



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

GRUPO DE TRABAJO

GT-AGU

Nuevas Fuentes de Agua

Documento Final

PARTICIPANTES

Coordinador:

Miguel Muñoz Veiga
Colegio de Ingenieros Superiores Industriales de la Comunidad Valenciana

Relatores

Enrique Cuevas
Grupo Cobra

Juan Francisco Maestre
EGEVASA

Ramón Guardino
Tecymed

Rogelio Llanes Ribas
SEIASA S.A.

Mónica di Donato
CIP-ecosocial

Colaboradores

Ángel de Miguel García
Fundación Imdea Agua

Antonio Juanmarti
Agbar

César Cordero
Hunosa

Cristina Danés Castro
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Enrique Sáez Solano
Colegio de Ingenieros Superiores Industriales de la Comunidad Valenciana

Fernando Camarero Rodríguez
Fundación Mapfre

Francisco Molino del Pérez
CADAGUA

Gabriel Galán
Grupo Cobra

Ignacio García López
Saneamiento de Aguas Residuales de Valencia

Jorge Loredó Pérez

Fundación INFIDE

Lucia Santolaria Canales
Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos

Margarita Molina
FENACORE

M^a Teresa Estevan Bolea
COIM

Mónica Pérez Clausen
COAMB

Nuria del Viso Pabón
CIP-ecosocial

Pedro Castillejo Partido
Fundación INFIDE

Yolanda Rubio Fontcuberta
Tecymed

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 0. ANTECEDENTES..... | 6 |
| 0.1. El elemento agua | |
| 0.2. El agua en la economía | |
| 0.3. Sostenibilidad e innovación | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1.1. Gestión del agua | |
| 1.2. Usos del agua: situación actual y necesidades | |
| 1.3. Programa AGUA del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino | |
| 1.4. Balance del funcionamiento del mercado de derechos de agua | |
| 2. DESALACIÓN..... | 16 |
| 2.1. Introducción | |
| 2.2. Evolución tecnológica | |
| 2.3. Costes actuales de la desalación | |
| 2.4. Mercado de desalación en España y en el Mundo | |
| 2.5. Calidad y usos del agua desalada | |
| 2.6. Impacto ambiental, vertidos y consumo de energía | |
| 3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES..... | 30 |
| 3.1. Introducción | |
| 3.2. La reutilización del agua y los objetos medioambientales de la Directiva Marco | |
| 3.3. La reutilización del agua, Real Decreto 1620/2007 | |
| 3.4. Campos de reutilización | |
| 3.5. Tecnologías disponibles y sus resultados | |
| 3.6. El coste del agua regenerada | |
| 3.7. La reutilización del agua regenerada | |
| 4. MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO..... | 74 |
| 4.1. Consideraciones previas económicas y ambientales | |
| 4.2. La modernización de regadíos en la planificación del agua en España | |
| 4.3. La Directiva Marco del Agua | |
| 4.4. Evaluación económico-social de la modernización de regadíos | |
| 4.5. Evaluación ambiental en proyectos de modernización de regadíos | |
| 4.6. La modernización de regadíos como nueva fuente de agua | |
| 5. OPTIMIZACIÓN DE REDES..... | 99 |
| 5.1. Introducción | |
| 5.2. Gestión de la demanda vs gestión de la oferta | |
| 5.3. Sectorización en redes de distribución | |
| 5.4. Tecnología para detección de averías | |
| 5.5. Telegestión aplicada a la optimización | |

| | |
|--|-----|
| 5.6. Sistemas de información geográfica (GIS) aplicada en sectorización | |
| 5.7. Modernización de parque de contadores | |
| 5.8. Indicadores básicos | |
| 5.9. Casos prácticos | |
| 6. HUELLA HÍDRICA..... | 149 |
| 6.1. Introducción a los conceptos de huella hídrica y agua virtual | |
| 6.2. Metodología | |
| 6.3. La huella hídrica de los países: el caso de España en el panorama internacional | |
| 6.4. Conclusiones | |
| 6.5. Bibliografía | |
| 7. CONCLUSIONES..... | 162 |

0. ANTECEDENTES

0.1.- El elemento agua

El agua es esencial para la vida humana y también para la economía.

El agua potable es un bien imprescindible para la salud de las personas, pero el consumo urbano representa tan solo el 10% del consumo total.

EL agua se necesita también en la agricultura para la producción de alimentos y fibras y en casi todos los procesos industriales producción de energía incluida.

Además, el agua también es esencial para mantener los ecosistemas el los que vivimos y de los que dependemos. De ahí su valor como recurso ambiental que sostiene la sociedad y la economía.

El agua está presenta en la mayoría de los acontecimientos que han tenido lugar desde la noche de los tiempos y han sido origen del florecimiento de las antiguas civilizaciones en Mesopotamia y Egipto y causa, cuando ha faltado, de guerras y movimiento de poblaciones a lo largo de la historia.

Ahora bien, a partir de la Revolución Industrial de. S. XIX el mundo ha cambiado de una forma radical hasta llegar a la situación actual. Durante el s. XX el consumo de agua se ha multiplicado por seis, aumentando dos veces más rápido que el crecimiento de la población. Hace 50 años la gente no percibía el agua como un bien escaso, pero en la actualidad el 40% de la población mundial , que asciende a 6.500 millones, vive en cuencas afectadas por escasez y se prevé que este porcentaje alcanzará el 75% para el año 2.025, para una población estimada de 8.000 millones.

Actualmente, cerca de 1.100 millones de personas no tienen acceso al agua potable y 2.400 millones carecen de sistemas de saneamiento. Se calcula que cerca de dos millones de niños mueren al año en el mundo por enfermedades de origen hídrico.

A nivel global, la agricultura es la primera consumidora de agua, absorbiendo el 80% del recurso frente al 10% que se destina a la industria y el 10% restante, del como ya se ha indicado el consumo urbano.

La escasez de agua tiene su origen en una economía en crecimiento, en el aumento de la población y en el cambio de estilos de vida.

El resultado es una demanda en constante crecimiento aprobada por la sobreexplotación y la contaminación del recurso.

Indudablemente, la gestión actual de los recursos hídricos es insostenible.

0.2.- El agua en la economía.

La agricultura, principal usuario del agua con más de un 70% del consumo total, es clave para la gestión hídrica.

Mientras que por término medio una persona requiere entre 2 y 5 litros de agua potable diariamente, la ingesta alimentaria media representa un consumo de 3.000 litros, suponiendo la dieta de los países más desarrollados incluso un gasto mayor.

Una serie de tendencias globales relacionadas con la producción agrícola va a tener profundas repercusiones en el balance hídrico global.

Se ha generado gran riqueza en muchos países donde los primeros pobladores y empresarios se hicieron con derechos muy valiosos sobre las aguas o trasladaron los costes de la contaminación y degradación de los recursos naturales a obras comunidades o a la generaciones venideras. En otros países, millones de personas permanecen en la pobreza debido en parte a las enfermedades propagadas por el agua y a la falta de recursos hídricos, pero su desarrollo agrícola e industrial.

Según el Informe sobre Desarrollo Humano 2006 de Naciones Unidas, la crisis del agua es tanto un problema de pobreza, y desigualdad como de falta de recursos hídricos.

Las cuestiones de equidad y poder, además de las fuertes vínculos espirituales y culturales que las sociedades tienen con este recurso vital, dan lugar a una economía política extremadamente compleja y a menudo emotiva en trono al agua.

0.3.- Sostenibilidad e innovación.

Hace 50 años, el término sostenibilidad ni siquiera formaba parte del vocabulario. La economía se centraba exclusivamente en el trabajo, y en el capital, considerando todos los recursos naturales simplemente como otra forma de capital intercambiable.

Partiendo de la base de que los recursos naturales eran muy abundantes, era impensable la posibilidad de llegar a tal grado de explotación de los mismos que ello condujera a la limitación imperiosa del bienestar y del crecimiento económico.

La situación actual ha exigido destacar el valor económico de todos los usos del agua, incluyendo su utilización en los ecosistemas, y por tanto, cambiar el paradigma de la gestión del agua: de un enfoque de oferta de un recurso ilimitado a un enfoque de gestión de la demanda de un recurso limitado.

Las presiones sobre el abastecimiento y la calidad de las aguas han exigido el desarrollo de importantes innovaciones tecnológicas que ofrecen muchas posibilidades para gestionar el agua de manera más EFICIENTE, PRODUCTIVA Y SOSTENIBLE.

El abastecimiento de agua está siendo mejorado en muchos países mediante tratamientos de aguas residuales y técnicas innovadoras de reutilización. Continúan los adelantos en las desaladoras, cuyos avances tecnológicos y en eficiencia energética han rebajado espectacularmente los costes.

La modernización del regadía está consiguiendo importantes ahorros en el consumo del agua. Esta modernización se lleva a cabo mediante la aplicación de las modernas tecnologías, tipo telemando, etc, así como el revestimiento de los canales de riego.

Las poblaciones han establecido, asimismo, medidas de gestión de la demanda como reducir las pérdidas por fugas en las tuberías y la reforma de las políticas de precio y de acceso para incentivar un uso más eficiente del agua.

En definitiva, se están llevando a cabo grandes esfuerzos en el software de la gestión del agua para la mejora generalizada de todos los aspectos relacionados con el uso del recurso.

Desalación, Reutilización del agua, Modernización del regadío, optimización de las redes de distribución y transporte, y la introducción de la huella hídrica, son los grandes temas que examina este grupo de trabajo, que con el objetivo de analizar las aportaciones desde la innovación tecnológica y los necesarios cambios en la gestión, con una aplicación concreta a nuestra realidad, se consigan procesos más eficientes y por consiguiente se disponga de nuevas fuentes de agua, que es precisamente la denominación del grupo de trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es, junto con el aire, el recurso natural más necesario para la vida de los seres vivos en este planeta y un bien básico para el desarrollo equilibrado de la economía.

El agua es ya un recurso limitado pero es el único recurso natural renovable a través del ciclo hidrológico.

A lo largo del siglo XX se ha llevado a cabo una acción importante –unas veces más vigorosa que otras– en materia de regulación hidrológica, de abastecimientos, de aprovechamientos energéticos del agua y de mejora de los regadíos, pero es mucho lo que queda por hacer. Desde 1902 se han elaborado diferentes planes hidrológicos. En 1981 se previó la elaboración de un Plan Hidrológico Nacional, como síntesis de los Planes de Cuenca. Plan hidrológico que ha pasado por numerosas vicisitudes. Actualmente no tenemos un verdadero Plan Hidrológico y este es el verdadero problema.

