

El Proyecto Smartwater4Europe y su aplicación en la ciudad de Burgos: descubriendo el potencial de las redes inteligentes de distribución de agua

The Smartwater4Europe Project and its Application at the City of Burgos: Unraveling the Potential of Smart Water Networks

Ana Jiménez-Banzo^{1*}, Adrián Campos Gibert², Alejandro Beivide García³, Jorge J. Malfeito Sánchez⁴

Resumen

En los próximos años se espera un aumento en la demanda de agua, debido al crecimiento de la población y su aglomeración en grandes ciudades. La gestión sostenible de un recurso tan crítico como el agua se ha convertido en una cuestión de máxima importancia.

Entre las posibles soluciones que se perfilan para hacer frente a este problema, destaca la implantación de redes inteligentes de distribución o *Smart Water Networks*. Este concepto se basa en la obtención de múltiples datos de diversas fuentes que, una vez almacenados, tratados e interpretados correctamente, permitan desarrollar estrategias de gestión basadas en principios proactivos e incluso preventivos en lugar de actuaciones reactivas. Esto redundará en claros beneficios para operadores (disminución de los costes de operación y mantenimiento, gestión estratégica de activos) así como para los clientes, que reciben un mejor servicio.

Acciona Agua, en colaboración con Aguas de Burgos, ha implantado la primera red inteligente de distribución de agua en la ciudad de Burgos. Esta red inteligente controla la calidad de agua en tiempo real, registra los consumos de agua de los clientes, predice fugas de forma temprana y permite conocer el estado de la red de distribución en tiempo real recibiendo información de múltiples fuentes de datos. En definitiva, se monitoriza, optimiza y gestiona el servicio de distribución de la forma más eficiente posible.

Palabras clave: ciudad inteligente, sensores, red de distribución de agua, detección de fugas, calidad de agua, detección en tiempo real, business intelligence, big data.

Abstract

In the upcoming years an increase in water demand is expected, mainly due to a fast-growing population and its concentration in large cities. The sustainable management of such a valuable resource has become a crucial issue.

Among the possible solutions to tackle this problem, the Smart Water Network concept plays a key role. This concept is based on the obtention of multiple data from a wide variety of data sources. These data, once stored and properly managed allow for developing managing strategies based on proactive and even preventive principles, rather than the reactive actions that are currently deployed. This makes possible water utilities have clear benefits (reduction in operation and maintenance costs, strategic management of assets, etc.), letting customers receive an improved service.

Acciona Agua, together with Aguas de Burgos, has deployed the first Smart Water Network (SWN) in the city of Burgos. This SWN is able to on-line monitor the water quality, retrieve water consumption values from customers, early detect leakages and determine the status of the network in real-time and from multiple data sources. As a result, the water network is monitored, optimized and managed in the most efficient way.

Keywords: smart city, sensors, water supply network, leak detection, water quality, on-line monitoring, business intelligence, big data.

1. INTRODUCCIÓN

En las tres próximas décadas se producirá un enorme incremento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población y a su concentración en grandes ciudades. La gestión sostenible de este recurso es una cuestión crítica para el futuro del planeta. Proyectos que aseguren una gestión eficiente del agua son, por tanto, necesarios e imprescindibles.

Bajo esta premisa surgió el proyecto SmartWater4Europe, una iniciativa apoyada por la Comisión Europea como parte del 7º Programa Marco de I+D. Este proyecto ha reunido a más de 20 entidades que abarcan proveedores tecnológicos, centros de investigación, grandes empresas operadoras de agua y plataformas sectoriales con el fin de demostrar, a escala real, el concepto de red inteligente de distribución de agua, o lo que se conoce en el sector como *Smart Water Network (SWN)*.

De forma concreta, SmartWater4Europe ha permitido demostrar el concepto de SWN en cuatro ciudades europeas: Leeuwarden (Países Bajos), Burgos (España), Reading (Reino Unido) y Lille (Francia). La elección de estas ciudades no ha sido arbitraria sino que responde a

* Autora de contacto: anamaria.jimenez.banzo@acciona.com

¹ Doctora en Química e Ingeniería Química. Acciona Agua.

