AQUAE PAPERS

AQUAE FUNDACIÓN

Nº 4 MARZO 2014

4

LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: REVISIÓN SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA NO REGISTRADA.

Cordinador: Manuel Cermerón Romero

Autores: Manel Álvarez Paz, Enric Castellví Arasa, Maria Monzó Llopis, Cristina Verdú Sandoval

Comité Técnico: Enrique Cabrera Marcet, Francisco Cubillo González, Amelia Pérez Zabaleta

En colaboración con:

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

AQUAE PAPERS
WWW.FUNDACIONAQUAE.ORG
Nº 4 / 2014

LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: REVISIÓN SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA NO REGISTRADA.

Coordinador:
Manuel Cermerón Romero

Autores:
Manel Álvarez Paz.
Técnico de Business Development Ingeniería. Aqualogy

Enric Castellví Arasa.
Director de Planificación. Aigües de Barcelona

Maria Monzó Llopis.
Adjunta a Dirección Proyecto de Excelencia. Aguas Andinas

Cristina Verdú Sandoval.
Responsable de Control de Caudales de Abastecimiento. Aguas de Murcia

Comité técnico:
Enrique Cabrera Marcet
Francisco Cubillo González
Amelia Pérez Zabaleta

© Fundación Aquae, 2014
Torre de Cristal - Paseo de la Castellana, 259 C
28046 Madrid (España)
www.fundacionaquae.org

Diseño y maquetación: rez
Impresión: Maf S.L.

Depósito Legal: M-5032-2014
ISSN: 2340-3675

Impreso en España.

En colaboración con:
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

SUMARIO PÁG

RESUMEN EJECUTIVO 4

PALABRAS CLAVE 5

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO 6

2. ESTRUCTURA Y FACTORES DETERMINANTES DEL ANR 8

2.1 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DEL RECURSO POR SECTORES 8
2.1.1 LA GESTIÓN DEL RECURSO AGUA EN EL SECTOR AGRÍCOLA 8
2.1.2 LA GESTIÓN DEL RECURSO AGUA PARA USO INDUSTRIAL 10
2.1.3 LA GESTIÓN DEL RECURSO AGUA EN EL ÁMBITO URBANO. CONCEPTO ANR 11
2.2 FACTORES DE MEJORA DE LA EFICIENCIA EN REDES 13
2.2.1 FACTORES DE MEJORA VINCULADOS A LA INFRAESTRUCTURA 14
2.2.2 FACTORES DE MEJORA VINCULADOS AL COMPORTAMIENTO DE LOS CLIENTES 15
2.2.3 FACTORES DE MEJORA VINCULADOS A LA OPERACIÓN DE LA RED 16
2.2.4 FACTORES DE MEJORA VINCULADOS AL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA RED 17

3. INDICADORES DE ANÁLISIS Y NIVELES DE EFICIENCIA / EL ANR 18

3.1 RENDIMIENTO TÉCNICO HIDRÁULICO 18
3.2 INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS 21

4. SOLUCIONES Y TECNOLOGÍAS PARA REDUCIR EL ANR 24

5. CONCLUSIONES 32

REFERENCIAS 34

AUTORES 37

ENGLISH VERSION 39

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de alcanzar un alto grado de eficiencia en la gestión de los recursos hídricos está presente, en la actualidad, en cualquier país, pero aún más en aquellos países que tienen problemas de escasez. De hecho, se están llevando a cabo importantes esfuerzos, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico, para conseguir una gestión cada vez más eficiente no solo en la gestión de los sistemas de distribución, sino en todo el ciclo de agua. Sin embargo, no todo el volumen de agua que entra en el sistema llega a los puntos de consumo, de ahí que todo indica que perdemos parte de ella en este viaje. Por este motivo, esa parte, a la que denominamos *agua no registrada* (ANR), debe ser minimizada, de forma que la reducción del ANR debería ser considerada prioritaria con el objetivo de no perder recursos, reducir riesgos, acortar los periodos de retorno de las inversiones y garantizar la satisfacción del cliente. Cabe señalar que el camino recorrido en esta gestión es claramente desigual según los diferentes usos del recurso (apta para consumo, industrial y agrícola). En la gestión del agua urbana el esfuerzo desarrollado en los últimos veinte años, mediante tecnologías aplicadas como la sectorización o la monitorización en tiempo real, ha supuesto una mejora muy significativa sobre el control del ANR. Sin embargo, llama la atención que los usos que requieren una mayor proporción global del consumo del recurso (agricultura e industria) son los que presentan una menor reducción en el agua no registrada. Esta asimetría choca con la concepción vigente en la gestión del recurso, así como con la necesaria gestión integral de todos sus usos. Por otra parte, el nivel de desarrollo tecnológico necesario para esta reducción no es ilimitado y debe encontrar un punto de equilibrio en el que se vean reflejados ya no solo los costes estrictamente económicos, sino todos aquellos que la comunidad esté dispuesta a incluir o a soportar con los sistemas de recuperación de costes (sociales, medioambientales, etc.). En este sentido, el avance ha sido relevante y encontramos distintos indicadores tales como ELL (*economic level of leakage*) y SELL (*sustainable economic level of leakage*) que permiten tener en cuenta esta aproximación. Es indispensable, por lo tanto, que los *operadores encargados de la gestión hídrica* y las empresas de distribución incorporen aquellas soluciones que optimicen los niveles de eficiencia en la gestión del ANR. De hecho, se dispone de un elevado número de soluciones y tecnologías ya demostradas solventes como son la implantación de sistemas de información geográfica, el telecontrol del sistema, la telelectura, el control en tiempo real de la red, el control de los fraudes y la disposición de equipos de búsqueda de fugas que permiten llevar a cabo una gestión más eficiente.

En este contexto, y para concluir, cabe señalar que debe tenerse en cuenta que aunque existe un límite tecnológico a la disminución del ANR, tam-

bién hay un límite en el coste de la inversión necesaria para conseguir la reducción del volumen de ANR. Sin embargo, si queremos incluir los costes ambientales y sociales del ANR se hace necesario conocer si estamos dispuestos a pagar por ello y, por lo tanto, a actuar en consecuencia.

PALABRAS CLAVE:

Agua no registrada (ANR), eficiencia, riesgos, control en tiempo real, sistemas de información, tecnología, indicadores.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

En el presente documento se pretende, tras introducir una visión global de la gestión del recurso agua en la que se contemplen todos los usos llevados a cabo y las medidas de eficiencia aplicadas en cada uno de ellos, revisar los conceptos clave y las medidas de gestión de la eficiencia aplicadas en los sistemas de distribución en ámbito urbano para la reducción del ANR.[1] Esto nos llevará a identificar los puntos de equilibrio y compromiso viables que se pueden encontrar entre el operador y el cliente o ciudadano para asumir los costes necesarios que permitan una gestión óptima y satisfactoria del recurso para la comunidad.

A escala mundial, más del 40% del agua potable no se registra en los sistemas urbanos de agua antes de llegar al consumidor (Global Water Market, 2011). En términos absolutos, se estima que el volumen de agua no registrada cada día alcanza los 45 millones de metros cúbicos, suficientes para dar servicio a 200 millones de personas. Treinta millones de metros cúbicos (cerca de un 67%) son consumidos cada día y no facturados debido a fraudes y mediciones no exactas (Kingdom, 2006). El 33% restante correspondería a pérdidas físicas y a consumos que, aun siendo autorizados, no se miden.

No obstante, es necesario no perder la perspectiva y adoptar un enfoque mucho más global, atendiendo a los usos del recurso, en el que se destaca, por ejemplo, que la proporción de agua destinada a consumo humano en España supone tan solo el 18% del consumo total de agua, mientras que los usos industrial y en mayor grado el agrícola, copan más del 80% del consumo (21% y 60%, respectivamente) (datos del INE, 2008; Eurostat, 2008; Global Water Market, 2010). Y es para estos dos últimos usos para los que el grado de control y las medidas de eficiencia aplicadas plantean un amplio recorrido de mejora, en comparación con el alcanzado para el agua apta para consumo (López-Urrea, 2012).

La última encuesta de la AEAS (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento), con datos del 2010, evalúa, para España, el porcentaje de agua potable que no se registra en la red en un 23% del total del agua suministrada en redes urbanas o uso urbano (AEAS, 2010), y el INE (Instituto Nacional de Estadística), con datos del mismo año, en un 25%. Sin

1 En el presente documento se ha adoptado el término *agua no registrada* (ANR), pese al también frecuentemente usado término *agua no controlada*. Ambos adolecen de cierta imprecisión, aunque *agua no registrada* parece más apropiado al ámbito en el que se encuadra el documento.

embargo, esto se traduce en que poco más del 3,5% de m^3 suministrados totales (para todos los usos, incluyendo uso agrícola e industrial) se deja de registrar anualmente en las redes de distribución.

Además, en países como España, la minimización del efecto del agua no registrada debe tener en cuenta la situación de relativa escasez, debido a su climatología y a lo singular de su configuración hidrológica. Dado que el agua es un recurso escaso, este debe ser gestionado de una manera eficiente, es decir, con el objetivo principal de que el máximo volumen de agua que entra en la red llegue a sus puntos de consumo, lo que *minimizaría* el volumen de agua no registrada. Por lo tanto, la gestión de un servicio de agua potable no debe consistir únicamente en asegurar la continuidad del suministro con unas presiones aceptables en todos los puntos de consumo y con plenas garantías sanitarias del agua entregada, sino también en disminuir el agua no registrada que, por otra parte, ya ha sido tratada.

