

APLICACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA DIGITALIZACIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA

R. Romero Murillo

Telefónica IoT & Big Data Tech, S.A. – Distrito Telefónica, C/ Ronda de la Comunicación, 28050 Madrid
+ 34 690 073 609 – ricardo.romeromurillo@telefonica.com

RESUMEN: El agua es un recurso muy valioso que no solo es esencial para la vida humana y de los organismos, sino también para muchos sectores económicos. La sobreexplotación y contaminación de las masas de agua derivado del propio desarrollo económico, además del aumento de las olas de calor y periodos de sequía cada vez más prolongados provocados por el cambio climático pone en riesgo la disponibilidad del agua, tanto en cantidad como en calidad, con consecuencias sobre el medioambiente y los ámbitos económico y social. Esta situación obliga a las empresas e instituciones responsables de la gestión urbana del agua a aplicar medidas que lo protejan, entre ellas, soluciones tecnológicas para la digitalización del ciclo de un recurso cada vez más vulnerable.

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad actual vive un cambio revolucionario en el avance tecnológico que cada vez impacta más en la vida de las personas. Si bien los teléfonos inteligentes con pantallas táctiles han sido uno de los principales avances de los recientes años en lo que respecta a capacidad para transmitir y recibir información, estamos presenciando un cambio disruptivo en lo que se refiere al paradigma de las cosas permanentemente conectadas a internet, pasando del concepto clásico que entiende la red de redes como un entorno de ordenadores conectados, a un nuevo entorno en el que cualquier pequeño objeto que nos imaginemos permanece conectado a la red enviando y recibiendo información de manera constante.

Los días en los que los dispositivos se conectaban a la red mediante routers o hubs que actuaban como puertas de enlace a la nube mediante conexiones ADSL o celulares se han acabado. Hoy en día los objetos necesitan de una conexión directa a la nube y al cliente final, eliminando los elementos intermedios.

La aplicación de la tecnología también se ha extendido a casos de uso de carácter industrial en diferentes sectores, entre ellos:

- a. Utilities: Medición inteligente de gas y agua.
- b. Medicina: teleasistencia, monitorización remota.
- c. Agricultura: seguimiento estacional, monitorización ambiental.
- d. Industrial: control de maquinaria, control de seguridad y salud.
- e. Ciudades: sensores de aparcamiento, alumbrado inteligente, gestión de residuos.

Estos casos de uso tienen requisitos específicos que han permitido la evolución de nuevas tecnologías celulares enfocadas a permitir la conectividad en tiempo real entre objetos, en lo que se conoce como Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT).

En esta ponencia analizaremos la evolución de las tecnologías de comunicaciones y veremos su importancia como elementos habilitadores de plataformas y soluciones software, que permiten dar respuesta a uno de los mayores retos ambientales que debemos afrontar en estos momentos, la mejora en la gestión del agua mediante la digitalización de su ciclo integral para que sea lo más eficiente posible.

2. DESARROLLO/DESCRIPCIÓN

2.1. Evolución de las comunicaciones: del M2M al IoT

El concepto Machine-to-Machine (M2M) fue el primer término en acuñarse para describir aquellos dispositivos que necesitaban “hablar” entre sí para poder realizar ciertas acciones; el ejemplo clásico es un sensor de temperatura conectado a una caldera.

Con el tiempo, el concepto se fue extendiendo para describir las comunicaciones entre dispositivos y sistemas, por ejemplo, para el seguimiento de vehículos (gestión de flotas) o para el control de máquinas de vending, soportando la conectividad en las redes celulares existentes en ese momento.

Hoy en día, el término IoT ha superado al M2M para incluir cualquier dispositivo que es capaz de conectarse por sí mismo a la nube (internet) por medio de las redes tradicionales (celulares), soluciones de radiofrecuencia propietarias o las nuevas tecnologías de conectividad LPWA.