² Ingeniero Superior Agrónomo. Acciona Agua.

³ Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial. Acciona Agua.

⁴ Licenciado en Ciencias Químicas. Acciona Agua.

características intrínsecas y diferenciales en sus redes de distribución. Así, a partir de estos cuatro sub-proyectos de demostración ha sido posible obtener guías de diseño comunes para replicar la solución en cualquier otro entorno. De hecho, la existencia de distintas opciones tecnológicas para cada uno de los bloques que componen una SWN (instrumentación de campo y sensórica, adquisición y transmisión de datos, almacenamiento de información y procesado de dicha información) y la falta de soluciones estandarizadas son los principales obstáculos que han limitado hasta el momento la implantación de las SWN en el sector del agua.

Uno de los cuatro sub-proyectos de demostración se ha implantado en la ciudad de Burgos bajo el acrónimo SWING (*Smart Water Innovation Network in the city of BurGos*). En esta ciudad, ACCIONA Agua, en estrecha colaboración con Aguas de Burgos, ha implantado un sistema inteligente para detectar fugas automáticamente y gestionar de forma remota a red de abastecimiento de agua potable. Este sistema controla en tiempo real la calidad del agua y es capaz de detectar fugas de forma temprana a partir de distintas fuentes de datos heterogéneas. Todo ello hace posible gestionar la red de abastecimiento de forma proactiva e incluso preventiva, en lugar de seguir una estrategia de operación reactiva ante la aparición de eventos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Tal y como se ha explicado anteriormente, una SWN consta de cuatro bloques básicos (figura 1) que se listan a continuación y se detallan en los siguientes sub-apartados:

1. Red de instrumentación y sensores
2. Red fija de comunicaciones
3. Sistemas para el almacenamiento de información
4. Herramientas de análisis y modelado

Instrumentación y sensores

Para cumplir con el objetivo de conocer la calidad del agua en tiempo real y desarrollar una estrategia que permita detectar eventos de forma temprana se procedió

a la instalación de varios sensores genéricos y específicos cuyos datos completaron otra información que ya era medida por equipos existentes en la red de distribución de agua de Burgos. En cuando a la medida de la calidad de agua, se instalaron cinco dispositivos EventLab® de Optiqua en entradas a sector y puntos estratégicos de arterias principales de la red de distribución y una sonda multiparamétrica nano:station de S::CAN en la salida de uno de los depósitos de la ciudad. Los analizadores de tipo EventLab® son sensores genéricos que miden el índice de refracción del agua en tiempo real. Los cambios en este índice reflejan alteraciones en la composición matricial y las propiedades físicas del agua. Por otra parte, el analizador nano:station es un sensor específico que cuenta con sondas para la lectura de CO₂, turbidez, UV254, color, temperatura, conductividad, pH y cloro residual libre.

Por otra parte, con el fin de detectar la existencia de fugas de forma temprana, se procedió a sustituir 1.500 contadores analógicos por sus versiones digitales así como a dotar a todos estos equipos con dispositivos de comunicación radio. Los contadores se circunscriben en tres sectores hidrométricos de la ciudad (sector urbano, sector residencial y sector industrial), cada uno de ellos con características diferenciales y complementarias, lo que añade versatilidad a la solución desarrollada en Burgos.

Transmisión de datos

Los valores registrados por las sondas de calidad de agua se han enviado al Big Data Centre por dos vías distintas. Los sensores EventLab® tienen un módem GPRS integrado en la placa principal, que se usa para transferir datos desde la sonda al centro de datos de Optiqua en Holanda. Los datos se obtienen desde este centro de control vía Internet y se almacenan en un servidor de base de datos SQL. Por su parte, la nano:station se ha conectado directamente a la red LAN de Aguas de Burgos, desde donde se obtienen las medidas registradas.

