

# SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO  
M<sup>a</sup> INMACULADA LÓPEZ ORTIZ  
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL



# SEGURIDAD HÍDRICA



© los autores, 2023  
© de esta edición: Universitat d'Alacant  
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

# TABLA DE CONTENIDO

## BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

<b>Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura</b> José Navarro Pedreño.....	19
<b>Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica</b> Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa .....	39
<b>Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios</b> Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
<b>La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales</b> Alberto del Villar García.....	73
<b>La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío</b> Francisco Javier Alcántara Pérez .....	93
<b>Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato</b> Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
<b>Resignificando la ciudad como biotopo humano</b> Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez .....	117
<b>Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil</b> Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza .....	133
<b>Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés</b> Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino .....	141
<b>Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España</b> Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo .....	151
<b>Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador</b> Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
<b>Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador)</b> Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
<b>El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico</b> Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

**¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?**

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad .....197

**Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040**

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá .....207

**El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)**

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez ..... 219

**BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS**

**Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del segura. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades**

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez .....231

**Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España**

Luis Garrote de Marcos ..... 249

**Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas**

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo ..... 269

**Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas**

Luis Altarejos García ..... 295

**La seguridad de las infraestructuras hidráulicas**

Francisco Javier Flores Montoya .....315

**La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética**

Francisco Javier Flores Montoya .....325

**La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad**

Ignacio Lozano Colmenarejo .....345

**BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife**

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí .....363

**El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica**

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís .....381

**El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas**

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso ..... 399

**El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías**

Jaime Berenguer Ponsoda .....409

**Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad**

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucía Arnau Muñoz .....439

**La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado**

Rosa Rozas Torrente, M<sup>a</sup> José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaume .....451

<b>Microsectorización dinámica redes de distribución de agua</b> Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
<b>Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones</b> Leonardo Bayas-Jiménez .....	477
<b>Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos</b> Izaias de Souza Silva.....	487

### **BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA**

<b>La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura</b> Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
<b>El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas</b> Estanislao Arana García .....	511
<b>Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos</b> Jesús Conde Antequera .....	529
<b>La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social</b> José Esteve Pardo.....	549
<b>Huella hídrica y financiación sostenible</b> Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
<b>¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica</b> Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito .....	577
<b>Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua</b> Nazaret M <sup>a</sup> Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
<b>Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica</b> José Antonio Blanco Moa .....	613
<b>SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua</b> Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
<b>Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública</b> Esteban Arimany Lamoglia .....	643
<b>Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla</b> Patricia Fernández Aracil, M <sup>a</sup> Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
<b>La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?</b> Carlos Martín Cantarino.....	677

<b>La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica</b>	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo .....	695
<b>Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica</b>	
Francisco José Abellán Contreras .....	709
<b>Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica</b>	
Paul Villegas Vega .....	723
<b>Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante</b>	
Ricardo Abad Coloma .....	735
<b>Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante</b>	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós .....	745
<b>Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia</b>	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín .....	759
<b>O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais</b>	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho .....	773
<b>Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais</b>	
André Luiz Anrain Trentini .....	783
<b>Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições</b>	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini .....	795
<b>Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade</b>	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa .....	805
<b>O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil</b>	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli .....	815
<b>Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha</b>	
Leandro Katscharowski Aguiar .....	827
<b>Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....</b>	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia .....	837
<b>A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil</b>	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates .....	851
<b>Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais</b>	
Vanessa Ramos Casagrande .....	863
<b>A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica</b>	
Anaxágora Alves Machado Rates .....	875
<b>A canção dos oceanos</b>	
Paola Fava Saikoski .....	885

<b>Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental</b>	
Adilor Danieli .....	895
<b>Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo</b>	
Yang Yang.....	907
<b>Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre</b>	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

## **BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS**

<b>Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes</b>	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
<b>Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental</b>	
María Tuesta San Miguel.....	953
<b>Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales</b>	
Daniel Prats Rico.....	959
<b>Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío</b>	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
<b>La desalación y el hidrógeno</b>	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
<b>Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español</b>	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
<b>Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela</b>	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
<b>Modelado cinético del consumo de CO<sub>2</sub> para la cepa Spirulina platensis</b>	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
<b>Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego</b>	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
<b>Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización</b>	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
<b>Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua</b>	
Albert Canut Montalvã, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

<b>Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER</b> Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
<b>Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono</b> Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
<b>Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus</b> Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
<b>Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua</b> Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
<b>Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor</b> Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
<b>Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora</b> Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

# Microsectorización dinámica redes de distribución de agua

**Arturo Albaladejo Ruiz**

Acciona Agua Servicios, S.L.U. e  
Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales  
de la Universidad de Alicante, España  
[arturo.albaladejo.ruiz@acciona.com](mailto:arturo.albaladejo.ruiz@acciona.com)