De forma general, los criterios más habituales para distinguir entre dispositivos IoT o M2M son los siguientes:

- Los dispositivos IoT son normalmente pequeños y simples.
- Los dispositivos IoT para su funcionamiento normalmente requieren del uso de baterías.
- Los dispositivos IoT están ubicados en lugares de difícil acceso.
- Los dispositivos IoT requieren de una transmisión de datos más baja.

2.2. Tecnologías de comunicación M2M

En este entorno cambiante de protocolos y nomenclaturas, es importante hacer una diferenciación clara entre las diferentes tecnologías de comunicación que se pueden emplear en el entorno M2M.

- Redes celulares: originalmente concebidas para dar servicio de voz o datos a clientes finales, han sido usadas por los proveedores de comunicaciones como elemento de despliegue de la amplia planta de dispositivos M2M en funcionamiento para su funcionamiento. Ya sea mediante protocolos 2G, 3G o LTE, la amplia penetración de la cobertura móvil desplegada por los operadores de telecomunicaciones permite ofrecer un servicio estable y masivo.
- Redes de radiofrecuencia (TETRA): diseñadas para el uso de agencias gubernamentales, servicios de emergencia (cuerpos y fuerzas de seguridad del estado, bomberos, ambulancias) ha sido tradicionalmente el sistema empleado para aquellas aplicaciones que requieren de servicios vitales. También se emplean de forma habitual por operadores de redes ferroviarias y servicios militares. Si bien han existido múltiples intentos para emplear este tipo de redes en servicios comerciales del mundo M2M, todos ellos han fallado. Además, el importante despliegue de las redes de comunicaciones móviles, así como el alto coste de mantenimiento de estos sistemas, ha propiciado el ocaso de esta tecnología.
- Redes propietarias de radiofrecuencia: este tipo de redes, normalmente operativas en las bandas ISM (Industria, Científicas y Médicas) son desplegadas por el cliente en exclusiva, por ejemplo, compañías eléctricas que despliegan redes de contadores o smart grid. Aprovechando dichos despliegues, estas compañías tratan de sacar partido a dicha inversión expandiendo el servicio disponible a otros sectores como son las

smart cities. Si bien existen diferentes configuraciones y topologías para este tipo de redes, las más importantes son: redes celulares de larga distancia, redes de corta distancia que emplean repetidores y gateways, así como diferentes topologías: árbol, estrella, red mallada.

2.3. Tecnologías de comunicación IoT

Tradicionalmente, las aplicaciones IoT han estado restringidas a entornos de corto alcance, haciendo su uso habitual en hogares o pymes y caracterizadas por el uso de gateways para el acceso a Internet. Estos gateways o puertas de enlace suelen ser módulos conectados a red ethernet o wifi que requieren de conexión a red eléctrica.

- Zigbee: se trata de una tecnología de buen desempeño en aplicaciones con perímetro de uso limitado al espacio de una vivienda. Su alcance está cercano a los 300 metros y es extensible mediante el empleo de arquitecturas en redes malladas. Funciona mediante el estándar IEEE 802.15.4, usa redes mesh de baja potencia en la red de 2,4GHz y habitualmente se emplea para el uso de sensores embebidos, aplicaciones médicas y por supuesto, automatización de procesos en el hogar.
- Z-wave: Es la tecnología de comunicaciones inalámbricas diseñada por Sigma Designs para la automatización de procesos en el hogar. Competencia directa de Zigbee, los productos de Z-Wave trabajan en una red mallada de dispositivos que cubren diferentes funciones habituales en el hogar. Es una tecnología propietaria y ha sido ampliamente comercializada en todo el mundo.
- Bluetooth: Si bien es una tecnología con amplia penetración en el sector tecnológico y bien conocida por los usuarios, no es la más oportuna para el empleo de sensores debido al complejo mecanismo de emparejamiento que requiere para el intercambio de información. Además, su transmisión no está optimizada para el consumo controlado de batería, haciendo además que su alcance sea bastante limitado.