El agua se ha dividido tradicionalmente en un gran número de categorías. Así, se establecen distinciones entre agua dulce, agua de mar y agua salobre, entre aguas superficiales y subterráneas, entre ríos, lagos, estuarios, aguas costeras y alta mar, etc. También se hace una distinción entre las aguas destinadas a usos económicos específicos y aguas cuya conservación reviste un interés especial. Sin embargo, el agua no reconoce estas distinciones: fluye libremente entre las diversas categorías y todo intento de gestionar los recursos hídricos debe tener en cuenta este hecho y adaptarse al mismo, es decir, debe respetar la unicidad del ciclo hidrológico. Por ello es tan importante mantener las Confederaciones Hidrográficas para que se realice la gestión integral de los recursos hídricos.

1.1. Gestión del Agua

Se entiende por gestión del agua al conjunto de medidas y acciones encaminadas a lograr la máxima racionalización en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio acuático, basándose en una coordinada información multidisciplinar y en la participación ciudadana.

Cualquier enfoque sobre la gestión moderna del agua se apoya en el desarrollo sostenible, que en definitiva, es un desarrollo dentro de determinados límites medioambientales o más bien dentro de un respeto a las exigencias de protección del medio ambiente. Se trata, en realidad de hacer un uso racional de los recursos.

La gestión del agua es un problema técnico, en primer lugar; económico en segundo término y finalmente una cuestión política.

Además es preciso recordar constantemente que se trata de administrar un recurso renovable, pero que es limitado y en consecuencia un bien económico, que no admite fronteras administrativas.

El punto clave de la viabilidad del PHN, del Plan Nacional de Protección de la Calidad de Aguas, de los Planes de Gestión de excretas ganaderas y otros Planes y en general de

los programas y acciones dirigidos a recuperar la calidad de los recursos hídricos y a garantizar las cantidades suficientes en los abastecimientos, son los aspectos económico-financieros.

Es preciso recordar que respecto al establecimiento de mercados de los recursos hídricos, el agua no tiene precio. El precio que se aplique al suministro corresponde al coste del tratamiento preciso y al coste de las infraestructuras porque si bien es cierto que el agua no es de nadie, es un bien público, también lo es que tal como se encuentra en la Naturaleza no es apta para muchos usos y siempre es preciso transportarla al punto en que se demanda.

1.2. Usos del agua: situación actual y necesidades

De forma muy somera la situación actual y necesidades pueden definirse de modo siguiente:

DISPONIBILIDADES Y CONSUMOS DE AGUA. SITUACIÓN ACTUAL

La escorrentía media total, superficial y subterránea, o sea, el agua de lluvia que cae y no se evapora en España, es de 116.424 hm³. De ellos, están regulados en la Península más de 53.250 hm³ en más de 1.200 embalses. Además unos 500.000 pozos suministran unos 5.500 hm³.

La demanda actual consolidada en todo el territorio español es superior a 35.320 hm³.

El consumo actual es de 22.771 hm³. El 77% del consumo es agrario; el 16% urbano y el 7% industrial.

Los principales usos del agua son:

- Abastecimiento.
- Regadío.
- Necesidades industriales y refrigeración.
- Producción hidroeléctrica.
- Demandas ecológicas para garantizar la vida de las biocenosis acuáticas.
- Recreo.
- Navegación.
- Producción de Hidrógeno, en un futuro próximo.

Cabe recordar que el agua utilizada en la generación hidroeléctrica no es un consumo sino una demanda. El agua que entra en la turbina sale en su totalidad y aguas abajo puede destinarse a otros usos.

Las necesidades para abastecimiento se cifran en 4.667 hm³/año. Incluye el abastecimiento urbano, industrial y turístico y es la máxima prioridad que debe atenderse.

Se estima un consumo medio de 171 litros por habitante y día, cifra moderada, a pesar de muchas manifestaciones distintas.

El regadío en España cubre 3.700.00 hectáreas, que requieren 24.094 hm³/año, es decir más del 77% de las demandas consuntivas, pero nuevos cultivos precisos para producir cereales y oleaginosas para fabricar biocombustibles elevarán las necesidades.

Las necesidades industriales y de refrigeración –no cubiertas en los abastecimientos urbanos, ya que se trata de grandes industrias– son de 1.900 hm³/año.

Las necesidades de refrigeración se elevan a 4.700 hm³/año, en su mayor parte en instalaciones de circuito abierto.

La potencia hidroeléctrica existente en 2008 es de 18.937 MW (21% de la total que es de 90.451 MW). Estas centrales turbinan unos 16.000 hm³/año medio.

Cabe reiterar que los usos hidroeléctricos y de refrigeración son demandas no consuntivas.

Es preciso destacar que las cifras de consumos, demandas, suministros, etc. Son orientativas porque no hay buena metrología ni estadísticas, de ahí que en cada publicación aparezcan valores distintos. Es uno de los problemas que tiene la gestión del agua, si bien para este trabajo sirve como orientación suficientemente.

En las aguas continentales hay que considerar las superficiales y las subterráneas, aunque el ciclo del agua es único y en consecuencia la naturaleza, el cuidado, tratamiento y gestión de las aguas debe ser único.

Hasta la fecha no se ha valorado bien la importancia y el cuidado que exigen los acuíferos subterráneos, más frágiles y sensibles a la contaminación y a su alteración que las aguas superficiales.

Más del 19% del abastecimiento de agua potable y más del 22% de los regadíos se cubren con aguas subterráneas.

En líneas generales, el abastecimiento se cubre con aguas superficiales en un 74%; un 19% subterráneas; un 3% procede de manantiales y un 4% de otras fuentes –desalada, reutilizada, etc. –

Tampoco hay que olvidar que la calidad del agua es función del uso a que se destina.

La gestión convencional del agua ha venido haciéndose y se sigue haciendo atendiendo a los aspectos de cantidad –suministros– y de calidad en parte, mediante un control –más o menos ajustado– de la contaminación.

Una gestión moderna del agua requiere un cambio radical que implica, por encima de todo, una adecuación de nuestra mentalidad en este ámbito, un nuevo marco jurídico, numerosas actuaciones y uso de tecnologías y un desarrollo y cálculo de costes de todas estas acciones y una actualización de tarifas y cánones que permitan cubrir el coste de las mismas. Todo ello deberá abordarse con realismo porque si no, continuaremos en la misma situación que hoy tenemos.

NECESIDADES FUTURAS

La puesta en riego de nuevas superficies, la mejora de la calidad de vida, el aumento de la población, el crecimiento económico y la mejora del equipo productivo van a requerir más agua, a pesar de los muchos e importantes esfuerzos que se están haciendo en los diferentes sectores para ahorrar agua en los consumos específicos.

Con la estructura económica española, un incremento del PIB del 1% industrial, por ejemplo, requiere un aumento de 12 hm³ de agua suministrada y gestionar 6 hm³ más de aguas residuales.

El consumo urbano –entre 1995 y 2005– ha venido creciendo un 2,9% anual.

Los nuevos regadíos para obtener materias primas para fabricar biocombustibles van a precisar muchos hm³ adicionales.

Por todo ello, este Grupo de Trabajo quiere hacer hincapié en las “Nuevas Fuentes de Agua” o hablando con mayor propiedad, en el empleo de nuevas y mejores tecnologías que permitan disponer de más recursos hídricos para los diferentes usos y aplicaciones del agua.

La desalación de aguas salobres y aguas marinas; la transferencia de recursos hídricos entre cuencas; la mejora de la depuración de aguas usadas para obtener aguas regeneradas aplicables a diferentes usos; la renovación y ampliación de las redes de distribución; la necesaria regulación y normativa actualizada que permitan tener una seguridad jurídica en las muchas y nuevas actuaciones que se precisan y otras cuestiones, como el análisis de la huella hídrica de diferentes productos y servicios serán estudiados y debatidos a fondo en estas sesiones dedicadas al agua.

El control de las inundaciones, con diferentes medidas como las contenidas en los Planes de Defensa de Avenidas y la construcción de presas de laminación son necesidades que no pueden demorarse mucho más.

Urge completar los trabajos de los encauzamientos de ríos, ramblas y barrancos, los recrecimientos de presas, la construcción de otras presas nuevas, la disponibilidad de embalses de laminación – que se mantienen vacíos, dispuestos a recoger el agua de la avenidas –, la reforestación y cuidado de la riberas, la limpieza de los cauces, la ejecución de los drenajes necesarios y otras.

España es un país – como muchos otros – con frecuentes desbordamientos de ríos y lluvias torrenciales. Si a ello unimos la destrucción de la cubierta vegetal por la deforestación y los crecientes fenómenos de erosión que lo anterior produce, es fácil entender los daños, de todo tipo, que producen las inundaciones.

No existen mercados del agua y son absolutamente necesarios si queremos mejorar la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos.

Además es imprescindible que la sociedad se conciencie de la importancia del agua y que comprendan el enorme esfuerzo que hay detrás de la apertura del grifo en su casa o en su fábrica.

Sólo así será posible avanzar en el desarrollo de las infraestructuras y los mecanismos adecuados que permitan a los Municipios y a las Empresas poder cumplir con las expectativas que el conjunto de la sociedad tiene puestas en ellos.

Por otra parte, la Directiva Marco 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas nos va a obligar a enfocar la gestión del agua y la política hidráulica de forma muy distinta a la actual.

1.3. Programa AGUA (Actuaciones de Gestión y Utilización del Agua) del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Con la aprobación por la Unión Europea de la Directiva Marco del Agua se opera un cambio radical de filosofía en las formas de gestionar el agua.

El eje de las reformas pasa por la asunción de la sostenibilidad que podríamos sustanciarlas en:

- frente a la gestión de la oferta, gestión de la demanda
- frente a una visión del recurso desde un punto de vista exclusivamente económico, la incorporación de los aspectos sociales y ambientales
- frente a una gestión ausente de participación, la incorporación a la misma de los diferentes agentes sociales

Integra también la Directiva Marco del Agua varios conceptos e instrumentos económicos como el principio de recuperación de costes, la utilización del precio como incentivo, el análisis coste-beneficio de las medidas y los costes ambientales y de los recursos.

La transposición al derecho positivo español de esta directiva ya está suponiendo la modificación del marco legal preexistente con la ingente labor que ello representa.

El Programa AGUA es uno de los capítulos importantes que están reorientando la política del agua.

Esencialmente este ambicioso programa se fundamenta en la aportación de recursos a las zonas deficitarias mediante la ecuación desalación-ahorro-reutilización acompañada de la reforma de los organismos de cuenca, la introducción de los bancos públicos de recursos hídricos, una nueva política tarifaria y un nuevo programa de saneamiento y depuración de las aguas residuales.