La relación entre la reducción de volumen de agua no registrada y el coste económico asociado a esta reducción no es lineal; tiene una progresión asintótica y, por lo tanto, se puede considerar que actúa como un techo o límite económico-técnico. En este punto, el coste de la inversión necesaria para continuar esta minimización deberá ser analizado atendiendo al retorno generado en función del volumen finalmente reducido. La aplicación de indicadores específicos, tales como los indicadores de pérdidas ELL (*economic level of leakage*), SELL (*sustainable economic level of leakage*), etc., permiten analizar los diferentes puntos de equilibrio técnico y económico, ambiental y social.

Dicho de otra forma, la reducción de agua no registrada en la red supone un desarrollo y aplicación de tecnologías que en su mayor parte también llegarían a suponer un umbral máximo técnico o límite (rentable) en el potencial resultado económico y, por lo tanto, en la asunción de costes por el cliente final en su tarifa.

Asimismo se ha constatado, que los niveles de reducción alcanzados en la mayoría de los sistemas de abastecimiento en los que se han desarrollado planes eficaces y rigurosos de optimización y reducción de agua no registrada suponen un alto grado de desarrollo técnico y, por lo tanto, un esfuerzo notable en alcanzar este límite técnico-económico específico.

En el capítulo 2 del presente documento se analizará cuál es la distribución del ANR según los sectores a los que se destina el recurso, entrando en un análisis sobre la eficiencia en la gestión de este, tanto para el uso

agrícola, como para el uso industrial y el ámbito urbano (apartado 2.1). Se hace especial énfasis en el ámbito urbano con la revisión de las principales definiciones asociadas al concepto ANR siguiendo lo establecido por la IWA y la AWWA (apartado 2.1.3) y los factores críticos de mejora vinculados a las infraestructuras, al comportamiento de los clientes, a la operación de la red y al desarrollo tecnológico (apartado 2.3).

En el capítulo 3 se detallan y analizan los indicadores de análisis y eficiencia para el estudio del ANR contemplando diferentes niveles de eficiencia, tanto en su componente técnica como en la técnico-económica. En el capítulo 4 se sintetizan las soluciones y tecnologías aplicadas con mayor eficacia contrastada en la reducción del ANR y finalmente se presentan las conclusiones.

2. ESTRUCTURA Y FACTORES DETERMINANTES DEL ANR

2.1 Análisis de la eficiencia en la gestión del recurso por sectores

Actualmente, el rigor y control del ANR llevado a cabo en las instalaciones y en la red destinadas al agua apta para consumo no tiene un paralelismo en los demás sectores productivos, como son la agricultura o la industria, en los que paradójicamente se concentra el grueso del volumen del agua suministrada.

En efecto, según los datos aportados por el Instituto Nacional de Estadística para el 2008, el total del agua suministrada para los sectores agrícola e industrial sumaban un volumen de 26.501 millones de metros cúbicos (19.560 M m^3 para el sector agrícola y 6.941 M m^3 para el sector industrial), lo que supone más del 82% del total de agua servida, que se eleva a 32.265 millones de metros cúbicos. Por lo tanto, solo un 18% del total se destina a agua apta para consumo.

2.1.1 La gestión del recurso agua en el sector agrícola

Si bien es cierto que la mejora hacia un uso más eficiente del agua destinada a regadío plantearía una serie de actuaciones en un marco más global, como una revisión de precios que incentive el ahorro o una actuación sobre la estructura productiva agrícola, en este documento nos centraremos en aquellas que supondrían una mejora de la eficiencia en el suministro del agua a las parcelas de cultivo y en las infraestructuras y modalidades organizativas utilizadas para el transporte y distribución del agua por parte de las mancomunidades de regantes.

Parece evidente que la eficiencia (la minimización de pérdidas de agua en su distribución y entrega a los puntos de consumo) de los sistemas de riego por aspersión y, todavía más, de los sistemas de goteo es notablemente superior a la de los sistemas de riego por gravedad. Sin embargo, es interesante realizar algunas matizaciones. En los sistemas de distribución por gravedad la eficiencia es especialmente baja cuando se trata de suelos pocos profundos y con baja capacidad de retención de agua. Igualmente es baja en cultivos con sistemas radiculares muy superficiales y que requieren aportes de agua continuos, en los que se obtienen eficiencias de aplicación que oscilan entre el 30 y el 90% en función de las características de nivelación e intrínsecas del propio suelo.

Por otro lado, el análisis realizado de las infraestructuras de regadío se suele focalizar en los dispositivos o en el medio empleado para dotar a la parcela del recurso, en vez de en la infraestructura ligada al transporte o distribución del agua hasta la parcela (canales, tuberías, etc.).

No obstante, y aun con la aplicación sucesiva de diferentes planes, desde el Plan Nacional de Regadíos 2001, el posterior Plan de Choque de Modernización de Regadíos 2006-2008, y hasta la presente Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, Horizonte 2015, queda patente que la necesidad de optimizar los consumos, garantizar la eficiencia energética de las explotaciones y modernizar las infraestructuras de transporte y distribución, sigue siendo un reto pendiente para el sector del regadío (Oca, 2009).

Valga como ilustración de lo anterior el caso de Andalucía (Agenda del Regadío Andaluz Horizonte 2015), donde se ha realizado un notable esfuerzo en la modernización del regadío durante el periodo 1995-2008 que ha afectado al 43,2% de los regadíos existentes al inicio del periodo, donde quedan aún pendientes mejoras significativas en áreas en las que la eficiencia de las infraestructuras de riego supera en poco el 50%.

De la misma forma y para el caso de Cataluña, atendiendo al Plan de Regadíos de Cataluña 2008-2020, la eficiencia estimada (que depende, por un lado, del sistema de riego y, por otro, de la eficiencia en la distribución y el transporte, función a su vez del tipo de redes y su estado de conservación) para el año de arranque del plan, 2008, era de un 41,77% para superficie consolidada en riego.

Esta situación refleja de forma patente el amplio margen de mejora existente y, por consiguiente, el significativo volumen de recurso que aún es potencialmente recuperable, como se vio al inicio del capítulo.

2.1.2 La gestión del recurso agua para uso industrial

La gestión de la eficiencia en el uso de agua para uso industrial puede presentar fuertes oscilaciones de sus resultados y aplicación, atendiendo a la diferencia de sectores y actividades industriales llevadas a cabo. No obstante, se pueden apuntar algunos aspectos comunes que pueden ser válidos para el sector industrial de forma genérica.

La obtención del recurso por parte de la industria puede venir tanto a través de instalaciones propias (pozos o captaciones) como directamente a través de la red de distribución. En el primer caso, la red de distribución interna y la entrega del agua no está sometida al mismo nivel de control y optimización que en el segundo caso. De ahí que aunque las industrias optimicen sus costes, dado el coste del recurso, las acciones de control y optimización serán las que la propia empresa decida llevar a cabo. Parece razonable pensar que en la mayoría de casos se optará por un criterio limitado a lo económico o por el conocimiento técnico que este tipo de infraestructura tenga.

En efecto, el agua como recurso se convierte en un *input* más dentro de las variables económicas de la industria y, por lo tanto, su optimización y gestión eficiente depende de parámetros locales y particulares. Y depende no solo de la actividad desarrollada, sino también del contexto en el que el recurso es utilizado, en detrimento de una praxis más global y conocedora de soluciones y tecnologías aplicadas a la gestión eficiente.

En este sentido, es importante destacar que prácticas enmarcadas dentro de la gestión eficiente del recurso agua, como la reutilización, en sectores industriales como el químico, papelero y de plásticos, tintes y pinturas, con una demanda potente y sostenida de agua, son críticas en el aprovechamiento del recurso dado su impacto posterior. Sirva como ilustración el caso del sector metalúrgico, en el que es posible llegar a alcanzar hasta un nivel del 70-80% de reutilización del agua para sus procesos. Sin embargo, en España, por ejemplo, solo el 0,7% del total de agua tratada en las plantas depuradoras de agua residual se reutiliza en industrias (Iglesias, 2008).

De igual forma que en el caso antes comentado sobre el nivel de la eficiencia en el uso agrícola, para el caso industrial la aplicación de tecnologías solventes dirigidas a un eficiente uso del agua, o los beneficios de una extendida práctica de la reutilización, son todavía aspectos pendientes para una mejora sectorial.

2.1.3 La gestión del recurso agua en el ámbito urbano. Concepto ANR

Cuando se hace referencia al abastecimiento urbano, al introducir valoraciones sobre la eficiencia en su gestión, se manejan conceptos tales como el de *agua no registrada* (ANR) o *agua no contabilizada*.

Desde un punto de vista técnico, el volumen de agua no registrada (ANR) se define como la diferencia entre el volumen de agua suministrada al sistema y el volumen de agua registrada en los medidores de los clientes (Alegre, 2000; 2006). Un alto volumen de ANR, generalmente puede ser sinónimo de una explotación y un mantenimiento del sistema de distribución inadecuado, que a su vez puede repercutir en la calidad del servicio, y por supuesto en pérdidas económicas para la explotación (Lambert, 1998).

Tradicionalmente, el volumen de ANR se clasifica según las causas principales que lo originan: fugas en cualquier punto de la red, operacionales o usos autorizados, fraudes y subcontaje. Siguiendo la nomenclatura recomendada por la IWA (International Water Association) y la AWWA (American Water Works Association), el ANR se divide en los conceptos que se citan a continuación (AWWA, 2008; Alegre 2000; 2006).