Por su parte, para los 1.500 contadores el sistema de comunicación es una red fija específicamente diseñada y desarrollada para este proyecto. Esta red se diseñó e instaló en los tres sectores y recibe los datos registrados por cada

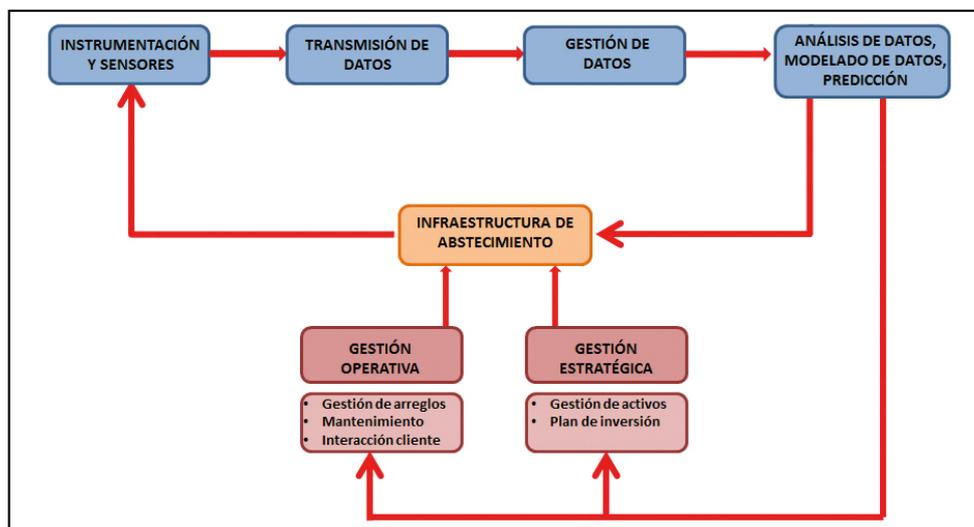


Figura 1. Esquema conceptual de una red inteligente de distribución.

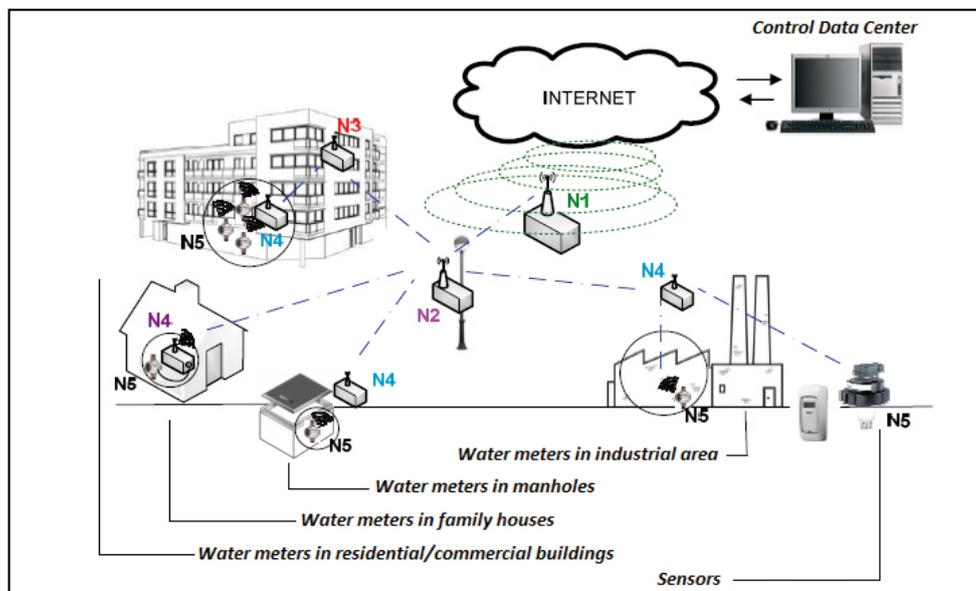


Figura 2. Estructura de la red de comunicación de datos.

contador y los envía al Centro de Control de Datos vía radiofrecuencia 868 MHz y GPRS. Se trata de un sistema de telectura en distintos niveles que permite combinar diferentes medios de comunicación e implementar diferentes protocolos de comunicaciones en la recepción de datos (sistema universal M2M; figura 2).