Frente a esta batería de reformas y de ejecución de infraestructuras nos encontramos con unos periodos de sequía cada vez más próximos en el tiempo, la amenaza del cambio climático y la ausencia de consensos políticos y/o territoriales para la toma de decisiones.

Efectivamente, se cuestionan los trasvases existentes y los futuros proponiéndose fórmulas contrarias en unos territorios y en otros por los mismos partidos mayoritarios de implantación nacional.

Queda por tanto pendiente, a mi modesto entender, el gran consenso necesario en este ámbito al igual que en el pasado existió en otros ámbitos.

En lo que respecta a la reforma de las Confederaciones Hidrográficas se pretende dar mayor participación a las CCAA y a la sociedad y aumentar el control del dominio público hidráulico.

El régimen tarifario debe avanzar en la línea de recuperación de costes.

Existe un ambicioso programa de construcción de desaladoras en el litoral mediterráneo que pretende sustituir al derogado trasvase del Ebro del PHN y que plantea dificultades en la formalización de los acuerdos financieros con los usuarios e interesados.

En cuanto a la reutilización del agua, lógicamente ésta ha de ser previamente depurada. El Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales 1995-2005 ha sido insuficiente, de ahí la necesidad de poner en marcha un nuevo Plan dotado de medios financieros suficientes.

Si finalmente, en la actual coyuntura de crisis se eligen fórmulas Keynesianas para superarla, este Plan debería ser uno prioritario.

En cuanto al ahorro mediante la modernización de las redes la de los regadíos es fundamental ya que se pueden conseguir importantes ahorros.

También se debe actuar de una forma radical en las redes de distribución de los abastecimientos urbanos cuyos grados de eficiencia son manifiestamente mejorables.

1.4. Balance del funcionamiento del Mercado de Derechos de Agua

La ley 46/99 introdujo en la ley de Aguas de 1985 el contrato de cesión de derechos de uso al agua, como una de las medidas que permitiría optimizar socialmente los usos del agua; las otras dos medidas que introdujo fueron el incremento de la producción de agua mediante la utilización de nuevas tecnologías -desalación y reutilización-, la introducción de políticas de ahorro -obligación de medir los consumos de agua mediante contadores- y la fijación administrativa de consumos de referencia para regadíos -dotaciones-.

En 2006 y en plena sequía, los regantes murcianos suscribieron el primer convenio de cesión de derechos de agua con la comunidad de agricultores de la localidad madrileña de Estremeras mediante una operación tutelada por el Ministerio de Medio Ambiente a través de la Confederación Hidrográfica del Tajo en lo que podemos ver como una anticipación a los denominados bancos de agua. Esta compraventa fue de 30,9 hectómetros cúbicos a un precio de 0,19 Euros el metro cúbico.

Mientras los agricultores murcianos pudieron garantizar sus cosechas, sus colegas madrileños percibieron 3.000 Euros por cada hectárea de maíz que dejaron de cultivar.

En el Guadalquivir se acordó activar otro banco por el que los arroceros sevillanos venden sus derechos a los de Cuevas de Almazora en Almería.

Pero nuevamente las discrepancias en torno a la configuración de estos mercados del agua, la ausencia de un efectivo desarrollo reglamentario del tema, las críticas y los disensos entre los territorios que constituyen España han aparcado la consolidación de esta opción.

Ante este programa, la Junta de Andalucía, recién estrenada las transferencias de las cuencas hidrográficas proclama que las nuevas concesiones de agua de las tres cuencas andaluzas quedarán supeditadas en un futuro al nuevo Banco de Agua que “deberá velar por el interés general, atendiendo a los nuevos sectores emergentes a la hora de hacer las reasignaciones”, tal como se recoge en las bases del **Acuerdo Andaluz por el agua**, que bajo la batuta de la Agencia Andaluza del Agua contará con la participación de todos los agentes sociales implicados.

Esta Agencia pretende incrementar en 2012 la disponibilidad de recursos hídricos en más de 1.000 hectómetros cúbicos mediante principalmente el plan de modernización de regadíos y que permitirá atender las demandas de los sectores agrícola, industrial y turístico entre otros.

2. DESALACIÓN

2.1. Introducción. La desalación como solución al déficit hídrico.

La escasez de agua ha sido una preocupación constante de los pueblos a lo largo de la historia. En la actualidad este problema se ha hecho más acuciante, debido principalmente al crecimiento de la población y el gran desarrollo industrial. Por otro lado, el aumento del nivel de vida con las demandas de agua asociadas, como son los cuartos de baño, piscinas, jardines, así como la agricultura intensiva y el consumo de carne ha tenido gran influencia en el agravamiento del problema.

Gran parte de los recursos hídricos existentes en el planeta, por otro lado, no son útiles para uso agrícola, industrial o doméstico debido a su salinidad o a su difícil accesibilidad. El 97,5% de los recursos globales son agua salada y del 2,5% restante el 68,9% son glaciares o nieves permanentes, un 29,9 es agua dulce subterránea, un 0,9% es humedad del suelo y tan solo 0,3% es agua dulce superficial de fácil accesibilidad. Ante lo que no encontramos ante una situación de exceso de demanda con escasez de oferta.

Sin embargo, debido a los medios tecnológicos actuales podemos ser capaces de paliar el problema. Entre las soluciones que se plantean y están recogidas en este documento están la optimización de la gestión del agua, reutilización de las aguas residuales, la importación de agua de otras regiones y la desalación de aguas salobres y de mar. Esta última opción es la que se va a tratar en este apartado.

2.2. Evolución tecnológica.

Uno de los principales obstáculos que la desalación ha tenido que superar ha sido el elevado coste para la obtención del recurso. En un primer momento primaban los procesos de destilación: MSF (evaporación multietapa), MED (evaporación multiefecto). Dichos procesos, mediante una producción dual agua energía resultaban más económicos que los procesos de membranas. La crisis de 1973, hizo que el precio del petróleo aumentara drásticamente y por tanto los costes de operación y mantenimiento de dichos procesos de desalación. Hacia 1980 los procesos de destilación llegaron a su techo tecnológico. En esta época es cuando se produjo el cambio de la tecnología de desalación hacia la osmosis inversa.

La tecnología de osmosis inversa todavía no ha alcanzado su techo tecnológico, su futuro está muy ligado a los productores de membranas, con la mejora de la permeabilidad y el rechazo de sales. Las mejoras que se han realizado en los procesos de osmosis inversa son las siguientes:

2.2.1. Recuperadores de Energía

Los costes de energía en desalación están íntimamente relacionados con las salinidades del agua bruta y representan más de un 30 % en los costes de operación. A mayor salinidad mayor presión que se debe aplicar al agua para su desalación y por tanto mayor energía consumida por las bombas. Los costes energéticos se han venido reduciendo durante los últimos años debido a distintos factores que se describen a continuación.

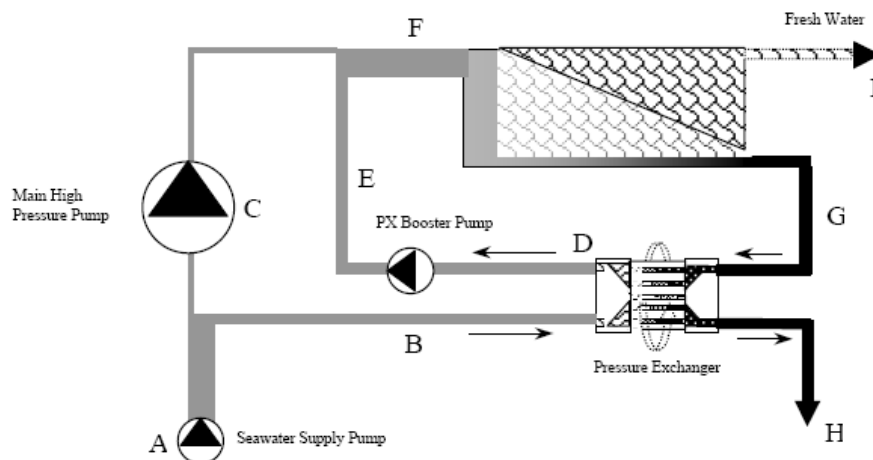
Desde las primeras instalaciones, con un consumo específico que rondaba los 7 kWh/m³, el consumo de las bombas de la instalación ha ido bajando continuamente. La aparición de los

sistemas de recuperación de energía ha contribuido significativamente a ello, al igual que la instalación de bombas de alta presión más eficientes y de mayor tamaño. Por lo tanto, podemos considerar que el consumo específico actualmente varía entre los 3 y 4.5 kWh/m³, aunque en este caso el mínimo consumo puede obtenerse en plantas de pequeño tamaño con sistemas de recuperación de energía de última generación (los últimos avances hablan de 2,4 kWh/m³). Los ahorros en energía pueden ser del orden del 60 % con estos sistemas de última generación.

Los sistemas de recuperación de energía de primera generación se desarrollaron en 1985. Los fabricantes de bombas adaptaron tecnologías existentes, como las turbinas de movimiento inverso y las ruedas Pelton, a las plantas de ósmosis inversa para recuperar la energía. Estos sistemas de primera generación posibilitaron la desalinización de agua de mar con un consumo energético de aproximadamente 4 kWh/m³.

En 1990, llegó al mercado una segunda generación de dispositivos de recuperación de energía que empleaban materiales de alta aleación, resistentes al desgaste, tales como el acero inoxidable 904L. Por esa época también se desarrolló el turbocargador hidráulico. Estas innovaciones mejoraron la fiabilidad y redujeron el mantenimiento, aunque todavía se limitaban a recuperar sólo entre un 50% a 80% de la energía del flujo de salmuera a alta presión de las plantas de ósmosis inversa.

En 1992, Energy Recovery Inc. comenzó a desarrollar un rotor tubular relativamente sencillo que podía transferir la energía a presión directamente desde la salmuera de la ósmosis inversa al flujo de alimentación. Los dispositivos PE se comenzaron a vender en 1997. Las partes móviles y de acoplamiento de cerámica del PE han mostrado un desgaste excepcionalmente bajo, e incluso nulo, en el uso con salmuera a alta presión, y el material no es susceptible a la corrosión por picaduras y tensión que sufren los componentes de acero y bronce en usos similares. El PE de rotación lenta (1,500 rpm) ha demostrado necesitar poco mantenimiento en las plantas desaladoras comerciales. Como el PE transfiere energía directamente de la salmuera al flujo de alimentación sin los problemas de rendimiento de los ejes giratorios de alta velocidad, el PE obtiene un rendimiento real de entre un 91 y un 95 por ciento con un amplio rango de flujos. Con estos dispositivos se han llegado a obtener consumos energéticos de 2.6 kWh/m³. A continuación se muestra el esquema del funcionamiento de dicho intercambiador de presión:



En cuanto al segundo factor a tener en cuenta, está la liberalización del mercado para consumidores de mas de 1 GWh anual o conectados a la red de alta tensión (>1.000 V) ha conseguido reducir considerablemente el coste final del kWh eléctrico a consumir. No obstante, la mayoría de los pequeños productores de instalaciones desaladoras en España están acogidos a la tarifa 3.1 de contratación de consumo eléctrico. Dicha tarifa no permite interrumpibilidad en el suministro de energía eléctrica.