## RESUMEN

La mejor forma de incrementar la seguridad hídrica es reducir las pérdidas de agua en los sistemas. Para conseguirlo, hay muchas formas, pero en la que más se debe hacer hincapié es en no consumir agua que luego no se aproveche. A lo largo de la historia se han desarrollado multitud de sistemas avanzados y tecnologías punteras para la reducción del ANR (Agua No Registrada), centrándose muchos de ellos en la reducción de las pérdidas reales de agua; pero han olvidado, en ciertas ocasiones, las metodologías tradicionales antiguas, más manuales y que ni si quiera se han intentado integrar con las modernas. Este artículo viene a defender el uso de una metodología antigua y manual, la microsectorización in situ, y a proponer una integración de ésta con las tecnologías actuales basadas en la microsectorización dinámica, que se ha demostrado altamente efectiva cuando complementa al resto de metodologías con sistemas avanzados y tecnologías punteras.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se expuso en el Congreso Nacional del Agua de 2019 en Orihuela sobre Innovación y Sostenibilidad, en la comunicación del presente autor titulada: *Optimización del Agua No Registrada (ANR) en las ciudades inteligentes*:

- “Para poder optimizar el ANR, es imprescindible comenzar con el control y seguimiento del ANR, para lo que es imprescindible realizar una sectorización de la red, o división de la red en Sectores hidráulicos por escalones de presión y con todas las entradas y salidas registradas, a ser posible en continuo”.
- “Optimizar el ANR se puede conseguir con métodos que aumentan el Agua Registrada (AR) y con métodos que reducen el Agua No Registrada, cuyos consumos principales pueden ser registrables o no registrables...”.

<b>Volumen de agua distribuido</b>	<b>Consumo autorizado</b>	<b>Consumo autorizado registrado</b>	Consumo registrado facturado	<b>Agua Regist. AR</b>	
			Consumo registrado no facturado		
	<b>Pérdidas</b>	<b>Consumo autorizado no registrado</b>		Consumo no registrado facturado	<b>Agua No Regist. ANR</b>
				Consumo no registrado no facturado	
		<b>Pérdidas aparentes</b>		Consumo no autorizado	
				Imprecisión equipos de medida	
	Pérdidas en conducciones				
<b>Pérdidas reales</b>		Pérdidas en acometidas			
		Pérdidas en depósitos			
		Pérdidas técnicas mínimas			

Figura 1. Esquema de cálculo del ANR.

- También se detallaba que para disminuir el ANR (Agua No Registrada) se suelen utilizar los siguientes métodos:
  - o Pre-localización acústica.
  - o Correlador acústico multi-punto.
  - o Correlador con 2 ó 3 sensores que registran el ruido
  - o Geófono, con micrófonos y filtros de ruidos.
  - o Gas trazador.
  - o Control de caudales mínimos nocturnos.
  - o Control y regulación horario (o por caudal) de las presiones.
  - o Gestión de activos para planificar en mantenimiento preventivo y la renovación.
  - o Cierre y reparación inmediatos.
  - o Control de humedades y aguas subterráneas.
  - o Otros métodos especiales como:
    - Control en cada pozo de alcantarillado, del caudal del agua.
    - Smart-balls o Nautilus.
    - Sahara.
    - Fibras ópticas paralela a grandes conducciones

- Análisis de las ondas de rarefacción.
- Análisis de imágenes térmicas o electromagnéticas de drones o satélites.

Dentro del exhaustivo listado expuesto, no se incluyeron los sistemas antiguos, ya que muchos de ellos se han ido abandonando, pero algunos otros sí que se siguen utilizando con muy buenos resultados. Este trabajo se realiza para poner en valor con datos que lo justifican, uno de esos sistemas: la microsectorización dinámica.

## 2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DE LA MICROSECTORIZACIÓN DINÁMICA

Uno de los algoritmos más efectivos para la resolución de un problema, es el basado en la ancestral estrategia de “divide y vencerás”, que consiste en dividir un problema complejo en pequeños problemas más sencillos de resolver y, así, con sus soluciones individuales, montar la solución del problema original.

La aplicación de dicho algoritmo para la mejora del ANR (Agua No Registrada) se concreta, primero, en la sectorización o división de la red distribución en Sectores hidráulicos (DMA):

- Por escalones de presión para minimizar la presión de la red del sector sin perder calidad del servicio, reduciendo las pérdidas de agua por:
  - o Menor caudal perdido en cada fuga.
  - o Retraso en la aparición y aumento de tamaño de las fugas.
- Con todas las entradas y salidas registradas, a ser posible en continuo mediante telecontrol.