Almacenamiento de datos: Big Data Centre

El Big Data Center es una estructura hardware (1 estación de control, 2 NAS, 1 UPS, 1 switch de comunicaciones, 2 servidores y una matriz de almacenamiento MSA) instalada en el CPD (Centro de Procesamiento de Datos) que dispone Aguas de Burgos en sus instalaciones. Se implementó un sistema de seguridad de triple backup para asegurar la integridad de los datos, realizando copias de seguridad diarias en tres ubicaciones de respaldo distintas: tanto en el propio CPD, como en una ubicación externa de Aguas de Burgos (depósitos del castillo) y en otra ubicación física externa (Cáceres).

El Big Data Center se basa en una instalación del sistema operativo Linux, concretamente, la distribución Debian GNU/Linux 7 en arquitectura de 64 bits, optimizada para la utilización intensiva de bases de datos. La base de datos principal del Big Data Center corre dentro del DBMS instalado PostgreSQL 9.4.2. Los módulos de conexión con las distintas bases de datos se basan en la utilización de drivers JDBC.

Análisis y modelado de datos

El desarrollo software del demo site es exprofeso y gira en torno a la denominada Business Intelligence (BI). La aplicación de la Business Intelligence se despliega sobre otra máquina en la que se ha instalado la distribución Debian GNU/Linux 7 en arquitectura de 64 bits. Sobre este sistema operativo, se ha instalado el servidor de aplicaciones RED HAT JBOSS ENTERPRISE APPLICATION PLATFORM 6.4.0 GA. La tecnología que utiliza el backend de la aplicación de Business Intelligence desarrollada es J2EE, siendo desplegada sobre el servidor de aplicaciones mencionado, y la utilizada para el propio desarrollo de la

Business Intelligence es WebRatio Enterprise Platform v 7.2.7, que es accesible desde cualquier navegador moderno, teniendo total compatibilidad con Internet Explorer 10+, Mozilla Firefox 35+, Google Chrome 35+ y Safari 7+.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de agua

Previo al registro de datos on-line, se procedió a validar el funcionamiento de ambas sondas (EventLab® y nano:station) en banco de pruebas en el Centro Tecnológico del Agua que ACCIONA Agua tiene en Barcelona así como mediante experimentos de adición off-line. Estos experimentos permitieron verificar la respuesta de ambos sensores y cuantificar sus límites de detección.

Una vez superada esta fase, se procedió a monitorizar la calidad de agua en la red de abastecimiento de Burgos.

Ambas sondas registraron valores de forma continua durante aproximadamente dos años. En este periodo de tiempo se registraron algunas ligeras variaciones en los patrones de calidad de agua, que se correlacionaron con tareas de mantenimiento de la red y que sirvieron para optimizar su funcionamiento. No se registraron eventos significativos, lo que confirma la elevada calidad del agua de la ciudad de Burgos y su estabilidad.

Detección precoz de fugas

La estrategia desarrollada para la detección precoz de fugas se basa en la obtención de datos a partir de fuentes heterogéneas que alimentan algoritmos de predicción desarrollados de forma específica. A partir de las lecturas registradas por los contadores de agua, se han diseñado y programado tres algoritmos diferentes, complementarios entre sí, que permiten la identificación temprana de fugas así como obtener predicciones de consumo.

Los tres algoritmos desarrollados fueron:

- **Algoritmo de predicción de consumos.** Identifica posibles fugas de agua usando una metodología pre-



Figura 3. Algoritmo de Predicción de Consumos.



Figura 4. Algoritmo de Consumos Mínimos Nocturnos.

dictiva basada en un modelo de programación lineal múltiple. Este modelo permite comparar los caudales reales y estimados, avisando de posibles fugas si la diferencia entre ambos es superior a un valor determinado.