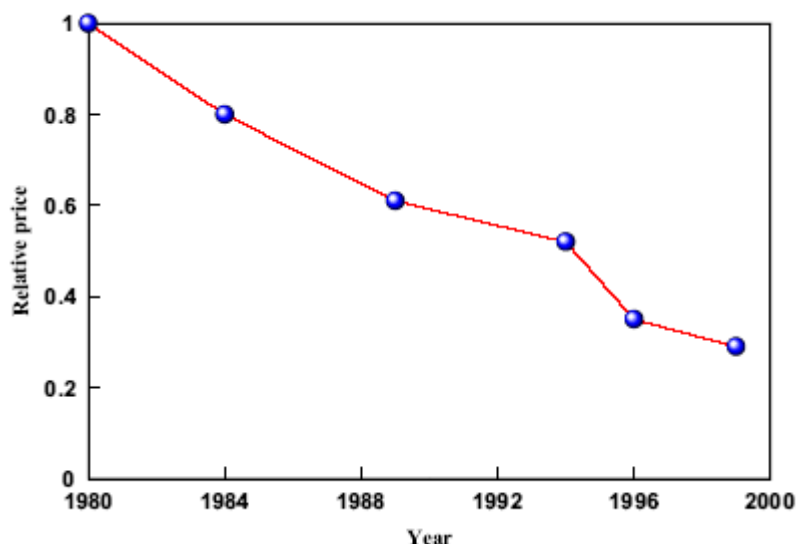
Muchas plantas de desalación podrían reducir sus costes energéticos negociando con su distribuidor eléctrico contratos con posibilidad de interrupción de energía eléctrica.

Por otro lado, las plantas también podrían ajustar su producción para evitar los horarios punta, que siempre son mas caros. Para que esto fuera posible las plantas no podrían estar funcionando a plena carga y deberían invertir en depósitos para poder regular su demanda de agua.

2.2.2. Membranas

La ósmosis inversa utiliza membranas semipermeables que, con un bombeo a presión como fuerza impulsora, separa el agua salina en dos corrientes, una con agua de gran calidad y otro con salmuera de alta concentración en sal. Las actuales membranas son más eficientes en la separación de sólidos suspendidos y pueden trabajar con caudales más altos, con lo que se simplifica el proceso y consecuentemente se reducen costes. Por otro lado, las técnicas de producción de dichas membranas han conseguido reducir en gran medida los costes de producción y la durabilidad de las membranas. Estas mejoras se traducen en reducciones de costes no solo de inversión sino también de operación y mantenimiento.

El siguiente gráfico muestra cómo ha ido descendiendo el precio relativo de las membranas de osmosis inversa:



Fuente: Water International (march 2000)

Gran parte del futuro de la desalación por osmosis inversa está sujeta a los fabricantes de membranas, los aspectos en los que se debe realizar mayor esfuerzo en I+D son los siguientes:

- Resistencia al cloro y otros oxidantes.
- Mayor resistencia de ensuciamiento producido por coloides.

- Mayor productividad a menor presión de funcionamiento.
- Mayor selectividad en el rechazo de boro e iones monovalentes.
- Menor rechazo de iones divalentes.

2.2.3. Toma de agua y pretratamiento

Las membranas de ósmosis inversa son muy propensas a ensuciarse y bloquearse por organismos y sólidos suspendidos. Por esta razón es de vital importancia eliminar dichos sólidos antes de que lleguen a las membranas de ósmosis inversa para prevenir daños irreparables en las mismas. El punto más crítico de una planta de osmosis inversa es el pretratamiento y de él dependen los resultados de la planta.

Una buena toma de agua permite simplificar en gran medida el proceso de desalación y ahorrar costes en la operación y mantenimiento. La captación de agua mediante pozos playeros es una de las mejores opciones para simplificar el pretratamiento, dado que el agua captada es filtrada de manera natural a través del terreno. Sin embargo, existen ciertos factores que limitan el uso de pozos playeros. En primer lugar no se deben utilizar en terrenos con características arcillosas, dado que se podría producir colmatación y no ser posible obtener agua de los pozos. Por otro lado, cuando las instalaciones son muy grandes, mayores de 100.000 m³/día tampoco es recomendable su utilización no solo por problemas de permeación de caudales sino también por aceleraciones en los avances de las intrusiones salinas.

Los avances que se han dado en el pretratamiento están relacionados con las membranas de microfiltración y ultrafiltración. Dichos sistemas producen unos resultados óptimos a la vez que protegen al sistema de osmosis de posibles variaciones en las características del agua de entrada y posibles aceites que puedan aparecer. Los avances que se prevén a corto plazo en dichos sistemas harán que se impongan en todas las desaladoras de osmosis inversa, debido a su reducción de precio. Dichos avances serán similares a los que se han producido en las membranas de osmosis inversa:

- Mejora de los sistemas de limpieza
- Compatibilidad de membranas entre distintos fabricantes
- Mejora de los procesos de fabricación

2.2.4. Postratamiento

El agua que sale de las membranas de las membranas de osmosis inversa tiene un pH bajo y está desprovista de sus características oxidantes, por lo que se le añade hidróxido cálcico y CO₂ para que pueda ser utilizada para uso doméstico.

En un futuro es previsible que los costes de operación y mantenimiento se reduzcan debido a la eliminación o no utilización de los postratamientos. Solamente se realizarán postratamientos a aquellas aguas que requieran la condición de ser potables y vayan a ser distribuidas.

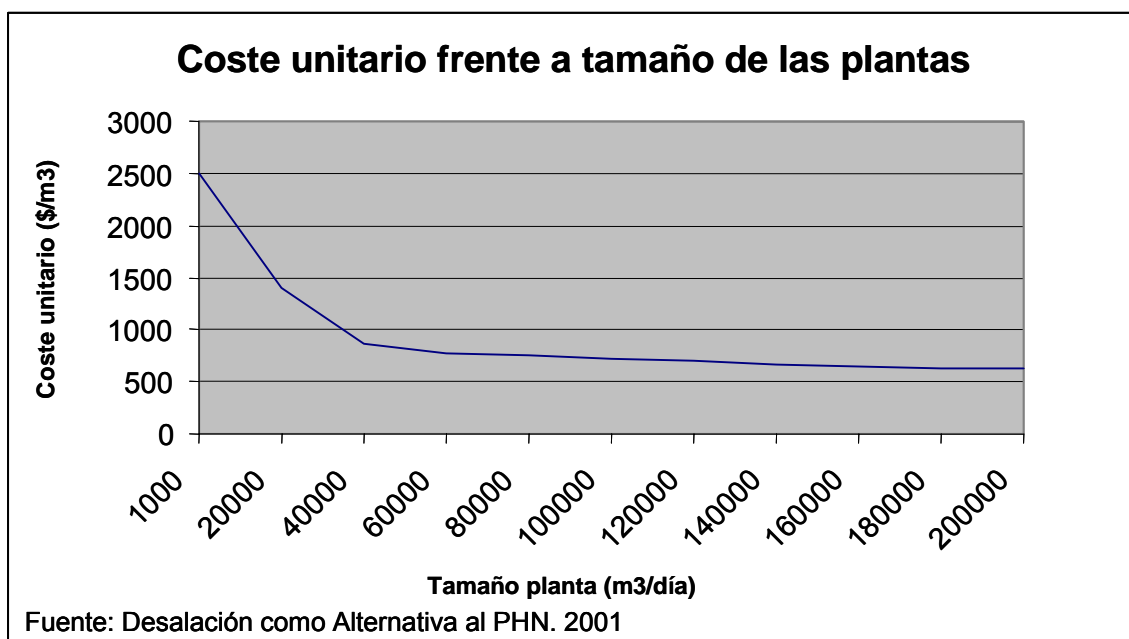
2.2.5. Tamaño de las plantas

El diseño y operación de plantas de gran escala no difieren significativamente de las de menor tamaño y las economías de escala pueden contribuir a la reducción de los precios unitarios

del coste de agua. En los últimos años el tamaño de las plantas viene siendo cada vez mayor con lo que los costes de desarrollo y permisos son menores si se comparan con el agua producida.

Las modularidad de plantas de ósmosis inversa es una gran ventaja a la hora de planear plantas de gran escala, puesto que hace que no exista un límite en el tamaño de las plantas. Las plantas de mayor tamaño pueden utilizar bombas más grandes y eficientes y también sistemas de recuperación de energía que resultan más eficientes para el ahorro energético.

El siguiente gráfico muestra cómo varía el coste unitario de las planta con el aumento de tamaño. Esta gráfica contiene costes de inversión no los costes totales del agua:



2.2.6. Case study

La planta de Escombreras es las experiencias más recientes de la empresa ACS (Grupo Cobra) en construcción y operación de plantas desaladoras de Ósmosis Inversa. La planta fue inaugurada en mayo de 2007 y su capacidad es de 72.000 m³/día.