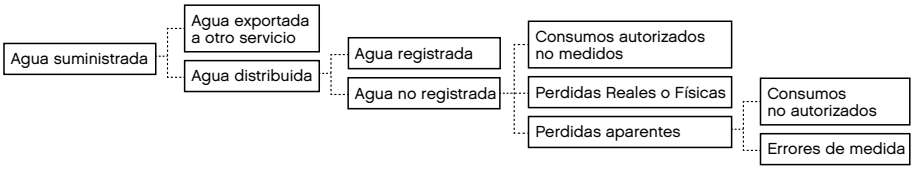
Fugas o pérdidas físicas o reales, referidas a fugas en cualquier parte de la red de distribución, depósitos de almacenamiento, conducciones de transporte, conducciones de la red de distribución, acometidas, etc. Las fugas se deben a múltiples causas, alguna de ellas inevitables y otras a operaciones inadecuadas o mantenimiento incorrecto del sistema, falta de control activo de fugas, baja calidad de los materiales del sistema, etc. Dentro de las fugas físicas también hay que incluir las averías producidas por terceros (Fanner, 2007).

Fugas o pérdidas aparentes o comerciales, debidas a los errores de medición de los medidores de entrada al sistema y de los contadores de clientes, errores de manejo de datos de facturación, fraudes y consumos no autorizados (AWWA, 1999).

Consumos autorizados no registrados, en los que se incluye el agua consumida en operaciones de red, usos contra incendios no medidos, consumos municipales no facturados, etc.

En la figura 1 se esquematiza el balance entre el agua introducida en una red de distribución y sus respectivas salidas, y cómo se reparte el volumen de agua no registrada entre pérdidas o fugas aparentes (subcontaje de contadores de clientes y fraudes) y pérdidas o fugas físicas.

Figura 1. Clasificación del ANR.



Fuente: elaboración propia

El volumen de ANR, normalmente relativo a la longitud de red, junto con el rendimiento técnico hidráulico son los indicadores de eficiencia de una red de distribución más utilizados (estos indicadores serán ampliamente desarrollados y analizados en el capítulo 3 del documento). Para mejorar estas ratios, es imprescindible realizar tanto un correcto cálculo de la distribución y cuantificación del agua no registrada existente como llevar a cabo un plan de acción, en el que se especifiquen los aspectos que deben controlarse para la mejora y mantenimiento en el tiempo de la eficiencia del sistema y la consecución de los resultados esperados (Kunkel, 2003; Cabrera, 2004; AWWA, 2009).

Tal y como se ha comentado anteriormente, la XII *Encuesta sobre el suministro de agua potable y saneamiento en España* de la AEAS sitúa el volumen de ANR para las redes de distribución urbanas en poco más del 3,5% del volumen total suministrado (integrando los usos agrícolas e industrial). En una primera aproximación, esta cantidad podría distribuirse[2] entre un 1,6 % debido al estado de las propias infraestructuras, otro 1,6% debido al subcontaje de los equipos de medida, un 0,1% debido a operaciones de red y el 0,2% restante debido a fraudes. Estos valores porcentuales parecen bastante reducidos cuando son contrastados con los valores que se podrían desprender para el resto de usos productivos.

Así, el agua no registrada en las redes de distribución se deduce de las siguientes relaciones:

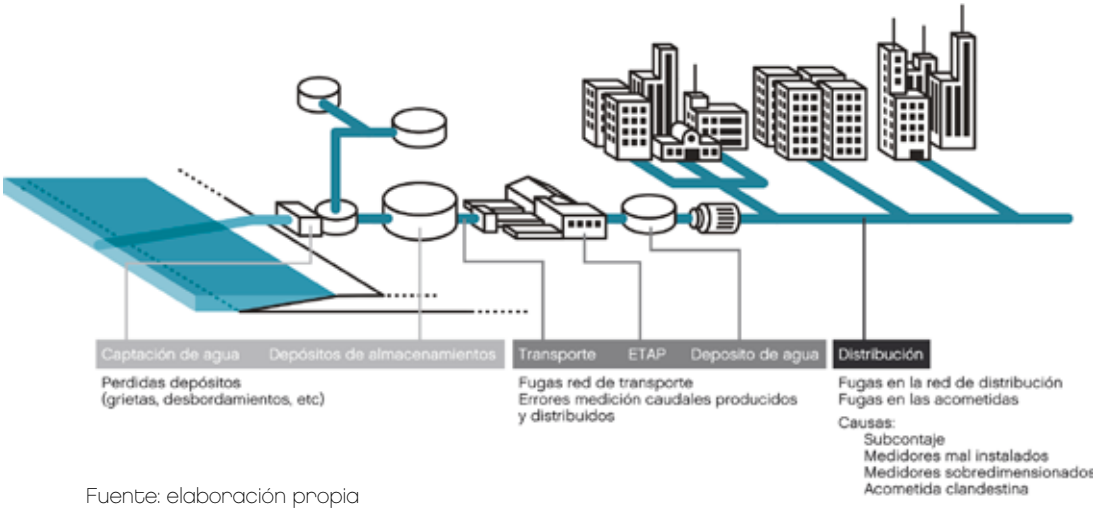
El agua no registrada = agua suministrada al sistema - agua registrada

$$\text{RTH}\ (\%) = \frac{\text{agua registrada}}{\text{agua suministrada al sistema}} \cdot 100$$

2 Esta distribución porcentual es puramente orientativa dado el carácter sumamente agregado de los datos. Una correcta valoración debería llevarse a cabo en cada sistema de forma concreta y particularizada.

Dado que una parte del agua no registrada proviene de fugas, la figura 2 señala los puntos del sistema susceptibles de ser origen de las mismas que, por otra parte, son numerosos y, como se puede comprobar, afectan tanto a la red de transporte y distribución como a depósitos e instalaciones interiores.

Figura 2 . Puntos de origen del ANR



Fuente: elaboración propia

Así, para llevar a cabo la distinción volumétrica de cada término del ANR es necesario realizar un correcto balance hídrico de sus componentes. A partir de ella, se podrá diseñar un programa para la reducción del ANR. Cada sistema tiene sus características particulares que obligan a analizarlo individualmente, siendo algunos de los factores explicativos la calidad del mantenimiento y la explotación del sistema (Rizzo, 2002; AWWA, 2009).

2.2 Factores de mejora de la eficiencia en redes

En este apartado se abordarán los diferentes factores que nos permiten mejorar la eficiencia en el uso del recurso en los sistemas de distribución. De forma concreta, se introducen los factores ligados a la infraestructura, a las acciones derivadas del comportamiento de los clientes, a la operación y, finalmente, a los factores vinculados al desarrollo tecnológico y a la automatización de la red.

Esta desagregación de los factores que influyen en la eficiencia de redes en las anteriores categorías permitirá poder constatar el grado de análisis y de detalle que, dentro del suministro urbano, se ha llegado a alcanzar en las actividades y trabajos llevados a cabo para la reducción del ANR.

2.2.1 Factores de mejora vinculados a la infraestructura

El estado de la infraestructura que permite el transporte y la distribución del agua es crítico dada su repercusión sobre el agua que finalmente el sistema no registra. La configuración de dicha infraestructura, el grado de planificación previa, así como los elementos y materiales que la integran o su disposición pueden ser determinantes.

Algunas de las causas, vinculadas a estas características, son las siguientes:

- Incorrecta selección de los elementos de la red (material, dimensionado, resistencia) tanto para satisfacer las solicitudes de la explotación como del terreno donde están instalados (materiales defectuosos o no adecuados, ya sea de los tubos y las juntas o del terreno de apoyo y su entorno, debido a un planeamiento inadecuado).

- Incorrecta instalación de los elementos de red. Roturas de tubos por mala ejecución de la puesta en obra: tubos mal apoyados, rellenos inadecuados de zanjas, falta de estanqueidad en las juntas constructivas, daños por tráfico pesado, excesiva deflexión de las juntas de conexión y contadores mal ubicados.

- Corrosión tanto interna por aguas agresivas como externa por protección insuficiente frente a la corrosión de materiales metálicos en suelos y aguas subterráneas agresivas.

- Pérdida de resistencia estructural por el efecto del tiempo, de la fatiga de materiales sometidos a cargas periódicas, de golpes de ariete, de los cambios de mineralización del agua o de los procesos de limpieza de tuberías.

- Daños accidentales o deliberados.

- Fisuras o reboses de depósitos.

En lo que afecta al agua no registrada de los sistemas de distribución es importante destacar lo significativo de las acometidas domiciliarias. Se producen más fugas en acometidas que en la red general, debido a que existe mayor concentración de uniones y accesorios en una acometida que en el resto del sistema de distribución. A menudo, el punto de conexión es casi superficial, con el resultado de que en aquellos casos en los que la acometida está sometida a cargas excepcionales del tráfico se dañan rápidamente la unión y el tubo.

Debido a estos factores, es corriente que las pérdidas anuales en las acometidas excedan a las que aparecen en las conducciones.

Figura 3. Fuga en depósito de almacenamiento y en conducción de 900.

Fuente: elaboración propia

2.2.2 Factores de mejora vinculados al comportamiento de los clientes

El estado de las instalaciones interiores permite, en un nivel correcto de mantenimiento, la reducción de fugas y del deterioro de las instalaciones. La concienciación del usuario para un correcto estado y mantenimiento de las instalaciones interiores y el uso de equipos apropiados son importantes factores que deben tenerse en cuenta.

Los fraudes ocasionados tanto en la manipulación de los equipos de medición como en las acometidas clandestinas (véase la figura 4) constituyen el otro capítulo que debe considerarse en el comportamiento de los clientes:

- Contador manipulado, a raíz de lo cual, y de forma intencionada, el consumo no se corresponde con el volumen registrado.