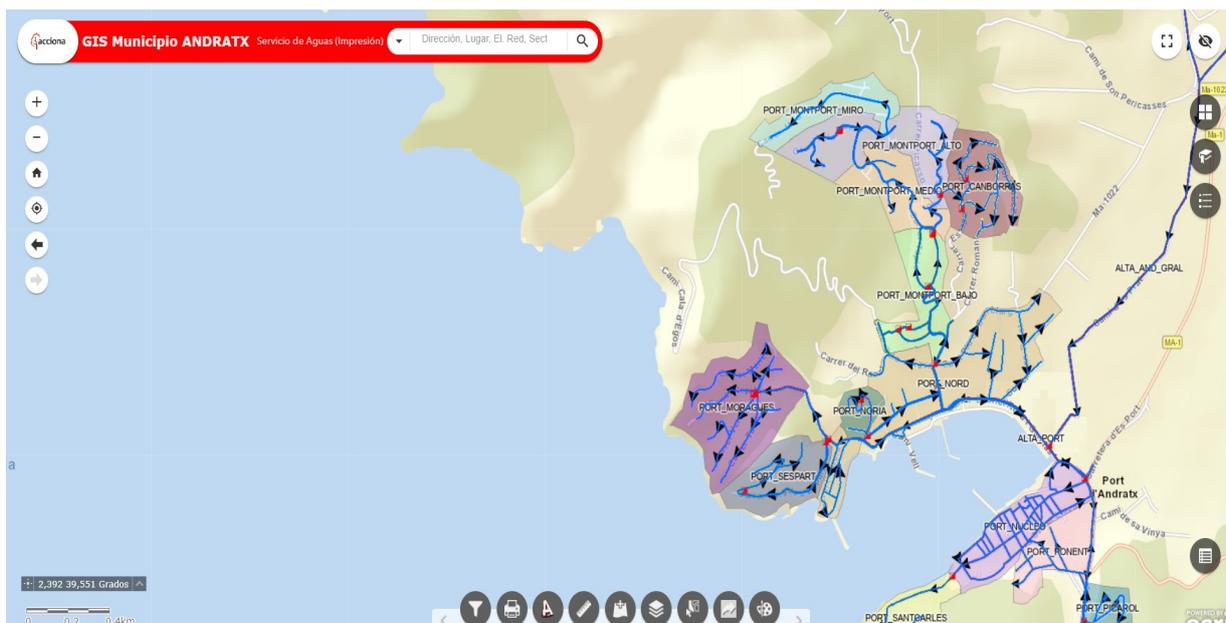


Figura 2. Ejemplo de sectorización de una red de distribución de agua.

Posteriormente, dentro de cada sector, se realizará una microsectorización dinámica, que normalmente será manual, ya sea telecontrolada o in situ, que se utilizará principalmente como complemento del control por mínimos nocturnos.

## 2.1. Sectorización estática

Para diseñar la sectorización de la red hay que tener en cuenta:

- Mantener independientes, siempre que sea posible, las conducciones arteriales de abastecimiento a los sectores.
- Que el nivel de presiones sea homogéneo en los sectores. ( $20\text{mca} \leq P \leq 45\text{mca}$ )
- Minimizar número de entradas y salidas de agua en los sectores, ya que hay que controlarlas todas (a ser posible telecontrolada).
- Minimizar las actuaciones a realizar (nuevas redes, nuevas válvulas de seccionamiento o de regulación, etc.).
- Evitar la aparición de zonas con tiempo de retención del agua excesivo (o baja velocidad) que pudiera afectar a la calidad de esta.
- Que los sectores sean de un tamaño que incluyan entre 5 y 10 km de tuberías.

Para la ejecución de la sectorización diseñada, será necesario:

- Verificación del correcto funcionamiento de las válvulas definidas como frontera de los sectores.
- Ejecución de las obras necesarias, para:
  - o Instalación de equipos de medición y control.
  - o Instalación de nuevas conducciones.
- Instalación de registradores de presión.
- Aislamiento del sector mediante la actuación sobre las válvulas frontera.
- Apertura de válvulas de alimentación al sector.
- Toma diaria, a ser posible telecontrolada, de datos horarios o cuartohorarios de los registradores de presión y de caudal de entradas y salidas de sector.
- Asignación de cada usuario o vivienda a un sector hidráulico.
- Toma de datos periódicos de los contadores (micromedidores) de todas las salidas de la red de cada sector.
- Etiquetado de válvulas frontera, para que, en caso de averías, sean manipuladas con cuidado.
- Cálculo del balance hidráulico  $\text{ANR} = \text{volúmenes de entrada} - \text{volúmenes de salida}$ .
- Cálculo del % Rendimiento =  $\text{volúmenes de salida} / \text{volúmenes de entrada}$ .
- Análisis de tendencias de los balances hidráulicos mediante acumulados de los últimos 365 días.

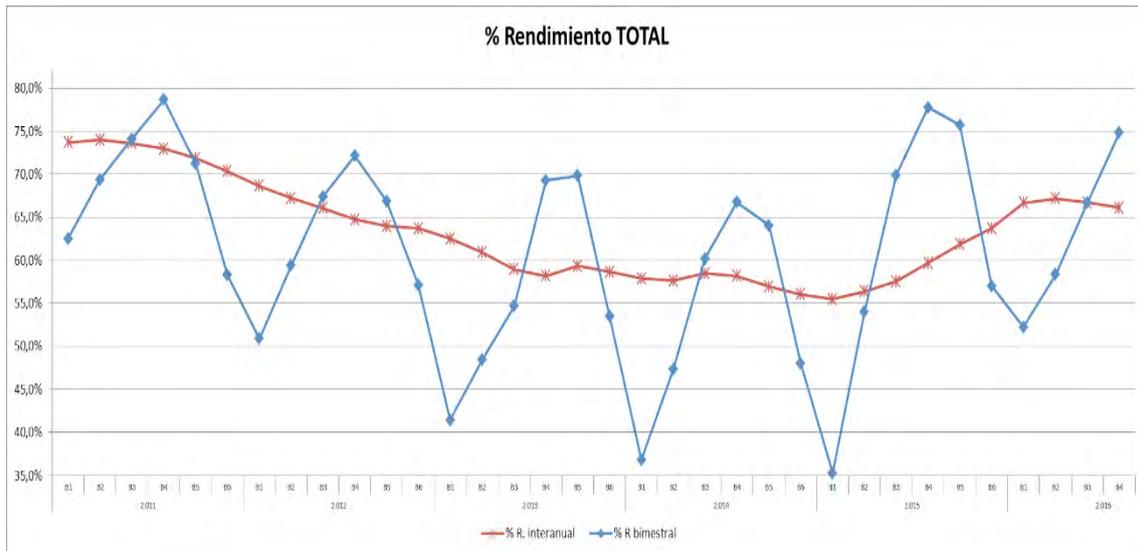


Figura 3. Comparación control % Rendimiento periódico e interanual.