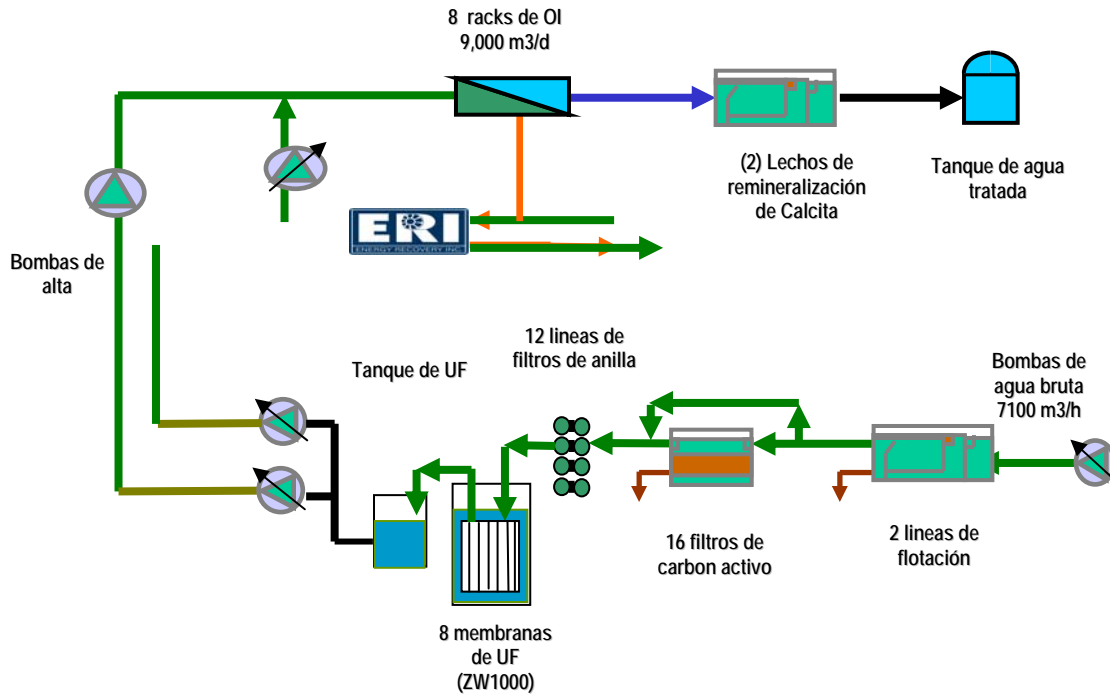
La planta está localizada en Cartagena (Murcia) y el agua producto es entregada a 11 municipalidades alrededor de la region de Murcia.

El agua bruta de entrada a la planta se capta directamente del Puerto Industrial de Escombreras donde muchas industrias realizan vertidos. Entre las industrias que desarrollan su actividad en la zona están:

- 1 Refinería de Petroleo (Repsol)
- 1 Planta de LNG (Enagás)
- 3 Ciclos Combinados (Gas Natural, Iberdrola, Gaz de France)
- 1 Fabrica de aceites blancos y sulfonatos naturales de Petróleo (Aemedsa)
- 1 Fabrica de sulfonatos (Ercros)

El proceso de la planta es uno de los más sofisticados a nivel mundial dado que el agua que abastece la planta proviene del Puerto y es utilizada por la planta de LNG para refrigerar antes de entrar en la desaladora. A continuación se muestra el proceso de la planta:

Características de la Planta:



Los datos técnicos generales son los siguientes:

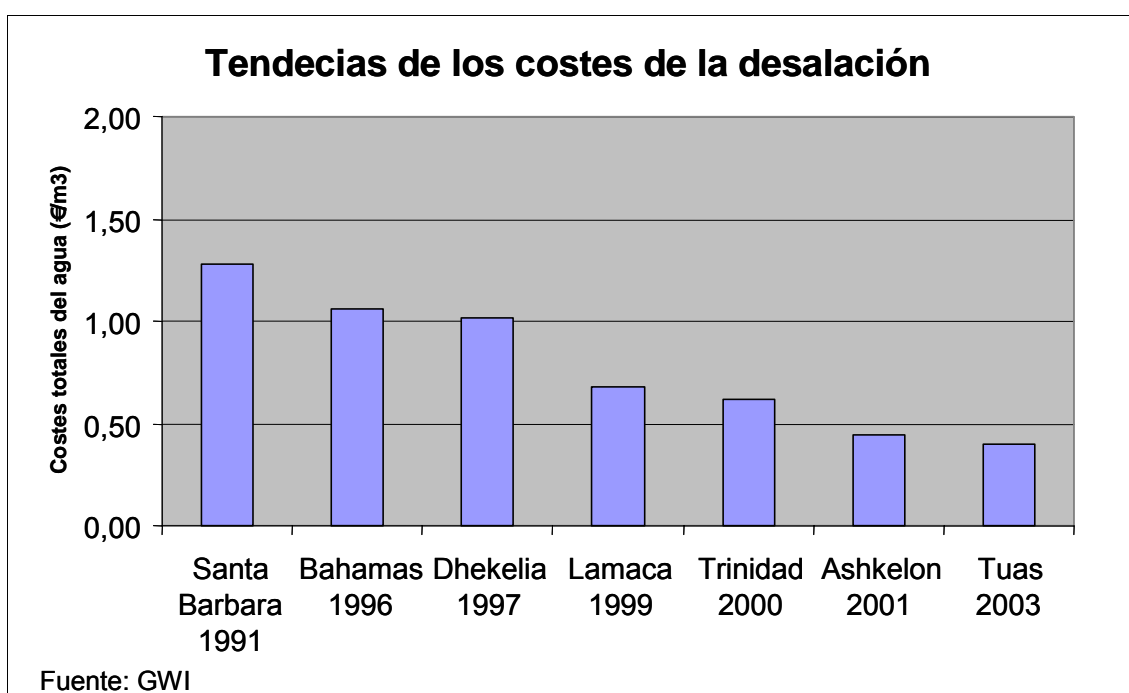
| | |
|--|--|
| Origen del agua bruta de entrada: | Torres de refrigeración de la planta de LNG |
| Características del agua bruta: | pH 8, contenidos de grasas e hidrocarburos y solidos suspendidos |
| Pretratamiento: | 2 líneas de flotación Filtros de carbon activo Filtros de anillos Ultrafiltracion Sumergida |
| Sistema de OI: | Único paso |
| | Garantía de 72,000 m3/día de agua producto |
| | Sistema de recuperación de energía: 7 Racks con ERI 1 Rack con Saltec |
| Remineralización: | Filtros de calcita |

2.3. Costes actuales de la desalación.

Resulta difícil realizar una comparación de los costes de la desalación dado que cada planta tiene características diferentes debido a las calidades del agua de entrada, salinidad, temperatura, tamaño de la planta y otros como los tipos de interés, costes de la energía, etc.

Los aspectos en los que más se ha conseguido reducir los costes de la desalación son los relacionados con la energía, debido principalmente a reducciones en el consumo específico de la energía y la amortización por los tipos de interés y valor de la inversión.

En el siguiente gráfico se observa de forma clara el descenso de los costes de la desalación, en el se encuentran algunas de las grandes plantas construidas en los últimos años:

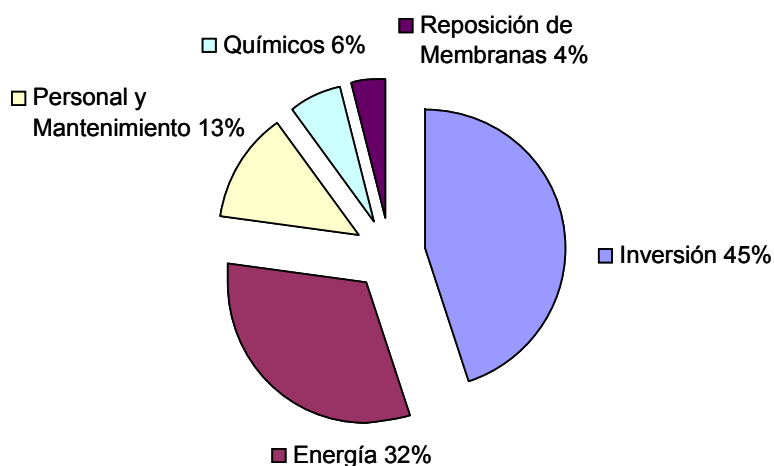


La variación de los costes de desalación en España se muestran en la siguiente tabla:

| Año | EU/m3 | US \$/m3 |
|------|-------|----------|
| 1970 | 2,1 | 2,33 |
| 1980 | 1,81 | 2,01 |
| 1985 | 1,11 | 1,23 |
| 1990 | 0,96 | 1,07 |
| 1992 | 0,87 | 0,96 |
| 1994 | 0,75 | 0,83 |
| 1996 | 0,66 | 0,73 |
| 1998 | 0,58 | 0,64 |
| 2000 | 0,52 | 0,58 |
| 2001 | 0,48 | 0,53 |

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de costes habitual de una planta de desalación por osmosis inversa. Se han considerado amortizaciones de la inversión a 20 años:

Distribución de costes de construcción y operación de una planta de OI



2.4. Mercado de desalación en España y en el Mundo.

Las tendencias de la desalación a nivel mundial dependen de cada zona por sus recursos y necesidades, por ello se ha dividido la tierra en cuatro zonas:

- El Golfo Pérsico
- El Mediterráneo
- Asia
- Las Américas

2.4.1. Región del Golfo Pérsico

La región del Golfo Pérsico es el mercado más grande para nuevas plantas de desalación en términos de capacidad, aunque no es el mercado con mayor crecimiento. También es el mayor mercado con respecto a la cantidad de inversiones necesarias.

Los países más significativos en desalación son los siguientes:

Arabia Saudita
Emiratos Árabes Unidos
Kuwait
Irak
Jordania
Omán

De estos países se prevé que sobre el 80 % de las inversiones de los 10 próximos años se efectúen entre Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait. Los crecimientos en desalación de Irak, Jordania y Omán se espera que supere el 100 % en ese mismo periodo.

Dentro de la región del Golfo Pérsico se prevé que la desalación térmica siga siendo mayoritaria, quedando la ósmosis inversa como segunda opción. Aproximadamente el 30 % de las inversiones en desalación será por membranas.

2.4.2. Región del Mediterráneo

Aunque el mediterráneo no sea el mercado más importante para nuevas plantas de desalación en términos de volumen, se prevé que sea el de crecimiento más rápido en los próximos años.

Entre los países con mayor crecimiento destacan Argelia y Marruecos puesto que tendrán gran demanda debido al crecimiento de la población y el desarrollo industrial. También se prevé un considerable crecimiento en Libia.

En los países Europeos con costa en el Mediterráneo el crecimiento no será tan fuerte puesto que el crecimiento de la población no será tan elevado y sus recursos hídricos son mejores, aunque existen zonas con fuerte demanda estacional. Los países con mayor crecimiento serán España e Italia. En España en concreto se prevé un crecimiento aproximado del 90 % en los próximos 10 años, puesto que se considera la desalación como la alternativa ecológica. La desalación por ósmosis inversa será opción más utilizada en el mediterráneo, se prevé que aproximadamente el 70 % de las nuevas plantas utilicen esta membranas.

2.4.3. Desalación en España

Aunque la dotación por habitante y año es relativamente alta, el grave desequilibrio entre los recursos hídricos (motivado por la irregular pluviometría de la geografía) y los consumos soportados en ciertas zonas con agricultura intensiva de regadío e infraestructura turística (que además consume en la época de menores precipitaciones), han llevado a España a ser el país Europeo con mayor producción en agua desalada. La desalación en España queda sin embargo reducida al Levante, Murcia, Andalucía, los dos archipiélagos y las ciudades del Norte de África. En dichas zonas, se puede evaluar la demanda total urbana asociada al turismo como una población equivalente de 7 millones de personas.