- **Algoritmo de caudal mínimo nocturno.** El objetivo de este algoritmo es identificar posibles fugas a partir de la comparativa diaria del caudal mínimo nocturno real y esperado.
- **Algoritmo de balance hidráulico.** El objetivo de este algoritmo es identificar patrones de fugas a partir de las tendencias y replicabilidades de series cronológicas que comparan el caudal de entrada al

sector con el sumatorio de los caudales registrados por todos los contadores domiciliarios.

Una vez programados los tres algoritmos en la BI se procedió a verificar su funcionamiento (“pruebas beta”). Los resultados obtenidos indicaron errores relativos medios de la predicción inferiores al 15 % en los sectores urbano y residencial pero un error relativo superior al 30 % en el sector industrial.

Un análisis pormenorizado de los datos de este último sector reveló la existencia de patrones de consumo muy claros. De esta forma, se observaron cuatro patrones

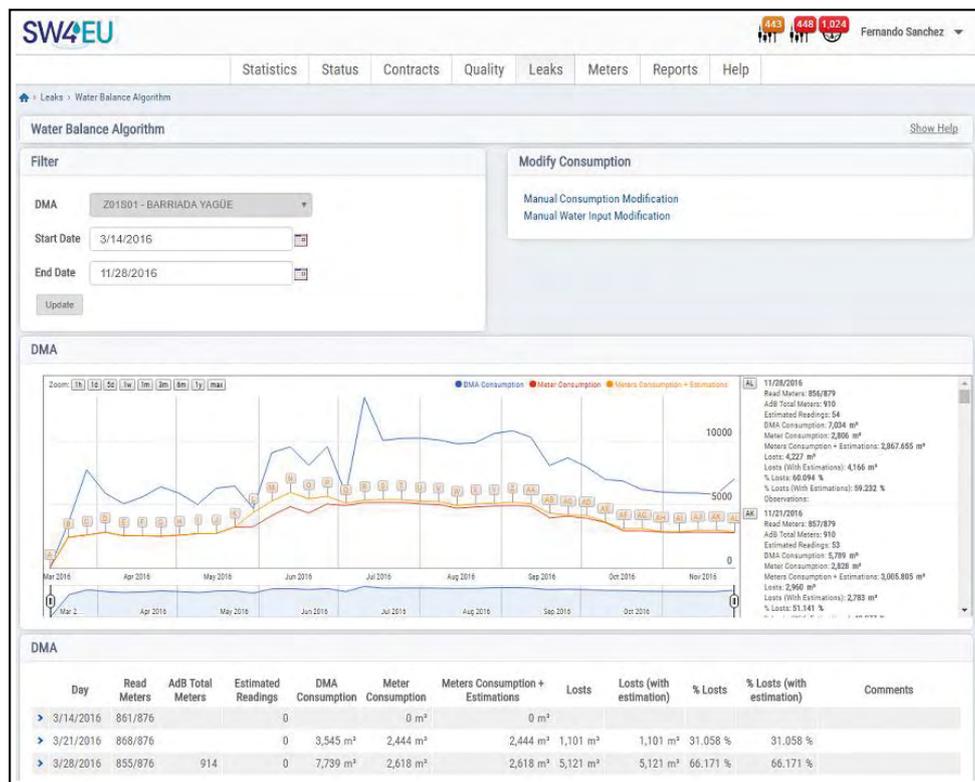


Figura 5. Algoritmo de balance hidráulico.