- Detección de fugas por control de la evolución diaria de los caudales mínimos nocturnos, comparando las curvas de presiones y caudales de sectores con las de previsiones por aplicación de la inteligencia artificial basada en días anteriores, el mismo día de la semana anterior y el mismo día del año anterior.



Figura 4. Detección de fugas por control caudales mínimos nocturnos.

- Cálculo de las pérdidas en la red de distribución de cada sector, restando al caudal mínimo nocturno los caudales entregados a los usuarios conocidos.

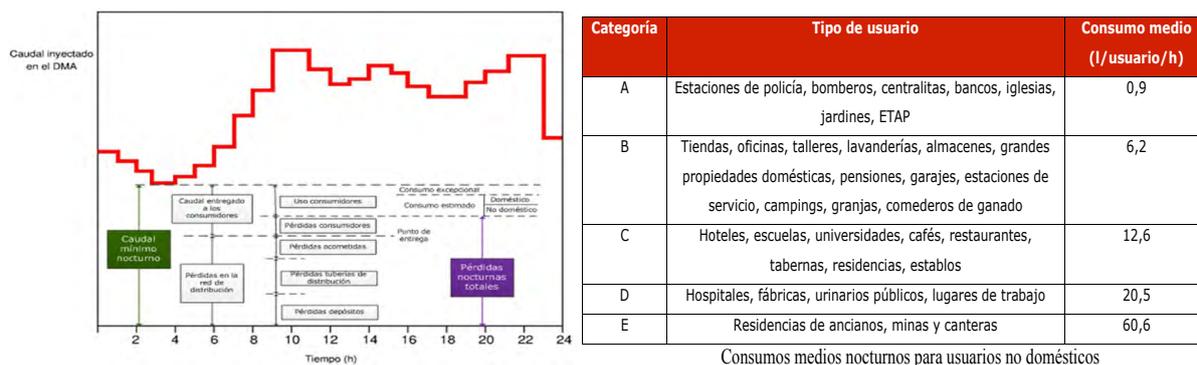


Figura 5. Cálculo de pérdidas en la red por caudales mínimos nocturnos.

## 2.2. Microsectorización in situ

La microsectorización in situ, es el método tradicional que se usaba para localizar fugas, mediante el control sobre el terreno del caudal de entrada a un sector y la programación durante unas 2 horas de una misma noche de la reducción progresiva del tamaño de un sector, en el que hemos detectado una fuga, mediante el cierre sucesivo de válvulas normalmente abiertas, quitándole parte del sector, y controlando in situ la variación del caudal.

La microsectorización in situ se emplea para fugas de tamaño mediano o grande (de unos 5 m<sup>3</sup>/h) y precisa tener una red de distribución de agua preparada para el método con:

- Válvulas de corte suficientes y en buen estado, para ir acorralando la fuga.
- Un punto de suministro del sector con un contador del agua de entrada.
- Personal cualificado para abrir y cerrar válvulas internas del sector durante una noche.
- Un sistema de control en tiempo real de dicho contador de entrada, que puede ser:
  - o Online si se dispone de telecontrol continuo.
  - o Una persona mirando el contador in situ y con unas tablas calculando el caudal continuo.
  - o Un móvil con cámara con accesorio que se coloca sobre el contador y otro móvil para recibir la señal, y tablas para poder calcular el caudal continuo a partir del volumen medido en un tiempo dado.



Figura 6. Sistema para videolectura contador sector y tabla conversión de caudal.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de una red en la que se ha ido cerrando sucesivamente varias válvulas y como se detecta el caudal que fuga en cada microsector por comparación del caudal esperado con el real.