Se estima que la capacidad instalada actual es de 1.400.000 m³/día, de los cuales un 42% corresponde a desaladoras de agua de mar y un 58% a agua salobre. La distribución de los usos de esta agua se muestra en la siguiente tabla:

| Agua | Total (m ³ /ano) | % Urbano y turismo | % Agricultura | % Industria |
|---------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------|
| Mar | 588.000 | 94,4 | 5,6 | - |
| Salobre | 812.000 | 20,4 | 47,6 | 32 |

Fuente: DBK

Observamos que en España la desalación de agua salobre para la agricultura intensiva de regadío se ha extendido considerablemente a pesar del sobrecoste producido por el proceso de desalación con respecto a la obtención por otros métodos o de forma natural. Puede decirse que prácticamente es nuestro país el único que realmente consume aguas desaladas para su

utilización agrícola, aunque haya países que sí utilizan aguas desaladas para el riego de jardines, ante la imposibilidad de otras fuentes (Abu Dhabi –UAE-, Arabia Saudí).

Es interesante resaltar la situación existente en el Archipiélago Canario y la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia con características ligeramente diferentes al resto de zonas afectadas por la escasez de recursos.

Las islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística. A partir de los setenta, la sobreexplotación de los escasos recursos acuíferos de las islas estaba llegando a límites preocupantes, ello ha supuesto que islas prácticamente desérticas como Lanzarote (140 mm. de precipitación anual) y Fuerteventura se abastezcan sólo con agua desalada, y en el caso de Gran Canaria llegue al 80% del total.

El segundo caso digno de mencionar es la Comunidad Autónoma Murciana, comunidad estructuralmente deficitaria debido al consumo agrícola derivado de sus explotaciones de regadío intensivo. La sobreexplotación de los acuíferos para el regadío los ha convertido en aguas salobres de difícil uso agrícola, con lo que ha sido necesario instalar gran cantidad de pequeñas desaladoras de agua salobre de mínimo mantenimiento y gestión de los propios agricultores. La oferta de agua desalada de agua de mar se concentra en grandes instalaciones en poblaciones costeras.

A continuación se muestran las mayores plantas de agua desalada:

| Nombre/Lugar | Capacidad (m³/día) | Año |
|------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Carboneras | 125.000 | 2.004 |
| Cartagena | 65.000 | 2.004 |
| Palma de Mallorca | 63.000 | 1.998-2.001 |
| Las Palmas III | 63.000 | 1.990-2.001 |
| Marbella | 55.000 | 1.997 |
| Almería | 50.000 | 2.004 |
| Alicante | 50.000 | 2.003 |
| Las Palmas-Telde | 35.000 | 2.004 |
| Cdad Regantes Mazarrón | 30.000 | 1.997-2.000 |
| Sureste Gran Canaria | 28.000 | 1.995-2000 |
| Javea | 26.000 | 2.002 |
| Sta. Cruz Tenerife | 22.500 | 2.001 |
| Tordera | 22.000 | 2.001 |
| Adeje-Arona | 20.000 | 1.998-2000 |
| Lanzarote III | 20.000 | 1.992-1996 |
| Inalsa IV | 20.000 | 1.999 |

La victoria del partido socialista en las últimas elecciones ha traído consigo una reorientación política del agua, que se materializa en el programa AGUA (Actuaciones para la

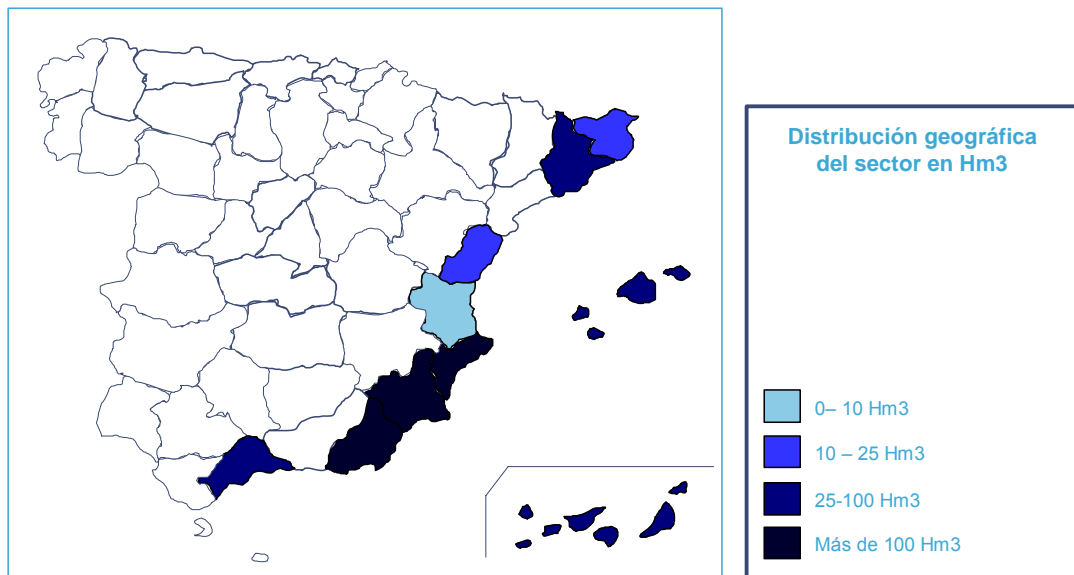
Gestión y la Utilización del Agua). El objetivo de dicho programa es garantizar la disponibilidad y calidad del agua en cada región de España y en concreto en las cuencas mediterráneas. Uno de los pilares sobre los que se sustenta dicho plan es la desalación, de ahí que las perspectivas de crecimiento del mercado de la desalación sean tan favorables.

Entre las actuaciones y reformas que se llevarán a cabo en el marco regulatorio figuran las siguientes:

- Se reformarán las Confederaciones Hidrográficas, incorporando a las Comunidades Autónomas al proceso de toma de decisiones y de control público del uso del agua y de su calidad y fomentando la participación de todos los ciudadanos en la gestión del agua.
- En cada cuenca hidrográfica se creará un Banco Público del Agua, que permitirá reasignar los derechos históricos al agua con criterios de equidad, eficiencia y sostenibilidad.
- Se establecerán tarifas del agua acordes con los costes reales de obtención y de tratamiento del agua, moduladas en función del beneficio económico generado por la utilización del agua, según lo exige la normativa europea.
- Se acometerán las actuaciones de mejora de la gestión y del suministro de agua de calidad, acordes con las necesidades existentes y, en particular, las dirigidas a:
 - Optimización de las infraestructuras de almacenamiento y distribución existentes (tanto de regadío como de abastecimiento urbano).
 - Depuración y reutilización.
 - Desalación.

En la siguiente tabla se muestra las acciones previstas por el programa AGUA:

Perspectivas de producción de agua desalada por provincias.



Proyectos en funcionamiento, en construcción en proyecto o en fase de información pública.

Teniendo en cuenta la capacidad de desalación instalada actual, las plantas que están en construcción y las que están en fase de licitación, se ha elaborado la siguiente gráfica con la previsión en capacidad instalada:

2.4.4. Región de América

Dentro de esta región se incluye tanto Norte América, Centro América como Sudamérica. El mercado de desalación en este mercado está claramente dominado por Estados Unidos, aunque en desalación de agua de mar la zona del Caribe tiene mayor capacidad instalada.

En la próxima década se prevé que los Estados Unidos sobrepase con creces al Caribe en términos de desalación de agua de mar. El crecimiento de la población y la reducción en agua disponible en zonas como Florida, Texas, y el Sur de California hará que estas regiones necesiten grandes plantas de desalación de agua de mar. En cualquier caso el mercado de los Estados Unidos deberá superar muchos obstáculos en regulatorios y financieros para que se convierta en un mercado masivo en sus costas.

El Caribe es una de las zonas donde mejor se ha establecido la desalación, ha sido pionera en la utilización técnicas de desalación tanto térmicas como por membranas durante la década de los 70 y los 80. Esta región continúa creciendo gracias al turismo y al reemplazo de antiguas plantas.

En América el mercado con más potencial para crecer es México, puesto que el crecimiento de su población es muy fuerte y sus recursos hídricos son bastante limitados, aunque México todavía tiene que superar ciertas barreras institucionales y financieras para que los proyectos empiecen a materializarse. Por otro lado Chile también tiene cierto potencial de

crecimiento sobre todo en la zona donde se sitúa el desierto Atacama. En esa zona con industria minera tiene grandes necesidades de agua tanto para uso industrial como doméstico.

Este mercado es actualmente el segundo mercado en desalación después de la región del Golfo, debido sobre todo al gran mercado que posee Estados Unidos en desalación de agua salobre. Se prevé que a largo plazo sea el mercado más grande en el mundo.

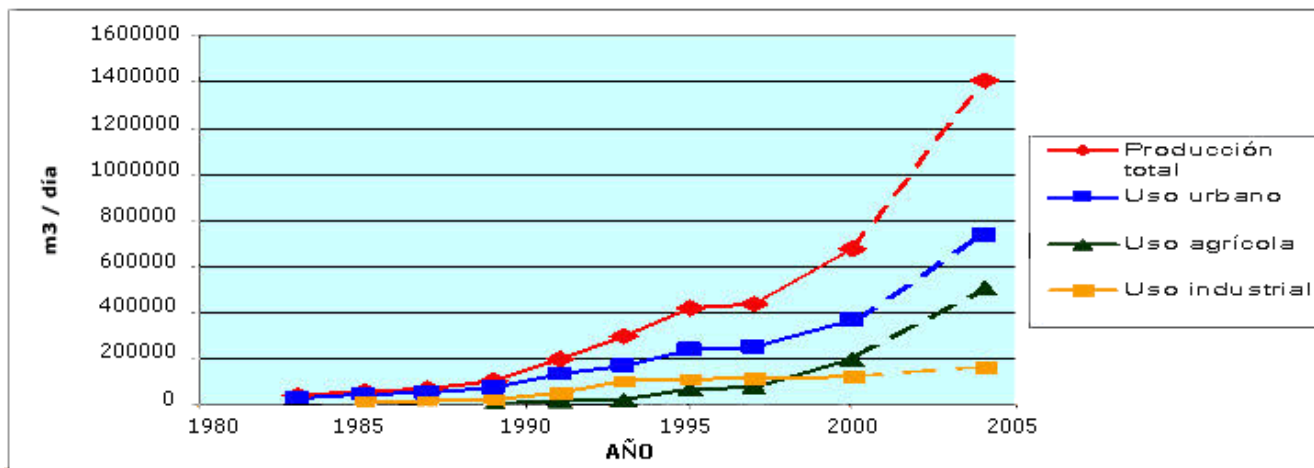
2.4.5. Región Asiática

El mercado asiático está actualmente dominado por el sector industrial. Excepto algunas excepciones en países como Singapur no están siendo construidas grandes plantas de desalación de agua marina para usos domésticos. Los mercados más importantes se encuentran en Japón y Corea, donde se purifican grandes volúmenes de agua dulce y salobre para usos industriales mediante técnicas de desalación.