2.4. Nuevos protocolos de comunicaciones IoT

En los últimos años, nuevos protocolos de comunicaciones se han ido abriendo camino en el mercado, dada la necesidad de los operadores por ofrecer tecnologías que cumplan específicamente con las necesidades de los clientes en cuanto a consumo de batería, gestión de la potencia de emisión, penetración de cobertura en lugares subterráneos, etc. Dependiendo de la topología, podemos clasificarlas de la siguiente manera:

- Redes locales con red de retorno externa
 - Topología en árbol
 - Red mallada de radio frecuencia.
- Redes de área amplia y baja potencia (LPWA)
- Evolución de red celular

Estos nuevos protocolos han aparecido como resultado de un ejercicio de innovación para satisfacer las necesidades de dispositivos conectados, sin embargo, son tecnologías que implican un despliegue de infraestructura adicional.

Hablamos de tecnologías como SigFox o LoRa, con una expansión agresiva en los últimos años, en un intento por convertirse en el estándar de facto por delante de las propuestas del 3GPP. Sin embargo, las tecnologías propuestas por esta organización de estándares del mundo de las telecomunicaciones aseguran la compatibilidad entre las infraestructuras actuales y las nuevas, poniendo el foco en la adaptación de la actual red celular al mundo de

los objetos, así como redefiniendo protocolos de reciente lanzamiento (como el LTE) para aportar valor a un entorno cada vez más cambiante y en el que tanto cosas como personas requieren conectividad permanente.

A continuación, se procede a evaluar cada uno de los protocolos indicados en este apartado, analizando las fortalezas y debilidades de cada uno.

- Redes de radiofrecuencia con topología en árbol: se trata de aquellas redes de comunicaciones que necesitan elementos de intermediación entre los puntos finales y los nodos que hagan de puerta de enlace (puntos de acceso). Este tipo de redes normalmente incluyen dispositivos finales, repetidores y una puerta de enlace. Este último elemento es un equipamiento complejo que requiere de un responsable de la red para su mantenimiento y supervisión. Normalmente suelen existir más de un repetidor o punto de acceso en el entorno de los dispositivos finales, de esta forma se garantiza la redundancia de la red, ofreciendo así consistencia en el servicio.

Las características principales a nivel técnico son:

- Alcance: Alto. Extensible mediante la introducción de elementos mallados adicionales.
 - Latencia: Media. De media varios segundos.
 - Seguridad: Alta. Mediante el empleo de capacidades nativas.
 - Fiabilidad: Media. Fallos en repetidores o puntos de acceso afectan a gran cantidad de puntos finales.
 - Ancho de Banda: Medio. Entre 50 y 100 kbits/s.
 - Consumo Energético: Bajo. Permite operación mediante batería.
- Redes de radiofrecuencia con topología mallada: Las redes malladas de Radio Frecuencia han evolucionado hasta el punto en el que diferentes proveedores de servicio han optado por ella, sobre todo haciendo uso de las especificaciones 6LoWPAN. En este aspecto, el 6LoWPAN es una red mallada, inalámbrica y de baja potencia en la que cada nodo tiene su propia dirección IPv6, permitiendo así conectarse directamente a Internet mediante el empleo de estándares abiertos. Además, al actuar en una capa de red, permite que paquetes IPv6 puedan ser transportados eficientemente entre sus diferentes capas definidas mediante el IEEE 802.15.4. Teniendo en cuenta que la red está basada en IPv6, la comunicación con otras redes IPv7 se realiza de forma directa mediante routers IP. Además, la red mallada de radiofrecuencia permite enrutamiento ya que este tipo de topologías tiene la capacidad de enviar paquetes de datos desde un dispositivo a otro de forma directa, y en ocasiones a través de múltiples saltos. Por otro lado, este tipo de redes son auto configurables, por lo que no hay necesidad de análisis durante su instalación, o de reconfigurar ante una caída de la red por un enlace roto.

En cuanto a la optimización de batería, algunas de estas redes permiten dicha eficiencia energética mediante la sincronización del canal de acceso que minimice el estado de escucha "idle", reduciendo así tiempo de sobre escucha y colisión de paquetes.

