S21ZA000887G, S21ZA001432J, S21ZA000843U, S21ZA001349P, S21ZA000883C).

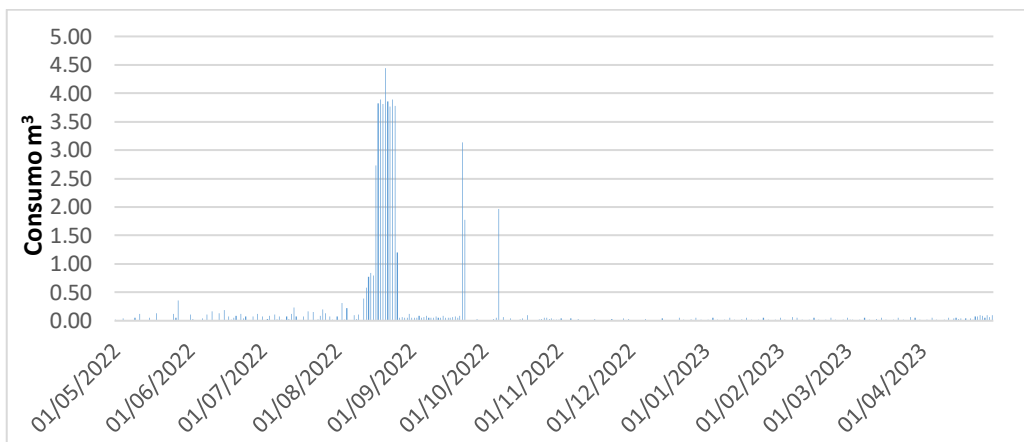


Figura 8. Representa el consumo diario de los contadores de las zonas verdes (S21ZA000887G, S21ZA001432J, S21ZA000843U, S21ZA001349P, S21ZA000883C).

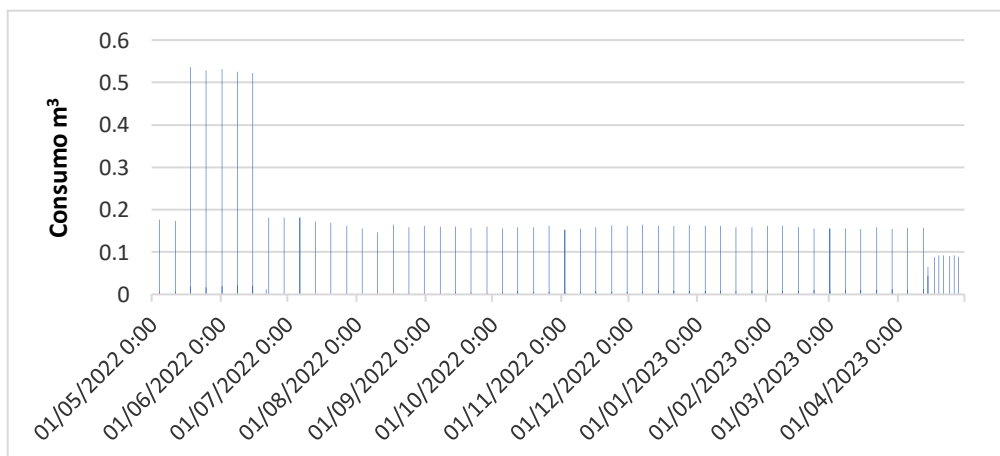
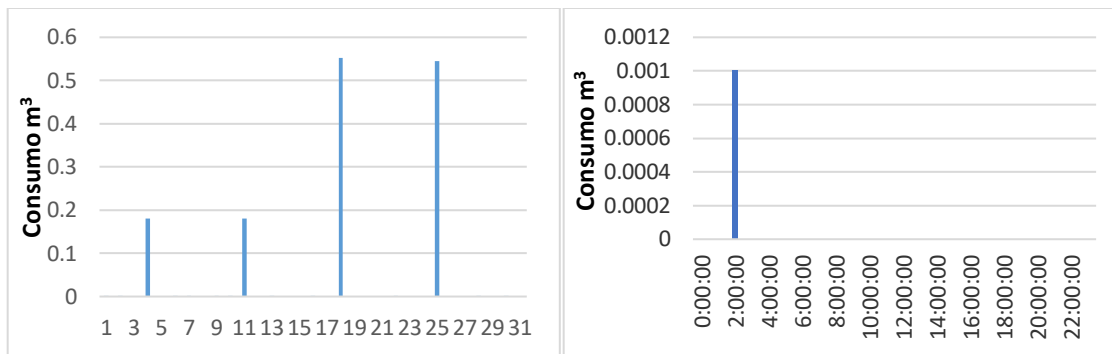


Figura 9. Representa el Consumo horario del contador S21ZA001349P.

## SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes



Figuras 10 y 11. La figura 10 representa el consumo diario desde el día 01/05/2022, hasta el 30/04/2023, mientras que la Figura 11 representa el consumo horario del día 06/05/2022, ambas pertenecen al contador S21ZA001349P.

Como podemos observar en las gráficas los datos anuales registrados con la metodología anterior a la implantación del nuevo sistema de gestión es escaso, ya que la información que aportan es el volumen de agua consumido por período y año (Figuras 4 y 5). De esta manera con estos datos solo podemos interpretar cuál es el período y año de mayor consumo, lo que genera que en estos tramos de 60 días no se disponga de ningún tipo de información sobre el consumo que ha realizado ese contador. Mientras que la información que nos permite interpretar la plataforma SmatWater (Figuras 6-11), es más precisa y rica en información, ya que, al tener como unidad mínima la hora somos capaces de seleccionar los datos en distintos tramos de tiempo, lo que nos permite analizar el mes, semana, día y hora de mayor consumo y actuar en consecuencia, facilitando la gestión y la gobernanza de la red de abastecimiento de aguas. Además, nos permite reconocer los patrones de riego que se han estado utilizando (Figuras 9-11), teniendo en cuenta si se realizan a la hora indicada, o si es suficiente el volumen de agua aportada, en definitiva, nos permite conocer si se lleva una buena gestión del agua, por ejemplo, en lo que a zonas verdes se refiere.