Por otro lado, Asia tiene grandes concentraciones de población en zonas con carencias de agua potable. En lugares como China, India y Pakistán se empiezan a proyectar grandes plantas para uso doméstico. El gran problema de estos países es la financiación, puesto que sus ingresos per cápita no son muy elevados.

2.5. Calidad y usos del agua desalada.

La desalación de agua en España se utiliza principalmente para uso domestico, sin embargo el uso agrícola e industrial también es considerable. En la siguiente tabla se muestran los usos del agua desalada en España:



Fuente: Hispagua (CEDEX)

Las principales regulaciones concernientes a la calidad del agua para consumo humano son las que establecen los siguientes organismos:

- La Organización Mundial de la Salud
- Unión Europea

Los estándares europeos son más recientes (1998), completos y estrictos que los estándares de la OMS (1993). Algunos ejemplos son:

- Boro (B): Directriz reducida de 0,3 mg/l a 0,001 mg/l.
- Bromato (Br): No mencionado por la OMS, directriz de 0,01 mg/l en los estándares europeos.
- Manganeso (Mn): Directriz reducida de 0,5 a 0,05 mg/l.
- Cianuro (CN): Directriz reducida de 0,07 a 0,005 mg/l.

Pero en algunos casos las directrices europeas son menos estrictas que las de la OMS:

- Cadmio (Cd): La directriz fue elevada de 0,003 a 0.005 mg/l.

2.6. Impacto ambiental. Vertidos y consumos de Energía.

Un de los aspectos que implican un coste medioambiental importante en la desalación de Osmosis Inversa es el de los vertidos de salmueras procedentes de las desaladoras. Uno de los primeros aspectos a aclarar es que la sal que se vierte al mar es la igual a la captada.

Los vertidos procedentes de las plantas desaladoras consisten fundamentalmente en un 98,5 % en rechazo de agua con alto contenido salino y en un 1.5 % en agua de lavado de filtros y productos de limpieza:

- Salmuera: Su concentración de sales depende del agua bruta a captar
- Agua de lavado de los filtros de arena: Este efluente es discontinuo y suele tener una duración de 12 a 18 minutos. Representa de 1 al 2% del volumen total vertido.
- Reactivos de limpieza de membranas: Este efluente es discontinuo y depende de la calidad del agua bruta y efectividad del pretratamiento. Representa de 0,5 a 1 % del volumen total de vertido.

El principal problema de los vertidos de las desaladoras es la destrucción de las posidoneas por su escasa tolerancia a los vertidos hipersalinos. Dichas plantas son consideradas primordiales para la biodiversidad marina. Las soluciones que se utilizan para abordar dicho problema son los siguientes:

- Emisarios submarinos: Los emisarios son tuberías submarinas que traspasan la barrera de posidoneas para que los vertidos no interfieran en su desarrollo. Las longitudes de dichos emisarios pueden superar los 2 km de distancia.
- Estudio De Batimetría Y Correntometría: Son estudios del fondo marino y sus corrientes que permiten optimar la colocación de los emisarios submarinos para minimizar su impacto.
- Empleo de difusores especiales: Dichos elementos distribuyen los vertidos hipersalinos en el espacio para minimizar su impacto.

3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

3.1. Introducción.

3.1.1. Déficit hídrico actual y futuro.

España, desde una perspectiva hídrica, se caracteriza por una gran diversidad geográfica, lo que a su vez desemboca en una gran heterogeneidad de entornos hidrológicos, caracterizándose por un norte lluvioso y un sur con escasez de lluvias, debiéndose enfrentar cada cuenca hidrográfica a la mejor forma de explotar sus recursos hídricos, siendo estos a la vez muy estacionales.

En la actualidad la reserva hídrica española se encuentra en torno a un 42,2 % de su capacidad total, siendo las cuencas más meridionales, en las que se acentúa esta falta de reservas, encontrándose la cuenca mediterránea Andaluza al 21,8 %, la del Segura al 15,1 %, la del Júcar al 22,4 %, la del Guadalquivir al 31,8 %, encontrándose el resto de cuencas en valores que fluctúan entre el 42% y el 68 % de la capacidad total.

Según estos datos se puede constatar que es en las cuencas del mediterráneo español, donde el clima es más seco, en las que el déficit hídrico está más acentuado.

España tiene un índice de explotación hídrica superior al 30% (consumo anual/recursos), existiendo una gran desigualdad entre las regiones septentrionales y las más meridionales; mientras que en el Norte el índice se sitúa entre el 3-5 %, en otras zonas de las cuencas de los ríos Júcar o Segura está por encima del 100 %.

España, al igual que el resto de los países de la cuenca mediterránea, debe enfrentarse hoy en día a los efectos del cambio climático; la disminución de las lluvias, el aumento de las temperaturas y el descenso del caudal de los ríos, acrecentándose en las zonas más meridionales debido a los procesos de evaporación.

Actualmente en España el consumo de agua es creciente y la escasez de precipitaciones no ayudan a aumentar el nivel de los embalses, provocando el llamado “estrés hídrico”, término que identifica un índice de explotación del agua que supera el 50 %, es decir, se consume más de la mitad del agua que se recibe como resultado de las precipitaciones.

En la vertiente mediterránea es previsible un crecimiento del déficit hídrico debido al incremento demográfico a medio y largo plazo, agravándose esta tendencia demográfica por el turismo.

El turismo no solo incidirá en el aumento de la población, si no también en los recursos necesarios que este lleva asociado. Un ejemplo es el creciente aumento de campos de golf en la vertiente mediterránea en particular y en España en general, haciéndose necesarias medidas de explotación sostenible de los recursos hídricos, así como de nuevas vías de economización de los recursos ya existentes, reconociendo la importancia del concepto de reutilización del agua para paliar las necesidades futuras.

Junto con el turismo, el regadío es un sector relevante en cuanto a la utilización de recursos hídricos se refiere, así como en la ocupación de superficie. Aunque como tendencia general hay un descenso de la actividad agrícola respecto del auge del sector

servicios, todavía hay provincias dónde este sector aporta al valor añadido bruto total nacional hasta un 15 %, siendo la media de aportación española del 5 %.

Con el déficit hídrico actual y la tendencia a acrecentarse, es notable la urgencia del uso sostenible de un recurso escaso como el agua, englobando a todos los sectores tanto políticos como económicos y sociales, en el esfuerzo común por ahorrar y, en la medida de lo posible aumentar las reservas hídricas existentes, teniendo en cuenta tanto las opciones convencionales como son la regulación por medio de embalses y la explotación de las aguas subterráneas, así como las consideradas hoy en día no convencionales como la desalación y reutilización directa de aguas residuales, valorando en cada situación concreta, tanto económica como medioambiental y socialmente, el camino para paliar los efectos de la sobreexplotación de este recurso natural.

3.1.2. Disponibilidad de agua a regenerar.

El volumen de agua disponible está relacionado con la cantidad de agua residual depurada, de modo que está comprobado que el impulso de la depuración revierte en un aumento de reutilización. En España, la reutilización aumentó con el crecimiento de la depuración de las aguas residuales fundamentalmente desde la promulgación de la Directiva 91/271/CEE y su transposición al ordenamiento jurídico español, a través de la Ley 11/1995 y el Real Decreto 509/1996.

En concreto, la implantación de esta legislación supuso el desarrollo por parte de la Administración General del Estado, a través del Ministerio de Medio Ambiente y con la colaboración de las Comunidades Autónomas, del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (PNSD) como pieza fundamental de planificación de las diferentes infraestructuras en materia de saneamiento y depuración. Dicho plan se ejecutó con un horizonte al año 2005, siendo el instrumento coordinador de las diferentes Administraciones con competencia en el tema.

Como continuación al PNSD 1995-2005, en junio de 2007 se aprobó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración PNCA 2007- 2015 que cuenta con una inversión de 19.007 millones de euros. Su objetivo es cumplir con los objetivos del anterior Plan y ampliar las actuaciones previstas en el mismo para alcanzar un buen estado ecológico en los ríos, tal y como exigen la Directiva Marco del Agua y el Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua) del antiguo MMA. Tanto en el PNCA como en el Programa AGUA, se establecen convenios bilaterales con las Comunidades Autónomas que incluyen actuaciones de depuración y reutilización de aguas depuradas para conseguir una gestión más sostenible del agua.

El número total de estaciones depuradoras en el año 2007 es de 2.335, con un caudal de unos 3.400 Hm³/año. Puede estimarse que la ejecución del PNCA va a significar un incremento de los volúmenes de aguas residuales depuradas de unos 1.500-1.800 Hm³/año, lo que permitirá aumentar el volumen de agua susceptible de reutilización, y acercarla a las zonas potenciales de demanda.

No obstante, el aumento de los volúmenes depurados no va a significar un incremento automático de la reutilización ya que existen diversos factores que pueden frenar su extensión, entre los que destacan la falta de regularidad en la calidad del efluente depurado en algunas EDAR debido a problemas internos de la planta (operación

deficiente, bajos presupuestos de explotación, etc.) o externos a ella que tienen lugar en la red de saneamiento (vertidos incontrolados, intrusión salina en colectores, etc.); la necesidad de utilizar los efluentes depurados para garantizar el caudal ecológico, especialmente en los momentos de estiaje o épocas de sequía y la dificultad de convertir las demandas potenciales en reales, especialmente en el caso de reutilización en riego agrícola, debido a la resistencia de los agricultores a sustituir los recursos tradicionales por el agua regenerada (prevenciones sanitarias, mayores costes del agua regenerada, etc.). Finalmente, la potencialidad de la reutilización es un hecho incontrovertible, pero su consolidación como recurso no convencional estratégico es un reto que obliga a todos los actores con responsabilidad en el asunto a actuar de forma coordinada y con absoluto rigor en la planificación de las actuaciones futuras.