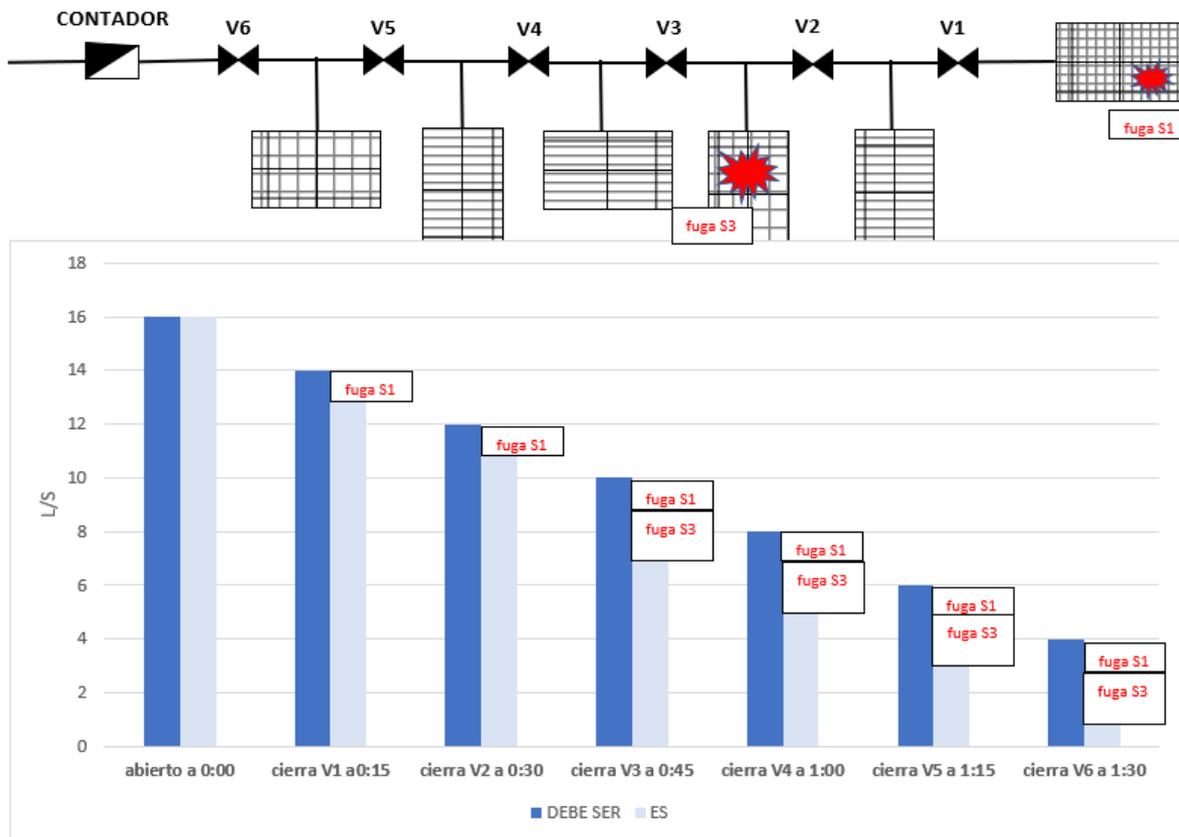


Figura 7. Detección fugas por control caudal microsectorización in situ.

### 2.3. Microsectorización dinámica

La microsectorización dinámica, es el método, basado en el anterior, que se propone usar para localizar fugas, mediante el control online desde oficina del caudal de entrada a un sector y la programación durante varios días de la reducción progresiva del tamaño de un sector, en el que hemos detectado una fuga, mediante el cierre sucesivo de válvulas normalmente abiertas, quitándole parte del sector, y controlando in situ la variación del caudal.

La microsectorización dinámica se emplea para fugas de tamaño pequeño o mediano (de unos 3 o 4 m<sup>3</sup>/h) y precisa tener una red de distribución de agua preparada para el método con:

- Una renovación de redes, acometidas y válvulas continuo.
- Válvulas de corte suficientes y en buen estado, para ir acorralando la fuga.
- Un punto de suministro del sector con un contador del agua de entrada.
- Una red bastante mallada con un punto de suministro alternativo a cada microsector, para que el usuario no tenga ninguna anomalía en su suministro durante el transcurso de la microsectorización.
- Personal cualificado para abrir y cerrar válvulas internas del sector.
- Un sistema de señalización de válvulas cerradas y abiertas, para evitar que algún operario las manipule por error.



Figura 8. Señalización de válvula cerrada temporalmente y cerrada habitualmente.

- Un sistema de telecontrol online de dicho contador de entrada
  - Un gestor experto que vaya:
    - o Controlando como afecta en los caudales mínimos nocturnos las sucesivas microsectorizaciones.
    - o Programando el corte manual sucesivo de válvulas, para ir reduciendo el tamaño del sector con fuga y programado la apertura de válvulas para ir dando caudal por entrada alternativa a cada sector eliminado del sector objeto de búsqueda de fuga.
- El sistema de trabajo es el siguiente:
- Se descarga del GIS un plano de la red de abastecimiento para el desarrollo de los trabajos a modo de consulta; este plano se considera “plano estático de

sectorización” y es el que se tiene cargado en las plataformas de trabajo de todos los usuarios: ordenadores, tablets, móviles.

- Al mismo tiempo, el gestor lleva un plano paralelo al indicado y conocido como “plano dinámico de sectorización” en el que se representa todas las órdenes de modificación de Valvulería indicadas en la aplicación de Ordenes de trabajo
- Todas las modificaciones de valvulería que se llevan a cabo provisionalmente para la búsqueda de fugas se indican en campo mediante un cartel sobre la válvula modificada que dice “Control de redes”.
- Por tanto, el único mapa que se actualiza diariamente es el conocido como “plano dinámico de sectorización” y es el mapa que hay que consultar para establecer los diferentes polígonos de corte.