- Acometida clandestina, es decir, consumo que se realiza a través de una derivación no censada de la red de distribución o a través de hidrantes para uso contra incendios.

Otras variables ligadas al comportamiento de los clientes se podrían centrar en el grado de concienciación que los clientes tienen sobre el uso y aprovechamiento de un recurso como es el agua tratada y potable.

Figura 4. Contador manipulado con imán y contador incorrectamente instalado

2.2.3 Factores de mejora vinculados a la operación de la red

La operación ordinaria de la red conlleva la explotación integral de la infraestructura, la manipulación, dimensionado e instalación de elementos de red, así como otras labores cuya ejecución puede ser determinante en la pérdida de recurso, ya no solo en el mismo momento de llevarla a cabo, sino también en el futuro.

Entre las causas vinculadas a esta naturaleza se destacarían las siguientes:

- Incorrecta explotación de la red por someterla a condiciones de trabajo que excedan la resistencia de los elementos instalados. Errores de explotación: presiones excesivas, llenado excesivamente rápido de conducciones, cierre demasiado rápido de válvulas, golpes de ariete e inexistencia de ventosas de aireación.

- Fallos en accesorios de la red: válvulas, ventosas, hidrantes, fugas en arquetas, fugas en compuertas por piedras, incrustaciones, válvulas antiguas con construcción inadecuada, manivelas rotas por fuerza excesiva en su manejo y elementos mal ubicados.

- Envejecimiento de los materiales.

- Las políticas de renovación del parque de contadores no son adecuadas o son inexistentes, o bien se da una falta de mantenimiento preventivo.

2.2.4 Factores de mejora vinculados al desarrollo tecnológico y automatización de la red

El grado de desarrollo de las tecnologías aplicadas al control de un sistema de abastecimiento y de las actuaciones sobre este sistema mediante la automatización son elementos claves para una gestión óptima de las actividades vinculadas a la reducción del ANR.

Prácticas como aplicar una sectorización en la red de distribución, una planificación eficaz de regulación de la presión óptima en red, la implantación de sistemas de vigilancia de la red de distribución mediante caudal mínimo, la prelocalización de fugas, etc. tienen una contrastada efectividad en la reducción del ANR que, según los diferentes casos, puede llegar a alcanzar un incremento en los valores del rendimiento hidráulico (véase la sección 3) de hasta el 15-20% (AWWA, 2009).

La monitorización en tiempo real de la red a través del sistema de telemetría consiste en el análisis continuo de los datos provenientes de un conjunto de sensores en la red y el uso de modelos matemáticos para detectar y localizar fugas. Existen algunas aplicaciones avanzadas de este tipo en la industria del agua, basadas, por ejemplo, en el uso de sensores de caudal y presión junto con modelos hidráulicos calibrados (Pérez *et al*., 2011; Quevedo *et al*., 2011), en el análisis estadístico de las series de datos generados por los caudalímetros de entrada a los sectores (Quevedo *et al*., 2010; Armon *et al*., 2011) o en el análisis espectral de una red de sensores acústicos.

De ahí que el uso de sistemas de telemetría y telecontrol en las redes de agua permite conocer en tiempo real las medidas o estimaciones de los caudales y presiones en la red, así como controlar a distancia actuadores como válvulas o estaciones de bombeo.

La monitorización de redes de agua en tiempo real permite una sustancial mejora del control activo sobre la red con la consiguiente mejora en los tiempos de reparación y en su calidad.

Sin embargo, este destacado nivel de desarrollo y despliegue tecnológico alcanzado sobre las redes de abastecimiento debería ser compatible tanto con el nivel de inversión económica que lleva asociado como con el umbral técnico del ahorro posible (y que la tecnología aplicada permita en cada circunstancia), además de con la repercusión de este coste que sea asumible por el cliente.

Como se señaló en la introducción de este capítulo, la visualización de los múltiples factores que afectan a la reducción del ANR evidencia el

grado de exhaustividad y control alcanzado para las redes de distribución urbanas en la reducción del ANR, en las que paradójicamente (y respecto a otros usos productivos) se consiguen los niveles más reducidos de ANR. De forma más precisa, el siguiente capítulo presenta algunos indicadores que permiten monitorizar y mejorar la eficiencia en la gestión del ANR.

3. INDICADORES DE ANÁLISIS Y NIVELES DE EFICIENCIA / EL ANR

Tal y como se ha comentado en otros puntos del documento, se pueden contemplar dos tipos de indicadores que nos permiten cuantificar el grado de eficiencia o aprovechamiento de una red. Unos indicadores se definen desde una perspectiva estrictamente técnica y otros nos permiten establecer el equilibrio económico-técnico atendiendo a aspectos de rentabilidad económica, así como a su posible impacto social o medioambiental.

En el primer grupo se incluye el **rendimiento técnico hidráulico**, tanto en valor porcentual como en valor relativo por unidad lineal de la tubería.

En el segundo grupo se incluirían el **nivel económico de pérdidas**, o **ELL** (*economic level of leakage*), y el **nivel económico sostenible de pérdidas**, o **SELL** (*sustainable economic level of leakage*).

Seguidamente se introducirán con mayor detalle ambos grupos de indicadores.

3.1 Rendimiento técnico hidráulico

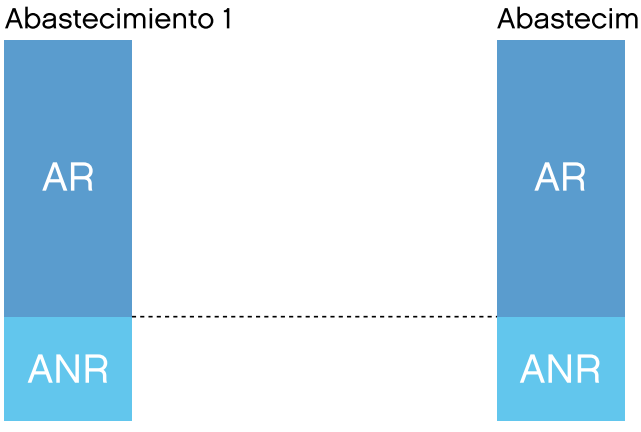
El indicador más común para analizar el ANR (junto a otros datos del sistema) y que se utiliza como indicador general del estado del suministro es el **rendimiento técnico hidráulico**, que se basa en la relación existente entre el volumen de recurso registrado en la red y el volumen que se suministra al sistema, tal y como se introdujo en el apartado 2.1.3.

Mientras que este indicador es fácil de entender y permite una primera aproximación a la eficiencia general del sistema (por lo que es ampliamente usado), no es un indicador apropiado para la comparación entre servicios o, incluso, no es apropiado para monitorizar cambios en el tiempo.

La inconveniencia de este indicador se debe a que no considera la longitud de red, su estado de conservación o el volumen real de ANR.

Así, por ejemplo, para dos abastecimientos que tengan el mismo rendimiento técnico, con idénticos volúmenes de agua distribuida (entrada en el sistema) y registrada pero con una longitud de red de distribución el doble uno que el otro, estará mejor gestionado el que tiene mayor longitud de red, ya que presenta menores pérdidas unitarias. Sin embargo, el porcentaje del rendimiento técnico no aporta ninguna información al respecto (figuras 5 y 6). Lo que permite abordar la eficiencia en la gestión del sistema es una visión global.

Figura 5. Influencia de la longitud de red en el rendimiento técnico.



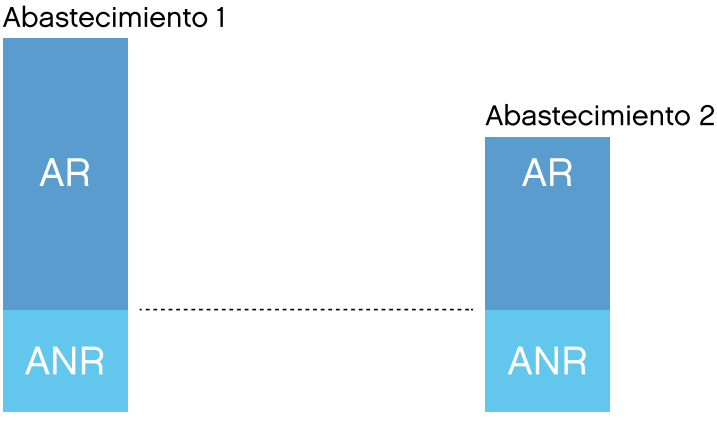
Agua registrada	(hm^3/ año)	7,5	7,5	
Longitud de red	(km)	500	250	Menor longitud de red
ANR	(hm^3/ año)	2,5	2,5	
	(m^3/ km. d)	13,7	27,4	Mayores pérdidas unitarias
Rendimiento	(%):	75 %	75 %	Mismo rendimiento

Fuente: elaboración propia

Del mismo modo, supongamos que el abastecimiento 1 sufre una retracción de un 20% en la demanda debido a restricciones, manteniéndose inalterado el grado de atención a la vigilancia de la red. En este caso, el volumen de ANR permanece constante y, sin embargo, el valor del rendimiento técnico (%) disminuye, lo que provocaría falsas alarmas en caso de analizarse individualmente.

El mismo efecto se produce al comparar dos abastecimientos de similar tamaño, pero con demandas de agua muy diferentes. Siempre sale beneficiado el que más agua consume, que presenta cifras de rendimiento (%) más altas.

Figura 6. Influencia del volumen suministrado en el rendimiento técnico.