Es importante destacar que este tipo de redes requiere del backup de otra red que permita que la información llegue a la nube. Diferentes posibilidades de conexión incluyen el empleo de módems celulares, o accesos vía fibra. De esta forma los nodos son configurados como puertas de enlace que enrutan la información a los sistemas backend. Y, en consecuencia, cuantos más nodos existan en la red, se permitirá la redundancia y la posibilidad de restablecimiento de la red ante una eventual caída de un enlace o la aparición de alguna interferencia.

Las características principales a nivel técnico son:

- Alcance: Alto. Extensible mediante la introducción de elementos mallados adicionales.
 - Latencia: Media. De media varios segundos.
 - Seguridad: Alta. Mediante el empleo de capacidades nativas.
 - Fiabilidad: Media. Cuantos más saltos haya entre dispositivos, menor es la fiabilidad. El fallo en un dispositivo concreto afecta a toda la red.
 - Ancho de Banda: Medio. Entre 50 y 100 kbits/s.
 - Consumo Energético: Bajo. Permite operación mediante batería.
- Redes de área amplia y baja potencia (LPWA): Los nuevos protocolos de comunicaciones LPWA permiten atraer casos de uso en los que se requieren dispositivos de bajo coste, cobertura ampliada y un consumo muy reducido de batería que permita una vida útil del dispositivo que alcance varios años. Si bien es cierto que este tipo de redes debe tomarse en consideración por los objetivos que persigue, debe prestarse especial atención a no reducir robustez o fiabilidad en el conjunto de la solución, siendo un importante coste habitual en este tipo de redes.

Este tipo de redes requieren las siguientes características:

- Topología en estrella que permita comunicación en modo uno-a-uno.
 - Alto alcance, hasta 40km en entornos abiertos.
 - Consumo de potencia ultra bajo, logrando vidas útiles de más de 10 años.
 - Rendimiento de datos bajo, típicamente unos pocos cientos de bits/s o menos.
 - Bajo coste del módulo de comunicaciones, menos de 5\$.
 - Bajo coste de suscripción, hasta 1\$ por dispositivo año.
 - Latencia de transmisión alta
 - Un mínimo de estaciones base instaladas son requeridas para ofrecer una cobertura consistente.
 - Buena penetración de cobertura en áreas rurales.
- Evolución red celular: tradicionalmente, los operadores de telecomunicaciones han usado los protocolos de comunicaciones móviles diseñados para personas (2G, 3G, 4G) en el mundo de las cosas. Si bien ha permitido realizar grandes despliegues de IoT, asegurando cobertura en gran parte del territorio habitado del planeta, el precio y el consumo energético no están adaptados a las necesidades cada vez más demandantes del mundo IoT. Por todo ello, los nuevos protocolos de comunicaciones móviles (LPWA) aportan luz al despliegue de nuevos proyectos IoT.

Por un lado, ofrece una solución orientada a un consumo de batería reducido, permitiendo que los dispositivos tengan una vida útil amplia de forma desatendida, que alcance varios años. Por otro lado, el diseño de los protocolos consigue una propagación de señal que permite a los dispositivos tener cobertura en entornos complejos, sin tener que hacer un uso exhaustivo de consumo de batería. Finalmente, otra de las características de estos protocolos es la robustez del sistema, confiriéndole una fiabilidad ampliada que asegura el funcionamiento de la comunicación en situaciones desfavorables de baja cobertura.

Dentro de esta evolución de los protocolos de comunicación móviles, existen principalmente dos protocolos de masivo despliegue: NB-IoT y LTE-M.