#### 4. CONCLUSIONES.

Las conclusiones a las que se han llegado con el número de contadores instalados y el histórico de datos generado hasta la fecha son las siguientes:

- Se aprecia tras la implantación, el enorme volumen de datos generado en comparación con los datos aportados por el Ayuntamiento con el sistema tradicional. Mientras que en 20 años apenas se han aportado 120 datos, en un año puede llegar a registrarse 8.760 tomas con el nuevo sistema. Esto es debido a que el contador realiza una toma de datos cada hora, lo que conlleva una gestión más eficiente. Aunque el volumen de datos generado es enorme, gracias a la plataforma SmartWater los datos son fácilmente seleccionables y clasificables.
- En lo que lleva implantado el sistema, no más de 1 año, se han reportado un total de 382 incidencias, mientras que el número exacto de estas antes de su implantación es incierto, se han estimado unas 22 incidencias en 20 años. Además, según el Ayuntamiento calculan que un 40% [3] del agua que aporta EMPROACSA se pierde en la red, y no se localizan con exactitud las zonas con pérdidas, esto nos permite poner en valor la bondad del sistema IoT implementado, y nos indica que sería necesario sensorizar la red de abastecimiento para localizar estas incidencias.
- En el instante en el que se genera una incidencia esta es reportada, lo que permite una subsanación temprana de esta, reduciendo drásticamente el tiempo de reacción

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

de los operarios, la falta de presión, el agua pérdida, y en consecuencia se reduce el consumo de energía y el descontento de los consumidores, lo que genera un ahorro tanto en recursos humanos, materiales y económicos.

En conclusión, al realizar la comparativa entre ambos sistemas nos lleva a afirmar que ahora no solo somos capaces de conocer lo que se consume entre marzo y abril, sino que somos capaces de gestionar nuestro consumo diario, saber dónde y cuándo se ha producido una incidencia y una subsanación de esta prácticamente en tiempo real. El impacto científico-técnico y socio-económico de esta implantación en este caso concreto conlleva una serie de ventajas, como son: mejora en la calidad de la lectura, monitorización en tiempo real de consumos, prevención de fraude y fugas, mejora de la respuesta ante incidencias, mejora de la eficiencia de distribución, mantenimiento predictivo [3], ahorro de tiempo de operarios tanto para desplazamientos como actuaciones, reparto adaptado a variables, racional y coherente del agua [6], conocimiento de la trazabilidad de cada metro cúbico distribuido, conocimiento del coste real de cada metro cúbico distribuido, disminución del consumo y coste energético, prestación de servicio las 24/7 los 365 días del año, mejora de los servicios que se ofrecen, proporcionando una mejor calidad de vida, satisfacción de los usuarios por el acceso a la información y control, y una gestión transparente para la administración y la sociedad. Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles alineados con el Agua, Desarrollo Sostenible en los Territorios, Eficiencia Energética, Eficiencia Agua ... se encuentran presentes en este trabajo. Por estos motivos y respecto a planificación y gestión hídrica, se estima recomendable la completa digitalización del sistema de abastecimiento en base a un Plan Estratégico de Desarrollo [7].

**REFERENCIAS**

- [1] Justin Stoler *et al.*, *Cash water expenditures are associated with household water insecurity, food insecurity, and perceived stress in study sites across 20 low- and middle-income countries*, *Science of The Total Environment*, **Vol. 716**, 2020, p.35881.
- [2] Ahmed S. Ali, Mahmoud N. Abdelmoez, M. Heshmat, Khalil Ibrahim, *A solution for water management and leakage detection problems using IoTs based approach*, *Internet of Things*, **Vol. 18**, 2022, p. 100504.
- [3] Peter Ruckebusch, Spilios Giannoulis, Ingrid Moerman, Jeroen Hoebeke, Eli De Poorter, *Modelling the energy consumption for over-the-air software updates in LPWAN networks: SigFox, LoRa and IEEE 802.15.4g*, *Internet of Things*, **Vol. 3-4**, 2018, pp.104-119.
- [4] Lide Fang, Xinyue Ma, Jixun Zhao, Y. Faraj, Zihui Wei, Yan Zhu, *Development of a high-precision and wide-range ultrasonic water meter*, *Flow Measurement and Instrumentation*, **Vol. 84**, 2022 p.102118.
- [5] Z. H. Che Soh, M. S. Shafie, M. A. Shafie, S. Noraini Sulaiman, M. N. Ibrahim and S. Afzal Che Abdullah, *IoT Water Consumption Monitoring & Alert System*, 2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs), Banda Aceh, Indonesia, 2018, pp. 168-172.
- [6] J.C.P. Cheng, W. Chen, K. Chen, Q. Wang, *Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms*, *Automation in Construction*, **Vol. 112**, 2020, p.103087.
- [7] J. Gautam, A. Chakrabarti, S. Agarwal, A. Singh, S. Gupta, J. Singh, *Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system*, *Water Sci. Technol. Water Supply*, **Vol. 20** no. 3, 2020, pp.1103-1113.