Agua registrada	(hm^3/ año)	7,5	6	Menor longitud de red
Longitud de red	(km)	500	500	
ANR	(hm^3/ año)	2,5	2,5	
	(m^3/ km. d)	13,7	13,7	Mayores pérdidas unitarias
Rendimiento	(%):	75 %	70,6 %	Mismo rendimiento

Fuente: elaboración propia

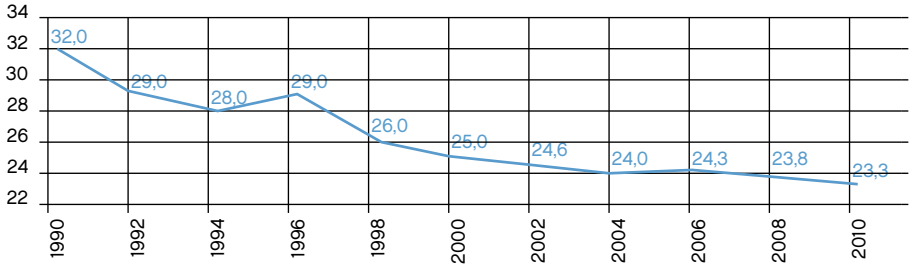
Estos ejemplos justifican la idoneidad de no utilizar únicamente el término *rendimiento técnico* (%) para expresar la eficiencia del sistema. Aunque cabe señalar que, en el caso del seguimiento de la evolución de este parámetro en un abastecimiento concreto que mantiene las mismas condiciones de suministro a lo largo del tiempo, el uso del indicador sería eficaz. Excepto en el caso anterior y dadas las razones introducidas, parecería más objetivo utilizar el indicador de ANR (m^3 / km. día o m^3 / acometida. día). Sin embargo, el uso de porcentajes relacionados con el rendimiento para comparar niveles de agua no facturada continúa siendo común a pesar de sus deficiencias, debido, entre otras causas, a la dificultad de recopilación de información vinculada al funcionamiento y estado técnico del sistema.

Según la citada encuesta de la AEAS, el tamaño de la población es uno de los factores que caracteriza los niveles de ANR. El valor de ANR tiende a aumentar en las poblaciones pequeñas respecto a aquellas poblaciones de más de 100.000 habitantes y en las áreas metropolitanas, de modo que en estas últimas se llega a alcanzar una reducción de más del 40% de valor relativo de las primeras.

En la siguiente figura (figura 7), se observa la evolución histórica de este indicador en España y se muestra una paulatina reducción a lo largo del

tiempo, consecuencia, sin duda, de la importancia de este parámetro como elemento de seguimiento y decisión dentro de las operadoras.

Figura 7. Evolución del coeficiente de ANR.



Fuente: AEAS

En cualquier caso, y para un análisis global de la eficiencia de una red, la mayoría de asociaciones u organismos (AEAS, IWA y AWWA, entre otros) recomiendan el uso de una combinación de indicadores de gestión: rendimiento técnico hidráulico, ANR (m^3/ km. día o m^3/ acometida. día), dotación, indicadores relativos al número de averías, indicadores relativos a la antigüedad del parque de contadores, etc. (Alegre, 2000; 2006).

3.2 Indicadores técnico-económicos

Otros indicadores utilizados y que pueden devenir fundamentales para evaluar la eficacia y el impacto de las actividades de reducción de ANR son aquellos en los que se contempla un balance entre costes y beneficios esperados. Estos indicadores se apoyan en el ámbito económico de operación como lugar común en muchos sectores industriales.

Así, el concepto de nivel **económico de pérdidas**, o **ELL** (*economic level of leakage*), está basado en el planteamiento de que todas y cada una de las inversiones vinculadas a las actividades dirigidas a la reducción de ANR sigue una tendencia a disminuir el retorno del efecto producido. A mayor nivel de recursos empleado, se obtiene un beneficio marginal menor. Esto supone una reorientación de la metodología aplicada en la que cada actividad llevada a cabo es analizada de forma similar para comparar su coste marginal con el de otras actividades interrelacionadas, teniendo en cuenta el coste marginal de la producción del agua en la zona de abastecimiento. No obstante, es necesario reconocer que hay discrepancias o falta de un común acuerdo sobre la manera de determinarlo.

Este enfoque puede ser aplicado para las cuatro actividades primarias que tienen impacto en la gestión del control de ANR: gestión de la presión,

control activo de pérdidas (ACL, *active leakage control*), calidad y velocidad en la reparación de la red y mejora de las infraestructuras (Thorton, J.; Sturn, R.; Kunkel, G., 2008).

Así, en la figura 8 se representa la curva del control activo de búsqueda de fugas, en la que se relaciona el coste económico de estas actividades con la mejora en el grado de pérdidas, y uno de cuyos puntos es el anteriormente citado, el ELL.

De esta forma, y para la correcta interpretación del gráfico, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

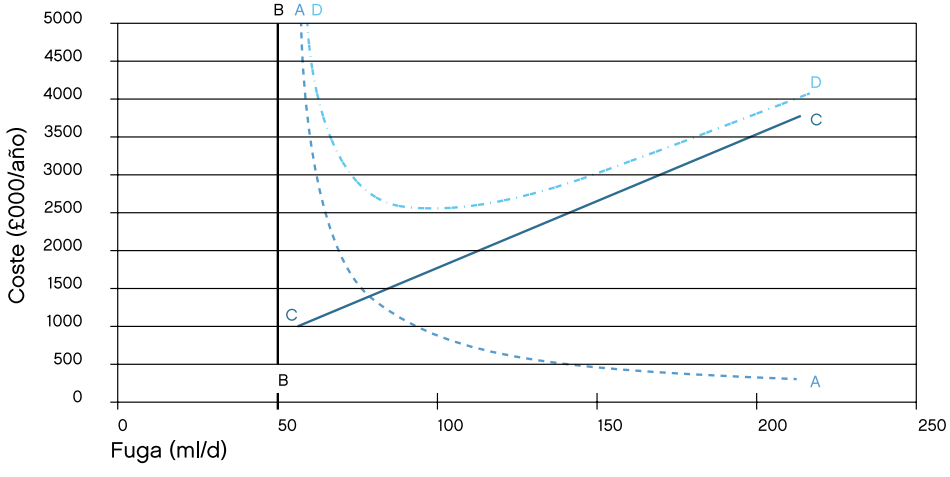
Curva AA: relación entre el coste anual que suponen las actividades de detección de fugas (ordenadas) y el nivel medio de pérdidas de agua en ese periodo (abscisas).

Curva BB: equivalente al nivel límite de pérdidas remanente (no detectable, error de equipos de medida, etc.) producto de infinitas actividades llevadas a cabo para la búsqueda de pérdida. Como vemos, señala el límite de ANR que, desde el punto de vista técnico, será casi imposible de disminuir.

Curva CC: el coste de producción de agua, que es creciente.

Curva DD: el coste de operación, es decir, los costes de control de fugas más el coste de producción del agua.

Figura 8. Curva de control activo de fugas (ACL).



Fuente: Thorton, J.; Sturn, R.; Kunkel, G., 2008

Así, dadas las curvas de coste de operación que se derivan de las curvas de costes de control de fugas más los costes de producción de agua, el punto mínimo de esta función nos señala el coste mínimo para alcanzar un nivel dado de pérdidas. A partir de este punto, si se desea disminuir pérdidas, el coste será mayor.

Adicionalmente, se establece el valor **SELL** (*sustainable economic level of leakage*) como el nivel de pérdidas en el que el coste de incrementar las acciones de búsqueda asociadas a la reducción de fugas sería mayor que el coste de producir el agua por otra fuente. Pero a diferencia del concepto de ELL, que solo tiene en cuenta los aspectos económicos del ANR, el cálculo del SELL debe incluir todos los costes y beneficios asociados a los diferentes ámbitos afectados por la eficiencia en el control de recursos, incluyendo los costes y beneficios medioambientales y sociales.

Últimamente se ha discutido mucho sobre el enfoque y la metodología que deben seguirse para que el cálculo correcto de este indicador sea representativo. Desde la Ofwat (ente regulador para la industria del agua en Inglaterra y Gales) se han formulado algunas recomendaciones, apoyadas en el estudio de los distintos enfoques y resultados realizados por parte de un amplio espectro de industrias británicas para la obtención de dicho indicador. Asimismo, se reconoce la dificultad del cálculo de la totalidad de los costes (no solo económicos sino con las externalidades que se generan) debido a que pueden llegar a ser excesivamente específicos según las diferentes áreas. De ahí que la Ofwat proponga lo siguiente:

- El cálculo del SELL deberá estar totalmente imbricado en el plan de gestión integral del ciclo del agua de la empresa. Este cálculo debe contemplar el análisis de la planificación de costes y considerar el agua no registrada como parte de un plan a largo plazo y no como un problema de resolución a corto plazo.

- Las agencias medioambientales deberían desarrollar en los ámbitos de actuación estimados el cálculo de los beneficios medioambientales derivados de las reducciones de fugas.

- Las compañías deberían desarrollar las externalidades derivadas de la gestión de fugas en lo que respecta a los costes derivados del consumo eléctrico, teniendo en cuenta datos específicos de la propia compañía.

El grado en que otras actividades desarrolladas en el marco de la gestión del sistema de abastecimiento —como, por ejemplo, la gestión de la presión— pueden contribuir a la reducción del gasto económico relacionado

con las fugas, parece, sin embargo —en algunos casos—, no haberse tenido en cuenta tradicionalmente.