Las principales características de este tipo de redes son las siguientes:

- Garantía de calidad (banda licenciada).
 - Los dispositivos conectados disponen de recursos de red dedicados para cada conexión independiente al tráfico y número de usuarios.
 - Ancho de banda dedicado por sesión de comunicación. No compiten las sesiones entre ellas.
 - Control de envío y recepción. Asegura la integridad como la confirmación en la recepción del mensaje.
 - Sin riesgo de interferencias con otras redes o tecnologías.
 - Soporta casos extremos de despliegues locales con alta concentración de dispositivos.
 - La adquisición de espectro es el activo más importante de un operador y es una decisión estratégica largo plazo. Las garantías de calidad de servicio no cambian a largo plazo. No está expuesto a cambios de normativa/legislación en la transmisión.
- Garantía de continuidad y evolución
 - Tecnologías 5G ready basadas en protocolos estándares 3GPP. Nacieron con el propósito de evolucionar tecnologías tradicionales celulares 2G/3G.
 - Sin riesgo de cautividad u obsolescencia por no ser tecnologías propietarias.
 - Son estándares abiertos, globales y vivos que garantizan la continuidad en el tiempo y la evolución de nuevas funcionalidades futuras.
- Versatilidad y robustez
 - En condiciones desfavorables de cobertura (interiores/soterrado) disponen de mecanismos de reenvío de mensajes que incrementan la robustez de entrega (reintentos no limitados por normativa).
 - Permiten optimizar el caso de uso para maximizar la eficiencia y por ende la duración de la vida útil de la batería y latencias adecuadas para descarga de firmware.
 - Soportan la bidireccionalidad simétrica, ilimitada en tráfico y conexión directa dispositivo-servidor.
 - La comunicación puede iniciarse desde el dispositivo o servidor.
 - Tecnologías punto a punto, sin gateways o puntos intermedios con riesgo de fallo entre dispositivo y servidor.
 - Garantía de cobertura homogénea en zonas urbanas y rurales de rápido despliegue válida para una misma solución técnica y en despliegues con alta dispersión.
 - Compatibilidad técnica con el resto de los servicios sobre infraestructura móvil actual de los operadores de telecomunicaciones (por ejemplo, tarjetas SIM, conectividades Seguras IPsec, VPN-IP...).

2.5. Tecnologías digitales aplicadas al ciclo urbano del agua

Apoyados en la conectividad, podemos desplegar tecnologías digitales que nos permitan un correcto procesamiento y explotación de la información, avanzando hacia modelos más sostenibles y procesos operacionales más eficientes de aplicación en el ciclo urbano del agua.

Las infraestructuras hídricas requieren un gran número de activos físicos para su correcto funcionamiento, desde grandes infraestructuras como estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs), estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) y tanques de

almacenamiento y de tormentas, hasta elementos de menor tamaño como bombas de impulsión, aireación, rejillas de filtrado, tuberías, contadores, etc.

Por consiguiente, la digitalización permite integrar las nuevas tecnologías en todas las áreas del ciclo urbano del agua. La monitorización de las infraestructuras, procesos y consumos permite generar grandes cantidades de datos, los cuales, tras ser procesados mediante la aplicación de técnicas de analítica avanzada, permiten disminuir los consumos energéticos, mejorar la productividad, aumentar la eficiencia de las instalaciones y prolongar el tiempo de vida de los activos, garantizando la sostenibilidad del sistema.

A continuación, se exponen algunos ejemplos prácticos aplicados al ciclo urbano del agua:

- Captación y potabilización
 - Teledetección
 - Modelos hidrológicos
 - Diseño y operación de infraestructuras
 - Gestión del mantenimiento
- Distribución
 - Contadores inteligentes (telemedida)
 - Sectorización
- Saneamiento
 - Tele gestión
 - Planificación de inversiones
 - Monitorización de la salud pública
 - Predicción de caudales
- Depuración
 - Monitorización del efluente
 - Optimización de recursos
 - Gestión de activos
 - Análisis de riesgo
 - Optimización de la energía y emisiones asociadas
 - Gestión de fangos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El concepto de digitalización se puede definir como el proceso de conversión de datos analógicos a digitales (ver ref. [1]). El uso de aplicaciones tecnológicas para la transformación digital del ciclo urbano del agua implica explorar dispositivos, conectividad, plataformas y modelos de negocio que sean viables desde el punto de vista de inversión y operación, bajo la premisa de la seguridad de amortización.