Las ventajas de la microsectorización dinámica frente a la sectorización estática son:

- Una sectorización estática dificulta la localización de una fuga ya que tiene que realizarse sobre la totalidad del sector, ya sea a base de horas de geófono o con el empleo de prelocalizadores de ruido. En cambio, una sectorización dinámica facilita el éxito de la localización ya que reduce paulatinamente el área de búsqueda a la vez que vas viendo la evolución de la avería y conoces con más exactitud su caudal.
- Cuando se marca una avería en una sectorización estática, la mayoría de las veces no conoces el caudal de esta, ni sabes si puede haber más de una. Con una sectorización dinámica, a la vez que reduces el área, también aprendes a ver el tamaño y la existencia o no de más de una avería. Conocer el tamaño de la avería te permite después priorizar las reparaciones.
- En caso de corte por avería, tener una sectorización estática trae consigo que área afectada sea mayor la mayoría de los casos. En cambio, en una sectorización dinámica el corte, siempre que sea una red mallada, sólo afectará al tramo de calle entre válvulas donde se ubica la avería.
- La sectorización estática basa su interpretación de las gráficas de caudales en la comparativa de histórico de gráficas para detectar la posible presencia de una avería. La sectorización dinámica que, a su vez, prima la microsectorización frente a la macrosectorización, basa su interpretación de las gráficas de caudales en la comparativa diaria de los mínimos nocturnos.
- Además, una búsqueda de fugas basada en la comparativa de históricos de consumos solamente permitirá encontrar las grandes averías y presentará menor garantía de éxito. En cambio, una búsqueda de fugas basada en la interpretación diaria de los mínimos nocturnos te permite localizar las averías más pequeñas gracias a la experiencia y conocimiento del gestor.

Las dificultades de la microsectorización dinámica frente a la sectorización estática son:

- Sectorización más complicada, con mayor número de elementos de red: reductoras, contadores auxiliares, etc.
- Precisa un parque de válvulas en muy buen estado y bien mantenido para que tengan un cierre perfecto.
- Precisa de grandes equipos humanos de trabajo y que estén muy implicados y coordinados.
- En ocasiones se pueden producir cortes involuntarios de suministro a los abonados. De-

bido a la modificación diaria de los sectores mediante la apertura y cierre de válvulas, es necesario que los equipos intervinientes, tanto de control de redes como de mantenimiento correctivo, respeten los procedimientos de coordinación y sean cuidadosos con las órdenes para evitar los errores.

- Los beneficios de la microsectorización dinámica son:
- El uso de la sectorización dinámica permite al gestor un conocimiento continuo del funcionamiento de la instalación: grandes consumidores, consumidores nocturnos, comportamiento de presiones y caudales, etc.
- Te permite realizar un mantenimiento continuo de las válvulas del sistema mediante su apertura y cierre diario, a la vez que te ayuda a identificar las válvulas que no cierran.
- Te permite la prelocalización de varias fugas a la vez.
- Minimiza el uso del geófono, sólo para localizar la fuga en un tramo entre válvulas.
- La utilización de la microsectorización dinámica implica que deje de utilizarse la detección proactiva de fugas, es decir, dejan de ser necesarias las campañas periódicas de búsqueda de fugas por sectores.
- Aporta aprendizaje al operario buscafugas ya que conoce el caudal de la fuga en el momento de utilizar el geófono.
- De igual manera, conocer el caudal de la fuga pendiente de reparación te permite priorizar en las reparaciones.
- Reducir el número y alcance de los cortes (Política de Abonados Sensibles)
- Menor probabilidad, y gravedad en su caso, de reclamaciones patrimoniales.
- Mayor continuidad y garantía de servicio a los ciudadanos.

### 3. CASO DE ÉXITO

La metodología de microsectorización dinámica se ha implantado con éxito en una población de las siguientes características:

- Población: 73.471 habitantes
- Extensión: 169,5 km<sup>2</sup>
- Distribución población: un 65 % residen en el núcleo urbano, repartiéndose el resto entre 14 pedanías y 6 urbanizaciones.
- Polígonos Industriales: 5
- Abonados: 32.452 (98% domésticos)
- Usuarios: 33.673
- 100% compra de agua en alta en 21 tomas
- km de red: 567
  - 57,9% PE
  - 23,7% PVC
  - 12,6% FD
  - 5,8% FC
- N° Depósitos: 15
- N° EBAP: 10

Evolución histórica de la búsqueda de fugas:

- Antes de 2013: búsqueda de fugas planificada anualmente por sectores o tomas (tipo preventiva), basada básicamente en la utilización de elementos fijos de captación y aná-

lisis de ruido instalados de forma fija o rotativa.