Los futuros estudios de coste-beneficio, por ejemplo, aplicados a la gestión de la presión deberían enfocarse desde una perspectiva holística de los costes-beneficios en el horizonte de planificación; y las políticas para la gestión de la presión deberían estar equilibrados con la actividad desarrollada para un control activo de fugas en el cálculo del SELL (Ofwat, octubre del 2012).

Tal y como se ha podido comprobar, en ambos casos el objetivo de los indicadores (técnicos y económicos) no es otro que el de cuantificar e ilustrar aquellas situaciones o puntos de equilibrio técnico y económico (según la naturaleza del indicador), en los que el volumen de reducción del agua no registrada se encuentra acotado por un valor técnicamente asumible y no es ilimitado.

Se hace patente, por ejemplo, que el valor económico de la reducción no es lineal respecto a la inversión necesaria. Y, por lo tanto, parece conveniente encontrar un punto de equilibrio en el que se vean reflejados ya no solo los costes estrictamente económicos, sino todos aquellos que la comunidad esté dispuesta a incluir en los sistemas de recuperación de estos (sociales, ambientales, etc.).

4. SOLUCIONES Y TECNOLOGÍAS PARA REDUCIR EL ANR

En este apartado se introducirán distintas soluciones y tecnologías que permiten actuar sobre el ANR, dado que una gestión eficiente del ANR aporta beneficios económicos, ambientales, sociosanitarios y tecnológicos (figura 9).

Figura 9. Beneficios de la gestión eficiente del ANR.

Beneficios económicos	Beneficios ambientales	Beneficios sociales y de salud	Beneficios tecnológicos
• Cubrir la demanda de agua con menos recursos y menor mantenimiento. • Reducción de la dependencia de los fondos públicos. • Distribución mas equitativa del coste.	• Preservación de los recursos hídricos. • Menor riesgo de contaminación.	• Asegurar el suministro del agua. • Mejorar la calidad del servicio. • Generación de empleos.	• Mayor y mejor conocimiento del sistema. • Uso de nuevas soluciones tecnológicas.

Fuente: elaboración propia

Considerando estos beneficios, la reducción del volumen de ANR debería convertirse en una de las prioridades de cualquier sistema de abastecimiento. Una gestión optimizada del ANR permite mejorar la eficiencia técnica, económica y medioambiental, así como mejorar el servicio a los clientes.

Esta prioridad podría materializarse a partir del diseño y puesta en marcha de un plan de gestión del ANR. Entre las razones que lo justifican podemos destacar las siguientes:

• *Mejora de los costes operativos*. Una red vigilada y mantenida correctamente se adelanta a la detección de incidencias, disminuye costes en reparaciones y reduce los costes de compra o producción de agua.

• *Mejora de los costes de activos*. La carencia de mantenimiento y las intermitencias en el suministro incrementan el desgaste de tuberías, válvulas y resto de accesorios. La vigilancia activa de una red y la consecuente detección temprana de fugas mejora el suministro e incrementa la vida útil de la red, con lo que se logra una reducción de los gastos fijos e inversiones de la explotación.

• *Mejora de la medición de volúmenes consumidos* y aumento de la *facturación*. Un plan de acción de ANR incluye toda la gestión del parque de contadores en todo el ciclo del agua (producción en plantas potabilizadoras, compra, distribución y facturación). Asegurar la correcta medición de todos los volúmenes distribuidos permitirá mejorar técnicamente la red de distribución, y asegurar la correcta medición de los volúmenes consumidos por los clientes mejorará la eficiencia económica y la calidad del servicio ofrecido a estos.

• *Reducción de riesgos para la salud*. La reparación de cualquier fuga provoca normalmente cortes en el suministro o bajadas de presión que constituyen puntos críticos de la red y facilitan la entrada de agentes patógenos, lo que conlleva un riesgo de pérdida de calidad de agua potable.

• *Incremento de la garantía en la continuidad del suministro*.

• *Menores daños estructurale*s. La implantación de un sistema de vigilancia de los volúmenes producidos y distribuidos por la red y sectores hidráulicos implica la disminución del agua perdida por fugas invisibles, que en un momento dado se puede filtrar al subsuelo y dañar cualquier infraestructura.

• *Posibilidad de reducir el agua infiltrada en la red de saneamiento*, lo que permitiría ahorrar en gastos derivados del transporte, bombeos, etc.

Cabe señalar que la implantación y seguimiento de un plan de reducción del ANR requiere una correcta estructura organizativa que asegure el cumplimiento de las actuaciones. Entre sus funciones principales destacan las siguientes:

- Definir la estrategia global y controlar los tiempos de implantación de cada una de las actuaciones.
- Definir los indicadores de seguimiento.
- Identificar a los miembros de los equipos de trabajo.
- Asegurar la continuidad del proyecto y asegurar los medios internos de la explotación para llevar a cabo las actuaciones.
- Validar los datos de seguimiento internos.
- Movilizar a los expertos internos o externos.
- Dirigir los cambios oportunos dentro de la organización.
- Informar a la dirección de los hitos conseguidos.

Las compañías de agua deberían identificar los componentes del ANR sobre los que debe actuarse, dada la oferta de soluciones y tecnologías para obtener los máximos beneficios y acortar los periodos de retorno de las inversiones. Por lo tanto, es importante determinar y comparar los componentes del ANR, no solo en términos volumétricos, sino también en términos económicos. No siempre la pérdida volumétrica mayor se corresponde con la pérdida económica mayor, ya que esto depende del precio del metro cúbico de agua distribuida y facturada.

En este sentido, se debe contemplar, siguiendo la metodología de la **reunión de grupo** (*focus group*), la voluntad del cliente relacionada con el pago de determinados costes no estrictamente económicos que van asociados a un uso eficiente del agua (voluntad a la que afectarían aspectos socioeconómicos, culturales, medioambientales, climatológicos, etc.).

La aplicación de las reuniones de grupo se articula mediante la elaboración de cuestionarios y entrevistas planteados directamente a los grupos de consumidores. A través de estas reuniones se obtiene información directa sobre, por ejemplo y en este caso, las cuestiones relativas al agua no registradas, fraudes, sensibilidad sobre las prácticas vinculadas al control

de ANR y su impacto sobre los clientes. Asimismo, permiten obtener referencias sobre la predisposición que el consumidor puede llegar a tener en relación con la asunción de costes derivados de las anteriores prácticas, entre otras posibles.

Parece necesario explorar el margen que el consumidor o cliente está dispuesto a pagar por incorporar otros costes en la tarifa más allá de los estrictamente económicos, siguiendo sus compromisos sociales, medioambientales o de otra naturaleza.

CASO DE ESTUDIO: BRISTOL WATER

En Bristol Water, compañía responsable del abastecimiento de agua de la ciudad de Bristol (Reino Unido), se ha trabajado directamente con la metodología de **reuniones de grupo**, básicamente con dos objetivos:

1) Examinar nuevas iniciativas que pueden tener a corto y medio plazo un gran impacto sobre los clientes (desde el diseño de la web hasta su posición sobre el ANR, por ejemplo). Esto ha permitido tomar decisiones en estos ámbitos acordes con los intereses de los clientes. De este modo, la opinión de los clientes se tiene en cuenta a partir de la posibilidad de manifestar realmente lo que desean y no teniendo en cuenta únicamente los intereses de la compañía.

2) Utilizar estos grupos como preparación de las encuestas que la compañía realiza acerca de los planes de negocio, que tienen un horizonte de cinco años. Las reuniones de grupo permiten definir el tipo de encuesta que se va a realizar, las preguntas que se van a formular, la información que se va a proporcionar a los encuestados, etc.

Bristol Water ha desarrollado diferentes reuniones de grupo atendiendo a las diferentes áreas de interés de los clientes.

También es importante insistir en que, en explotaciones donde no se haya implantado ninguna actuación para la reducción de pérdidas aparentes, la recuperación de estos volúmenes no registrados es posible a un coste relativamente bajo y el retorno de esta inversión será rápido y permitirá seguir implantando medidas de control a medio y largo plazo.

Algunas de las soluciones y tecnologías existentes para su implantación respecto a cada tipo de problemática relacionada con cada componente del ANR son las siguientes (figura 10):

Figura 10. Problemáticas del ANR: medidas correctoras.

Problemática	SOLUCIONES Y TECNOLOGÍAS
Consumo autorizado no registrado	• Reducir el consumo propio de la empresa suministradora o consumos municipales no registrados. • Controlar y reducir el número de clientes no registrados. • Promover campañas de instalación de contadores a clientes no registrados cuando sea posible.
Pérdidas reales: fugas visibles e invisibles	• Sectorizar la red de distribución. • Regular presiones. • Implantar sistemas de vigilancia de la red de distribución mediante caudal mínimo; prelocalización. • Control de caudales distribuidos por sectores. Mantenimiento y revisión de puntos singulares de la red en alta. • Búsqueda de fugas en conducciones de transporte y distribución. Establecer un plan de inspección de la red. • Establecer un programa sistemático de renovación de la red cuyo estado y rendimiento sea deficiente. • Reducir el tiempo de reparación mediante: • monitorización en continuo de la red (telemando); • mejora del control activo de fugas; • mejora del tiempo de ejecución y la calidad de las reparaciones.
Consumos no autorizados	• Llevar a cabo inspecciones para detectar conexiones ilegales y manipulaciones de los equipos de medición. • Detectar el mal uso de hidrantes contra incendios y otras formas de consumo ilegales. • Utilizar estructuras y dispositivos de prepago. • Campañas de comunicación antifraude.
Errores de medición	• Establecer planes de calibración de los equipos de medición del agua de entrada en el sistema (caudalímetros) • Establecer o mejorar un programa de renovación, instalación y mantenimiento de los equipos de medición. • Instalar equipos de reducción de subcontaje. • Mejorar la calidad de las instalaciones interiores con objeto de evitar fugas interiores. • Campañas de búsqueda de fugas con revisión de la instalación del contador en la acometida.
Errores de lectura	• Analizar los registros de facturación con los patrones de consumo habituales y la ausencia de lectura. • Revisión de consumos sospechosos cambiando el contador manual por otro electrónico o de mayor precisión. • Revisión de clientes con imposibilidad de toma de lectura (contadores inaccesibles o interiores).
Gestión de datos erróneos	• Realizar un análisis del proceso de facturación. • Introducir el uso de sistemas de facturación informatizados. • Llevar un histórico de lecturas a la hora de leer cada contador. • Mejorar la gestión de la póliza o cuenta del cliente. • Recopilar datos demográficos de los clientes y establecer patrones de consumo que nos ayuden en la búsqueda de anomalías.