Los beneficios de la digitalización aplicados al ciclo urbano del agua se enmarcan como eje vertebrador para el cambio del modelo actual, la conectividad que ofrece la digitalización permite a las gestoras de agua crear sistemas más eficaces y eficientes, generando de este modo mayores ventajas competitivas.

La tecnología y la digitalización son una gran oportunidad para lograr los objetivos de sostenibilidad a lo largo del ciclo integral del agua. Por esta razón desde el Gobierno se ha impulsado un plan, comúnmente denominado como PERTE del agua, que pretende impulsar el uso de las nuevas tecnologías de información en el ciclo del agua lo que permitirá mejorar su gobernanza y transparencia, aumentar su eficiencia, reducir las pérdidas en las redes de suministro y avanzar en el cumplimiento de los objetivos ambientales marcados por la planificación hidrológica y las normativas internacionales. Para ello, a lo largo de este año y en

2023 se lanzarán varias convocatorias de ayudas para administraciones y entidades competentes en el ciclo urbano del agua, la industria y para comunidades de regantes y de usuarios de aguas subterráneas.

4. CONCLUSIONES

La puesta en marcha de las aplicaciones tecnológicas recogidas en esta ponencia se ha visto limitada hasta la fecha, como consecuencia de las altas inversiones necesarias para acometer con éxito un proceso de transformación en las empresas y entidades responsables de la gestión del agua. No obstante, el sector del agua debe apostar por las diferentes tecnologías como herramientas facilitadoras para optimizar y ofrecer un mejor servicio en el ciclo integral del agua.

A nivel de tecnología de comunicaciones, hemos podido analizar las principales razones que posicionan el protocolo NB-IoT, o en su defecto, los protocolos desarrollados dentro la 3GPP, como forma predilecta de comunicación de objetos en el mundo IoT.

Una de las principales fortalezas que caracteriza a NB-IoT frente al resto de protocolos alternativos es la fiabilidad y robustez ofrecida por los grupos internacionales de estandarización (3GPP). Mediante el licenciamiento de bandas de frecuencias, la creación de órganos de revisión de los estándares o el mantenimiento de grupos de trabajo integrados por las diferentes partes activas en el sector, se consigue una seguridad jurídica y tecnológica que permite a los usuarios de estas soluciones confiar en ellas incluso en fases iniciáticas de su desarrollo comercial. Esto es algo que no ocurre en otros protocolos, derivando en una importante debilidad que aumenta la incertidumbre sobre los planes a medio y largo plazo de la tecnología.

En cuanto a las herramientas digitales de aplicación a lo largo del ciclo urbano del agua, hemos visto que, a partir de los datos, obtenidos de la monitorización de los elementos en campo, se pueden obtener patrones relacionados con caudales, consumos, concentración de contaminantes, control de equipos y procesos, etc. Los algoritmos permiten modelizar las diferentes variables, ofreciendo soluciones basadas en el cálculo automatizado en tiempo real. Sincronizar estas soluciones y su aplicación en las diferentes partes del ciclo urbano de agua es la clave para optimizar los procesos asociados y, por tanto, para conseguir una mayor eficiencia operativa en todos ellos, además de asegurar la disponibilidad en la cantidad y calidad del agua.

5. REFERENCIAS

- [1] Brennen, J.S. and Kreiss, D., "Digitalization", *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, Wiley-Blackwell, Chichester, 2016.
- [2] Unruh, G. and Kiron, D., "Digital transformation on purpose", MIT Sloan Management Review, Nueva York, 2017.
- [3] *Remote Provisioning Architecture for Embedded UICC Technical Specification*. Version 3.1., 2016 (https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/07/SGP.02_v3.1.pdf)
- [4] *Remote Provisioning Architecture for Embedded UICC Technical Specification*. Version 3.2., 2017 (https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/SGP.02_v3.2_updated.pdf)
- [5] *NB-IoT GSMA Deployment Guide Release 3*, 2019, (<https://www.gsma.com/iot/resources/nbiot-deployment-guide-v3/>)
- [6] *Cellular Internet of Things* (<https://www.elsevier.com/books/cellular-internet-of-things/liberg/978-0-08-102902-2>)