- 2013-2014: búsqueda de fugas deja de ser tan planificada y empieza a primar la atención a los datos de rendimiento de los diferentes sectores calculados bimestralmente (lectura de contadores) (Tipo preventiva-predictiva).
- 2015: búsqueda de fugas atendiendo a datos de rendimiento bimestral y apoyado por ciertos datos de control de caudal en continuo, a lo que también hay que sumar la puesta en marcha de las tablets con la cartografía de redes actualizada. (Tipo predictiva básica).
- 2016 (primer semestre): búsqueda de fugas atendiendo directamente al control de caudal en continuo (registradores vía radio en red, registradores vía GPRS, registradores vía radio en depósitos, datos de volúmenes en continuo de suministro) y gracias a la sectorización y a la mejora de la información de cartografía de redes (GIS) y la actualización continua de la misma a través de las tablets (tipo predictiva clásica).
- 2016 (segundo semestre): búsqueda de fugas atendiendo directamente al control de caudal en continuo y con apoyo en microsectorización dinámica frente a la sectorización clásica o estática; y con apoyo de la cartografía actualizada (GIS) y muy especialmente del nuevo programa de control de Incidencias en su aplicación de gestión interna, ya que permite un seguimiento actualizado de ciertas tareas (sectorización y averías) de forma coordinada entre los diferentes equipos intervinientes que permite una mejora de coordinación, eficacia y velocidad del personal y que se transmite muy directamente a la mejora del rendimiento hidráulico (tipo predictiva total).

La aplicación de esta metodología ha provocado un aumento del número de averías detectadas y reparadas, como se puede observar en la siguiente gráfica.

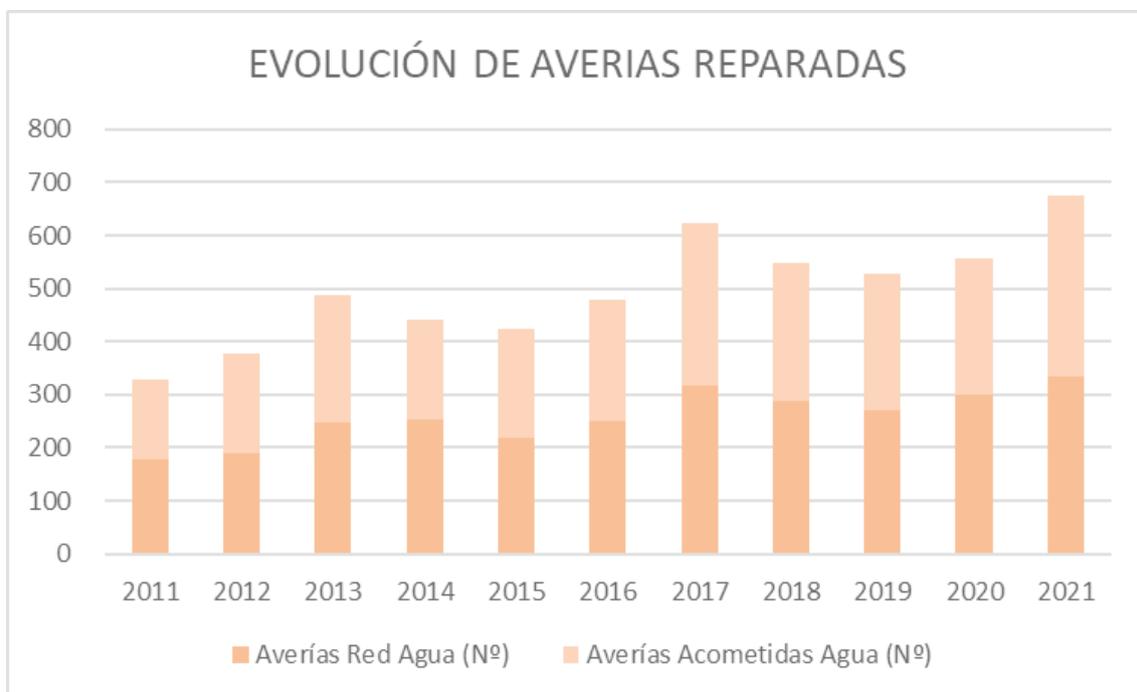


Figura 9. Evolución del número de averías reparadas.

Y este aumento de número de averías reparadas, tanto de red como de acometidas, ha producido una mejora del ILI (*Infrastructure Leakage Index*), como se puede observar en la siguiente Figura 10:

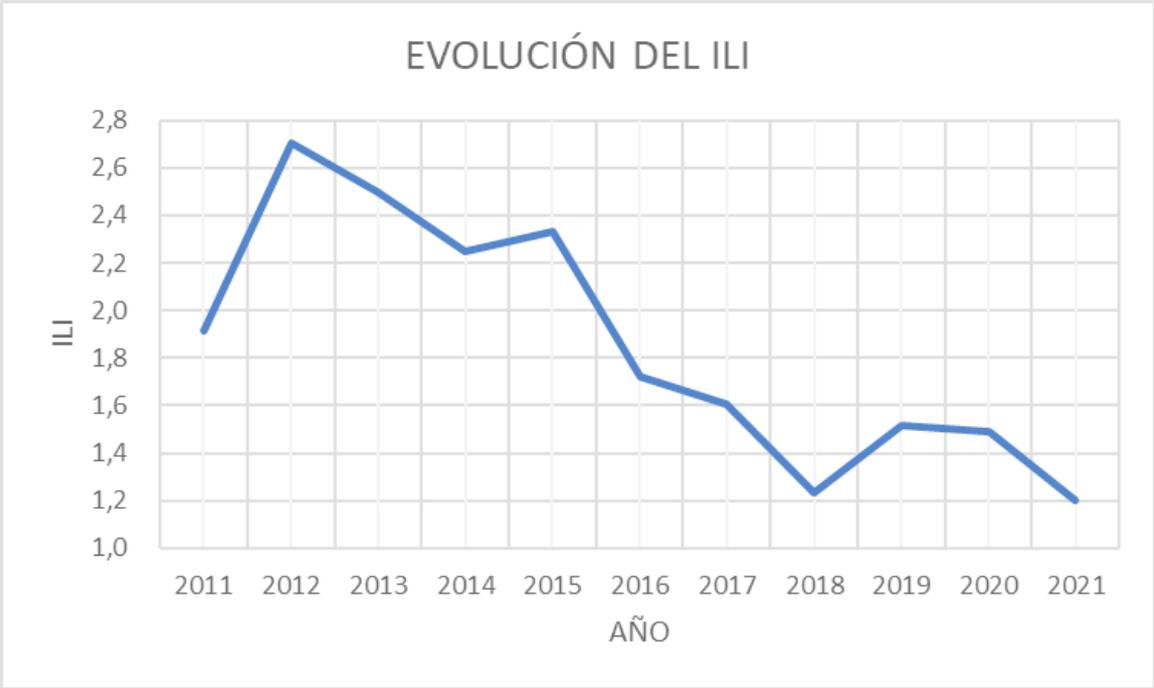


Figura 10. Evolución de ILI en el caso de éxito.

En conclusión, desde 2016, que fue cuando se comenzó a aplicar la metodología de microsectorización dinámica, se ha mejorado el rendimiento desde el 85% al 92%, reduciendo el ANR desde 0,76 hm<sup>3</sup>/año a 0,43 hm<sup>3</sup>/año, como se puede observar en la siguiente gráfica.

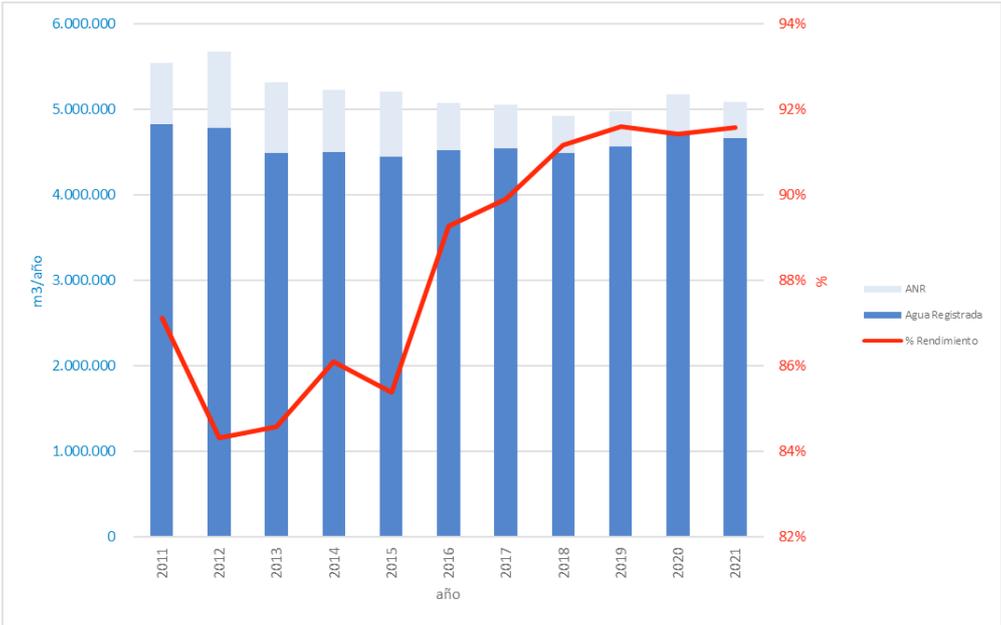


Figura 11. Evolución % rendimiento de la red en el caso de éxito.

## REFERENCIAS

- AEAS-AGA, Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (2004). *Control del agua no registrada. Metodología para una correcta implementación*. <https://www.aeas.es/component/content/article/17-manuales/manuales-y-guias-2014/25-control-del-agua-no-registrada?Itemid=101>
- AEAS-AGA, Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento - Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua Urbana. (2022). *XVII Estudio Nacional de Suministro de Agua Potable y Saneamiento*. AEAS-AGA. <https://www.aeas.es/component/content/article/52-estudios/estudios-suministro/301-xvii-estudio-nacional-aeas-aga?Itemid=101>
- Albaledejo Ruiz, A. (2019). Optimización del Agua No Registrada (ANR) en las ciudades inteligentes. En: Joaquín Melgarejo Moreno (ed.), *Congreso Nacional del Agua Orihuela: Innovación y Sostenibilidad*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/88367>
- Amirola Campa, J. y Albaladejo, A. (1992). *Estudio sobre el control de las Pérdidas de Agua*, 1-98.
- Boulos, P. F., Schade, T., and Baxter, C. (2008). Locating Leaks in Water Distribution Systems Using Network Modeling. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R228-21>
- Vicente González, D. J. (2017). *Diseño de maniobras de gestión de presiones en sectores de distribución de agua y análisis de su impacto* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/47909/1/David\\_Jesus\\_Vicente\\_Gonzalez.pdf](https://oa.upm.es/47909/1/David_Jesus_Vicente_Gonzalez.pdf)