Fuente: elaboración propia

A modo de ejemplo, a continuación se muestra una tabla (figura 11) en la que se pueden apreciar los distintos niveles de gestión del ANR relacionados con las posibles tecnologías o soluciones aplicables. El nivel de eficiencia en la gestión del ANR está directamente vinculado a las tecnologías y soluciones desplegadas en el sistema de abastecimiento, así como a su nivel de especificación técnica y tecnológica.

De esta forma, un nivel básico en el nivel de eficiencia supondría al menos la aplicación de tecnologías GIS y sistemas de telemando, en conjunción con un control de fraudes con la utilización de dispositivos de búsqueda de fugas. Sin embargo, un nivel óptimo implicaría tanto el uso de modelos para la renovación de tuberías y contadores como el uso de aplicaciones avanzadas para la gestión del caudal en tiempo real.

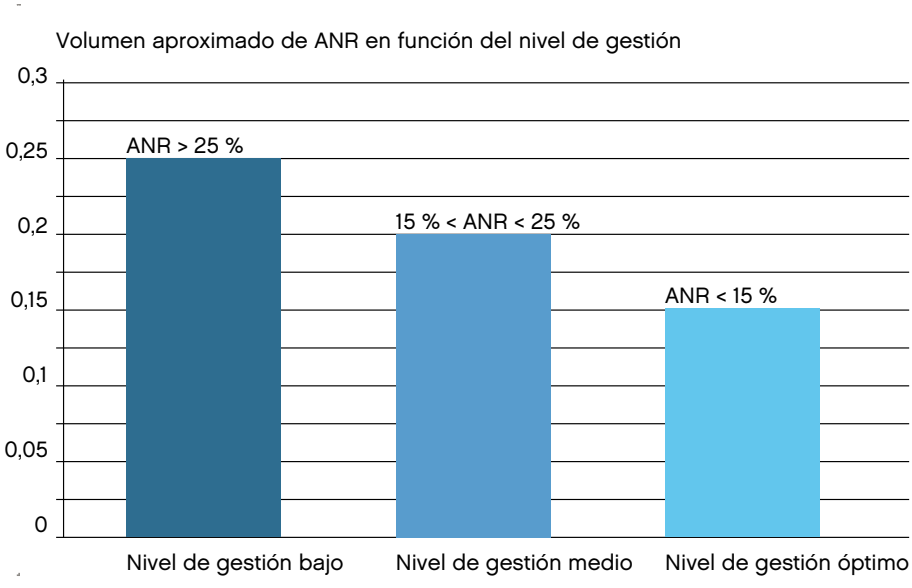
Figura 11. Tabla comparativa de soluciones y tecnologías con el nivel de eficiencia en la gestión.

	NIVEL DE EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DEL ANR		
	ÓPTIMO	**MEDIO**	**BAJO**
Implantación de sistemas de información geográfica	X	X	X
Implantación de un sistema de telemando	X	X	X
Control de fraudes	X	X	X
Disponer de equipos de búsqueda de fugas	X	X	X
Sectorización de la red	X	X	
Renovación del parque de contadores por antigüedad	X	X	
Regulación de presiones	X	X	
Implantación de planes de acción, según el estado de la red	X	X	
Renovación del parque de contadores mediante modelos de renovación	X		
Renovación de la red mediante modelos de renovación	X		
Redefinición de los procesos comerciales	X		
Control activo de fugas en la red	X		
Aplicaciones de gestión de caudal mínimo de la red en tiempo real	X		

Fuente: elaboración propia

De forma representativa, a continuación (figura 12) se puede apreciar, en función del nivel de gestión realizado, un descenso de los niveles de ANR desde valores considerados como elevados (superiores al 25 %) hasta valores propios de una gestión optimizada (inferiores al 15%).

Figura 12. Tabla comparativa de volumen de ANR.



Fuente: elaboración propia

No debemos olvidar que no todas las medidas especificadas en las tablas anteriores son apropiadas para todos los abastecimientos. El cálculo detallado del balance de agua y la determinación del volumen potencial de agua que debe recuperarse, tanto de pérdidas reales como de aparentes, así como los costes asociados a esta recuperación de agua son factores decisivos para determinar el plan de reducción del ANR que deba aplicarse. De este modo, la aplicación y utilización de las mejores tecnologías disponibles ha permitido la excelencia en cuanto a la reducción del Agua No Registrada se refiere.

CASO DE ESTUDIO: USO DE SENSORES DE PRESIÓN PARA DETECCIÓN DE FUGAS

El marco de colaboración entre la Universidad Politécnica de Cataluña, CETaqua, Aqualogy y la SGAB ha permitido desarrollar una metodología de detección y localización de fugas basada en el uso de sensores de presión. La metodología se aplica a redes sectorizadas y permite utilizar eficientemente información proporcionada por la telemetría a fin de disminuir significativamente el tiempo necesario para detectar y localizar fugas. De este modo, permite minimizar el agua no registrada.

La técnica se basa en el uso de un modelo hidráulico detallado del sector en cuestión y en una cuidadosa localización de un número limitado de sensores de presión. A través del análisis de la información en tiempo real de los caudalímetros de entrada al sector, de los sensores de presión y de la simulación de una fuga en cada uno de los nodos del sector, se hallan los patrones de respuesta del conjunto de sensores a las distintas localizaciones de fuga simuladas. El método de localización utiliza la comparación de las medidas realmente observadas en los sensores de presión con aquellos patrones simulados, a través de métodos basados en la correlación. Una alta correlación con el patrón de fuga de una localización determinada indica una probabilidad alta de localizar una fuga en este nodo.

La metodología debe trabajar con incertidumbres asociadas a la estimación de la demanda, a la calibración de parámetros del modelo hidráulico y a la precisión de los sensores. Por ello, la localización de las fugas se obtiene en un radio determinado dependiendo del tamaño de la fuga. En Barcelona, se ha realizado una prueba piloto en el sector de Icària que ha permitido detectar con éxito varias fugas reales de entre 2 y 6 l/s en tiempos significativamente mejores que con los métodos tradicionales (Quevedo, 2011).

En función del diagnóstico del ANR, de los volúmenes de pérdidas reales y aparentes y de los precios de compra y venta de agua se priorizarán las acciones que deban desarrollarse.

Es importante destacar que el coste económico de las pérdidas aparentes es más alto que el de las pérdidas reales, ya que estas primeras no generan facturación para la explotación a pesar de que el agua se haya tratado, almacenado, distribuido e incluso consumido por el cliente. Es decir, el coste de un metro cúbico de pérdida aparente es el coste del precio de venta de un metro cúbico al cliente y, por lo tanto, es el tipo de pérdida más cara y, consecuentemente, más rentable de recuperar.

Pese a todo, y a la vista de lo expuesto en el capítulo, tanto el desarrollo del plan de reducción del ANR, como la aplicación de dinámicas avanzadas (reuniones de grupo), así como la disponibilidad de un preciso y eficaz catálogo de soluciones tecnológicas, conducen a la necesidad de su integración en el marco de la reducción del agua no registrada atendiendo al punto de compromiso que el cliente es capaz de asumir y del umbral técnico limitante, ya mencionado anteriormente.

5. CONCLUSIONES

Los últimos datos disponibles del INE (2008) cuantifican que el total de agua servida para uso agrícola, industrial y apta para consumo ascendía a 32.265 millones de metros cúbicos (19.560, 6.940 y 5.765 millones de metros cúbicos respectivamente). Tal como hemos señalado al inicio de este documento y según el propio INE (2010), anualmente dejan de registrarse en los sistemas de distribución de las poblaciones españolas poco más del 3,5 % de los metros cúbicos TOTALES servidos.

¿Es posible disminuir esta cantidad? ¿Qué coste debe soportar la comunidad o el ciudadano para lograr una reducción técnica y económicamente compatible con el retorno de los beneficios esperados?

La respuesta a la primera pregunta sería sencilla y afirmativa para aquellas redes en las que el recorrido de mejora, tanto en términos volumétricos como económicos, es largo y por lo tanto, fácilmente amortizable. El uso y aplicación de soluciones y, tecnologías avanzadas permite una gestión eficiente de la red y, por lo tanto, la consiguiente reducción de los volúmenes de ANR. Sin embargo, la respuesta a la segunda pregunta ya no es tan evidente, pues como hemos señalado, la reducción del agua no registrada se encuentra limitada por un valor técnicamente asumible. El valor económico de la reducción no es lineal respecto a la inversión necesaria, de ahí que el punto de equilibrio podría depender también de la disposición a asumir, por parte del consumidor o ciudadano, otros costes de tipo social o medioambiental.