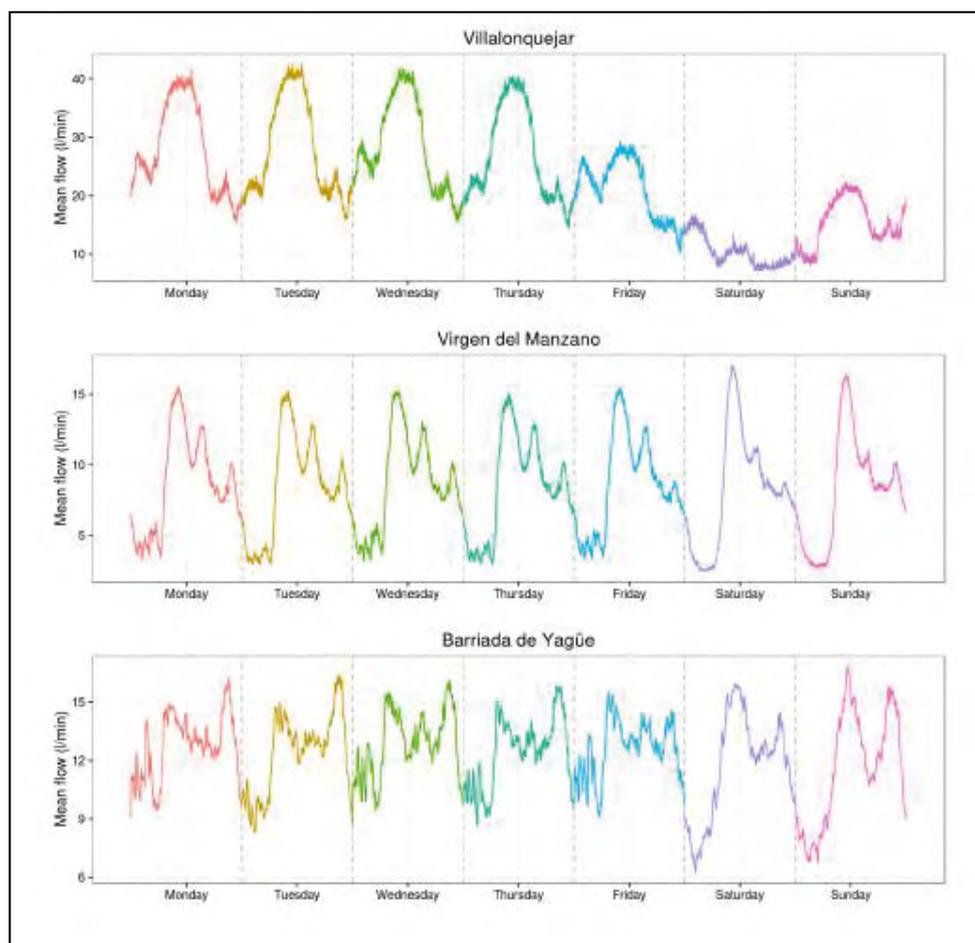


Figura 6. Consumos en función del sector y del día de la semana.

estacionales correspondientes a los consumos registrados de lunes a jueves, los viernes, los sábados y los domingos. De forma análoga, y aunque mucho menos pronunciados, en el

sector residencial se observaron tres patrones de consumo que incluían los registros de lunes a viernes, los sábados y los domingos. Esta información se muestra en la figura 6.

Con el fin de considerar estas variaciones temporales, y en colaboración con la Universidad de Extremadura, se ha desarrollado un cuarto algoritmo más avanzado que elimina la componente estacional observada en los sectores industrial y, en menor medida, residencial.

Una vez desarrollado y programado el algoritmo, se comprobó que el error relativo medio, en cualquiera de los tres sectores, era inferior al 10 %.

Gestión integrada de datos

La BI es la encargada tanto la adquisición y almacenamiento de los datos de campo, como de su procesamiento, visualización y análisis, cruzándolos con el sistema de gestión de abonados y facturación, la información geográfica de cada elemento de la red, la base de datos meteorológica, diferentes librerías para la optimización de la programación lineal múltiple, las lecturas históricas de los totalizadores sectoriales de Aguas de Burgos y los algoritmos diseñados y programados para la detección de fugas (figura 7)

La BI cuenta con una zona de administración en la que se pueden configurar distintos parámetros, como los sectores seleccionados para el estudio, los tipos de tubería, visualización de nudos e infraestructura, análisis, predicción y estadísticas, información de la explotación, de los contadores y de los sensores de calidad. Además, también se puede acceder al registro de acciones de los usuarios, en el que se pueden visualizar todas las operaciones realizadas en el sistema. La plataforma de BI se ha desarrollado de tal manera que cada pantalla de software proporciona sólo la información necesaria para tomar decisiones de forma rápida y fácil, evitando información innecesaria. La plataforma permite a los usuarios finales planificar las estrategias de respuesta (automática y manualmente) durante el ciclo de agua potable.