Efectivamente, el equilibrio técnico y económico entre las actividades llevadas a cabo para la reducción del ANR y el coste que estas le suponen a la sociedad tiende a encontrar un punto de compromiso a partir del cual el beneficio esperado será menor que el coste económico de las acciones que deben llevarse a cabo para obtenerlo. De ahí que deba contemplar un horizonte a largo plazo e integrado en el marco de todas aquellas actividades y ámbitos que tienen un impacto en el ANR, tales como aspectos socioeconómicos o medioambientales.

Por esta razón, las empresas gestoras de las redes de agua deberían incorporar como una de sus premisas la optimización del recurso agua. Para ello deben capacitarse técnica y tecnológicamente, incorporar las soluciones que garanticen el servicio y lograr la máxima excelencia en la gestión de costes y del recurso y, por supuesto, en la satisfacción del cliente, aunque se deba considerar en todo momento el punto de equilibrio citado en el párrafo anterior. Sin embargo, este desarrollo y despliegue tecnológico encuentra un valor máximo en el volumen de ANR que potencialmente

puede llegar a reducirse. Este valor se debe a las limitaciones intrínsecas de la tecnología técnicamente disponible (como por ejemplo, la limitación debida a la precisión de los equipos de medición).

En el ajuste y reducción del ANR en sistemas de abastecimiento de agua potable, no debe olvidarse que su impacto sobre el total del agua suministrada se encuentra limitado, dada su menor proporción en la distribución de volúmenes por usos, en un valor relativamente bajo en comparación con el volumen suministrado para otras actividades o sectores productivos (especialmente agrícola e industrial). En estos, desafortunadamente, no se han desarrollado, por el momento, medidas ni especificaciones del control del ANR tan exhaustivas como las que, por otra parte, sí se han llevado a cabo para el agua apta para consumo, con el consiguiente margen de mejora de la eficiencia pendiente en los sectores anteriormente mencionados. Esta asimetría destaca con una visión global tanto en la gestión del recurso como en la gestión de sus usos.

Finalmente, parece necesario explorar el margen que el consumidor o cliente estaría dispuesto a pagar por incorporar otros costes en la tarifa más allá de los estrictamente económicos siguiendo sus compromisos sociales, medioambientales o de otra naturaleza. En este sentido, como se ha visto, técnicas como la de las reuniones de grupo pueden ser valiosas herramientas para incorporar y considerar la predisposición del consumidor en relación con este aspecto. ¿Están los clientes o ciudadanos dispuestos a asumir los costes para mejorar el nivel de agua no registrada atendiendo a criterios no solamente económicos sino también sociales y medioambientales?

REFERENCIAS

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

• ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M. *et al. Performance Indicators for Water Supply Services. Manual of Best Practice*. IWA Publishing, 2000.

• ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA Jr E. *et al. Performance Indicators for Water Supply Services* [2.ª ed.]. *Manual of Best Practice*. IWA Publishing, 2006.

• AQUALOGY. *Proyecto +Water. Solución para la gestión de ANR*. Madrid, 2011.

• AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). *Water Audits and Loss Control Programs* [3.ª ed.]. *Manual of Water Supply Practices M36*. Denver, Colo., 2009.

• ARMON, A.; GUTNER, S.; ROSENBERG, A.; SCOLNICOV, H. *Algorithmic network monitoring for a modern water utility: a case study in Jerusalem*. IWA Publishing 2011 Water Science & Technology 9 63.2 9, 2011.

• ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA y SANEAMIENTO (AEAS). XII *Encuesta sobre el suministro de agua potable y saneamiento en España 2010*. Madrid, 2010.

• AWWA. *Manual of Water Supply Practices, Water Meters-Selection, Installation, Testing, and Maintenance (M6)* [4.ª ed.]. Denver, Colo., 1999.

• CABRERA, E. *Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas.* 2004

• CETAQUA. *Herramienta de diagnóstico y recomendaciones para reducir el agua no registrada*. Barcelona, 2009.

• CUBILLO, F. «Uso y gestión eficiente del agua en abastecimientos urbanos», *Revista de Obras Públicas*, año 148 (3.414), pp. 126-137, 2001.

• FANNER, V. P.; THORNTON, J.; LIEMBERGER, R. *et al. Evaluating Water Loss and Planning Loss Reduction Strategies*. Denver, Colo., AwwaRF y AWWA, 2007.

• FANNER, V. P.; STURM, R.; THORNTON, J. *et al. Leakage Management Technologies*. Denver, Colo., AwwaRF y AWWA, 2007.

• FARLEY, M.; TROW, S. *Losses in Water Distribution Networks. A practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. Londres, IWA Publishing, 2003.

• JUNTA de ANDALUCÍA. *Agenda del Regadío Andaluz, Horizonte 2015, 2011*

.• KINGDOM, B.; LIEMBERGER R.; P. MARIN. *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*. The World Bank, 2006.

• KUNKEL, G. *et al. Applying Worldwide Best Management Practices in Water Loss Control. Water Loss Control Committee Report*. Journal AWWA. 95(8):65, 2003

• LAMBERT, A.; MYERS, S.; TROW, S. *Managing Water Leakage: Economic and Technical Issues*. Financial Times Energy, 1998.

• LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; MAÑAS, F.; LÓPEZ-FUSTER, P.; FERERES, E. 2012. Agricultural Water Management, 112:13-20.

• MORENO, T.; IBÁÑEZ, J. C.; CUBILLO, F. *Los usos finales del agua como base para la caracterización y predicción de la demanda en la Comunidad de Madrid*. Canal de Isabel II, 2006.

• OCA, J. *El regadiu a Catalunya. Nota d'economia* núm. 93-94, pp. 53-65, 2009.

• PÉREZ, R.; PUIG, V.; PASCUAL, J.; QuEVEDO, J.; LANDEROS, E.; PERALTA, A. *Methodology for leakage isolation using pressure sensitivity analysis in water distribution networks*, Control Engineering Practice 19, 1157–1167 2011.

• *Pla de Regadius de Catalunya 2008-2020* [texto refundido], febrero del 2012 (http://gencat.cat/agricultura/regadius/pla__regadius__2008__2020__text__refos__clau__e1__vr__07943.pdf)

• QUEVEDO, J.; PUIG, V.; CEMBRANO, G.; BLANCH, J.; AGUILAR, J.; SAPORTA, D.; BENITO, G.; HEDO, M.; MOLINA, A. *Validation and reconstruction of flowmeter data in the Barcelona water distribution network*, Control Engineering Practice 18, pp. 640-651, 2010.

• QUEVEDO, J.; CUGUERÓ, M.; PÉREZ, R.; NEJJARI, F.; PUIG, V.; MiRATS, J. *Leakage location in water distribution networks based on correlation measurement of pressure sensors*. IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment, 2011.

• THORTON, J.; STURN, R.; KUNKEL, G. *Water Loss Control*. Londres, 2008.

• RIZZO, A. *Tactical planning for effective leakage control. Leakage Management: A practical Approach Conference by IWA*. Limasol, IWA, 2002.

WEBS

• http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/main_tables
• http://www.ofwat.gov.uk/sustainability/waterresources/leakage/
• http://en.wikipedia.org/wiki/Non-revenue_water
• www.aqualogy.net
• www.agbar.es
• www.siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/
• www.aeas.es
• www.awwa.com
• www.iwa.com
• www.ofwat.gov.uk
• www.ib-net.org

AUTORES

MANEL ÁLVAREZ PAZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Máster en Water Management por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Actualmente está cursando un MBA en ESADE Business School. Manel inició su trayectoria profesional como jefe de Producción en el sector de la obra civil. Posteriormente, se incorporó a Agbar en 2009 como responsable de proyectos en la Dirección de Operaciones. Su carrera profesional en la compañía se ha desarrollado también en las áreas de Gestión del Conocimiento e Ingenierías. Actualmente es responsable de Producto en Aqualogy, donde se encarga de liderar el desarrollo y la implantación de soluciones globales para la optimización y la eficiencia en la gestión de activos.

ENRIQUE CASTELLVÍ ARASA

Ingeniero Superior Industrial por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Está vinculado al Grupo Agbar desde el año 1986. A lo largo de su carrera, ha sido director técnico de Aguas de La Laguna y director regional de Levante. En Aguas de Barcelona ha ocupado cargos de responsabilidad en los ámbitos de Producción, Distribución, Clientes y Redes.
En la actualidad es director de Planificación de Aguas de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestión del Ciclo Integral del Agua, S.A.

MARÍA MONZÓ LLOPIS

Ingeniera Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia e Ingeniera Química Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena. Se incorporó a Agbar en el año 2000, en el ámbito de la gestión técnica de Aguas de Murcia y posteriormente, de Aguas de Barcelona. También fue directora gerente de Sermubeniel y actualmente coordina el Plan de excelencia de Aguas Andinas e impulsa la implantación de la gestión del conocimiento en dicha empresa.

CRISTINA VERDÚ SANDOVAL

Ingeniera Química Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia. Ha realizado el Curso de Alta Dirección Empresarial de la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Se incorporó a Agbar en el año 2001. Ha desarrollado su carrera profesional en el grupo dentro de la empresa Aguas de Murcia como responsable del control del agua no registrada. Actualmente es la responsable del subdominio Aguas No Registradas (ANR) dentro del dominio Redes de Abastecimiento.

AQUAE FUNDACIÓN

www.fundaciónaquae.org

NOTAS