4. CONCLUSIONES

- Durante la realización del presente proyecto se ha puesto a punto la metodología para monitorización de agua en tiempo real empleando una red de sensores genéricos y específicos. A pesar de que la calidad de agua en Burgos es muy alta y tiene una gran estabilidad química por sí misma, el empleo de sensores permite tener un mayor conocimiento del estado de la calidad de agua y planificar posibles actuaciones de forma proactiva.

- La variabilidad en la tendencia de consumo en sectores residenciales e industriales hacen que sea necesario recurrir a algoritmos que tengan en cuenta la estacionalidad y patrones de consumo. De este modo, el algoritmo de predicción de consumos basado en patrones permitió detectar fugas de forma temprana con un error relativo promedio por debajo del 10%, independientemente de la naturaleza del sector hidrométrico.
- Se ha desarrollado una plataforma de BI que permite la visualización de información procedente de: GIS, información meteorológica, estado de la red, analizadores de calidad de agua, información de contadores, información de clientes e información de mantenimiento de la red.
- Gracias a toda la información recabada de forma automática es posible gestionar la red de distribución de forma proactiva e incluso preventiva, lo que permite convertir una red convencional de abastecimiento en una red *inteligente* de abastecimiento.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto SMARTWATER4EUROPE ha sido financiado por la Unión Europea a través del Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (GA 619024). Los autores agradecen a Aguas de Burgos su participación en el proyecto.

6. REFERENCIAS

March, H., Morote, A., Rico, A., y Saurí, D. (2017). Household Smart Water Metering in Spain: Insights from the Experience of Remote Meter Reading in Alicante. *Sustainability*, 9(4), 582; doi:10.3390/su9040582

Sensus (2012). *Water 20/20: Bringing Smart Water Networks into Focus*. [On line]. Berlín. Disponible en https://c.yimcdn.com/sites/www.ncsafewater.org/resource/collection/A0650A28-4C94-471B-B98E-B0DFD4F76C35/Water_T_AM_09.10_Walshby.pdf [accessed on June 25th, 2017]

Global Water Intelligence (2013). *Smart Water Networks: Opportunities in network efficiency optimisation*. Disponible en <https://www.globalwaterintel.com/market-intelligence-reports/smart-water-networks-opportunities-network-efficiency-optimisation/>

<http://www.smartwater4europe.com/>

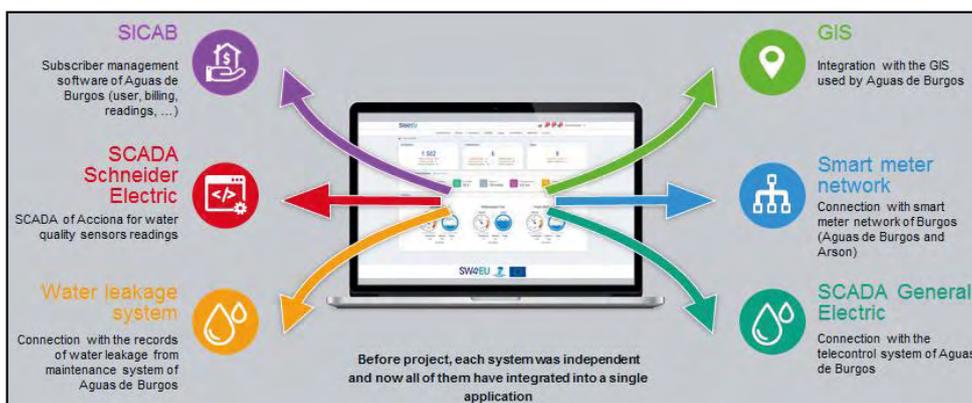


Figura 7. Estructura e interconexiones de la BI.