La situación de la reutilización en España ha sido ampliamente estudiada por el Área de Tecnologías del Agua del CEDEX en el marco del Convenio de Colaboración entre la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), para la realización de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de tratamiento y calidad de las aguas y ha sido encomendado a los técnicos del Servicio de Tratamiento y Depuración de Aguas del Centro de Estudios Hidrográficos (CEH).

Este trabajo permitió elaborar una Base de Datos de Reutilización de efluentes depurados en todo el territorio español (BDR-CEDEX). Con los datos recopilados en la BDR-CEDEX se puede analizar la potencialidad futura de las actuales instalaciones de reutilización.

Partiendo de esta información se concluye que actualmente en España se reutilizan 368 Hm³/a. De éstos, 190 Hm³/a están sometidos a un tratamiento de regeneración capaz de depurar el agua residual hasta los requerimientos de calidad exigidos en el Real decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas se aprobó el 7 de diciembre de 2007. Es decir, están adaptados al RD. Los 178 Hm³/a restantes deben adaptarse al RD mediante la construcción o modificación del sistema terciario de depuración. Esta adaptación debería finalizar antes de Diciembre del 2009, que es el plazo que señala el Real Decreto.

Para el año 2015, es previsible disponer de 836 Hm³/a. Este dato se obtiene añadiendo al caudal reutilizado actualmente (368 Hm³/a) la previsión de reutilización a 2015. La previsión de reutilización calculada es de 468 Hm³/a, valor que se obtiene a partir de los caudales depurados corregidos con las demandas previsibles. Los caudales depurados son los precedentes de las EDARes, la mayoría de ellas con un terciario en funcionamiento o en proyecto y que actualmente no van destinados a reutilización pero que con una ligera adaptación podrían reutilizarse. La corrección de este valor por demanda se obtiene considerando los usos posibles situados a una distancia inferior a 25 km y a una diferencia de cota de 100 metros.

A partir del año 2015, teniendo en cuenta el volumen de agua depurado corregido en función de las demandas, quedarían 194 Hm³/a reutilizables que sumados a los 836 Hm³/a ya en marcha supondrían unos 1030 Hm³/a.

En resumen, la previsión quedaría de la siguiente manera:

| AÑO | Hm ³ /a |
|--------|--------------------|
| 2006 | 368 |
| 2015 | 836 |
| > 2015 | 1.030 |

Tabla 1: Previsiones de reutilización en España (caudal acumulado)

Con los supuestos antes señalados, las previsiones de reutilización en España distribuidas por demarcaciones hidrográficas serían:

| DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA | 2009 | 2015 | > 2015 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Hm ³ /a | Hm ³ /a | Hm ³ /a |
| Cantábrico | 0 | 2 | 2 |
| Miño-Sil | 0 | 3 | 5 |
| Duero | 0 | 1 | 39 |
| Tajo | 6 | 75 | 104 |
| Guadiana | 2 | 10 | 19 |
| Guadalquivir | 5 | 30 | 78 |
| Segura | 105 | 116 | 116 |
| Júcar | 128 | 259 | 259 |
| Ebro | 14 | 21 | 83 |
| C.I. País Vasco | 0 | 1 | 1 |
| Galicia costa | 0 | 1 | 1 |
| C.I. Andalucía | 20 | 58 | 58 |
| C.I. Cataluña | 42 | 190 | 190 |
| Baleares | 28 | 40 | 44 |
| Canarias | 18 | 30 | 31 |
| TOTAL | 368 | 836 | 1.030 |

Tabla 2: Previsiones de reutilización en España distribuidas por demarcaciones hidrográficas

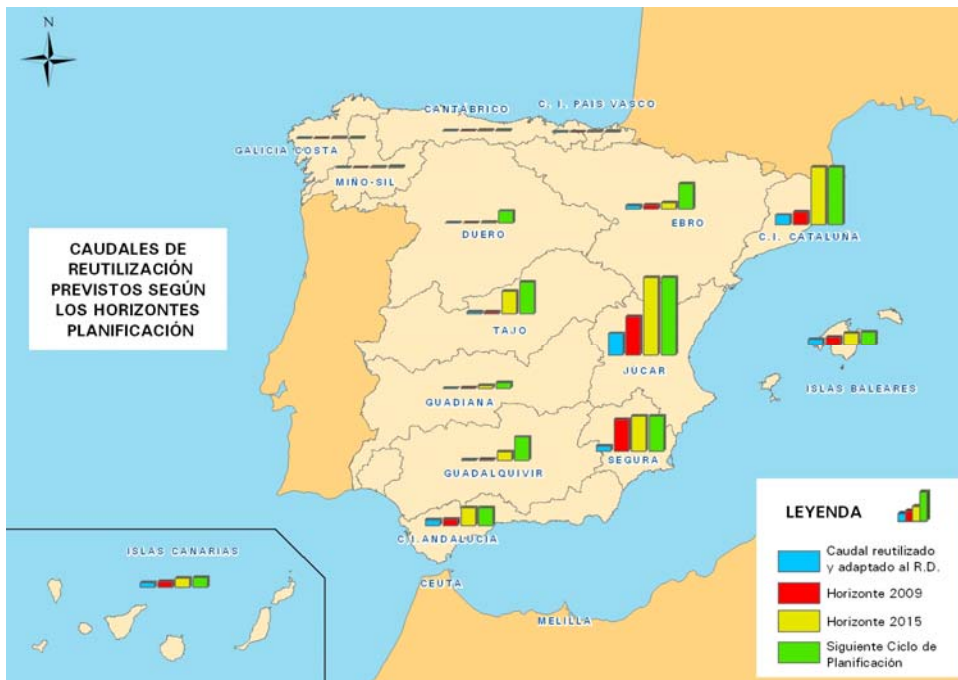


Ilustración 1: Previsiones de reutilización en España distribuidas por demarcaciones hidrográficas.

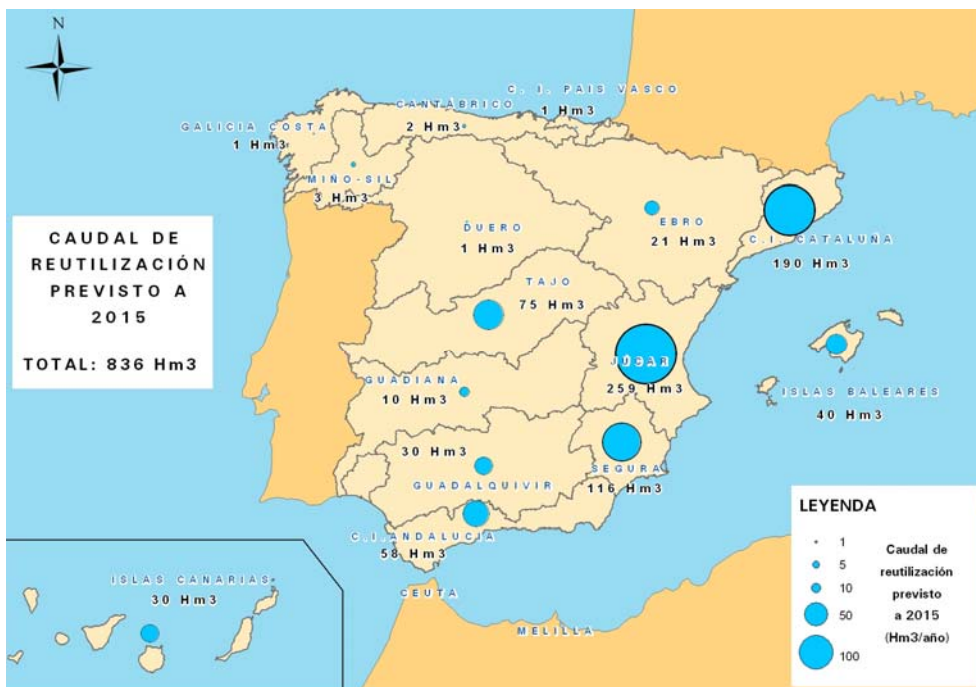


Ilustración 2: Previsiones de reutilización en España distribuidas por demarcaciones hidrográficas previstas para 2015.

3.2. La reutilización del agua y los objetos medioambientales de Directiva Marco del Agua (2000/60/CE).

3.2.1. Influencia en el alcance de los objetivos.

España es, pues, un país con fuertes desequilibrios hídricos por el bajo nivel y la irregularidad de los recursos tanto en el espacio como en el tiempo.

La reutilización de aguas residuales es imprescindible para cerrar el ciclo del agua y en una política integrada del agua.

La reutilización de aguas residuales es un sistema de obtención de agua no convencional, frente a los convencionales de captación, y, teóricamente, continua en el tiempo.

Ahora bien, no todas las aguas depuradas son susceptibles de ser reutilizadas, a lo largo del año no son necesarios los mismos caudales y es necesaria una garantía de calidad. A este punto se le debe añadir el exceso de salinidad de las aguas regeneradas debida a la calidad del agua de abastecimiento

La reutilización de aguas residuales puede ser de dos tipos: indirecta o incidental y directa o planificada.

La reutilización de aguas residuales indirecta supone la dilución en un medio natural de las aguas tratadas, lo que supone la pérdida de calidad del recurso al disminuir la calidad con la mezcla.

La reutilización de aguas directa no supone esta dilución, reutilizando el recurso usado sin disminuir la calidad del recurso y puede tener una utilización como agua no potable para consumo. Por el contrario, esta forma de reutilización tiene el inconveniente de las necesarias redes de distribución de agua regenerada hasta su punto de reutilización.

Es importante señalar que el agua residual se produce, depura y regenera en los núcleos urbanos, que cuanto mayor es el núcleo urbano mayor es la cantidad de agua que se puede regenerar, pero como la mayor parte de esta agua regenerada se utiliza en agricultura, cuanto mayor es la población mayor es la distancia a la que se encuentran los campos de cultivo.

Por esto es fundamental la reutilización de esta agua regenerada en usos urbanos residenciales o en servicios urbanos.

El Plan "Madrid Dpura" tiene prevista la construcción de 1.200 km de tuberías para aguas regeneradas, con una inversión de 150 millones de euros para estos usos urbanos del agua regenerada.

La construcción de nuevas infraestructuras que solucionen el problema de la distancia entre el punto de producción y el de utilización no acaba con el problema.

Dada la gran variedad de calidades del agua regenerada que contempla el Real Decreto 1620/2007, es un problema definir la calidad de agua regenerada a suministrar en una infraestructura creada, por ejemplo, para riego agrícola puesto que en un mismo terreno de cultivo pueden darse cultivos para consumo humano en fresco, no en fresco o leñosos con frutos, que requieren distintas calidades.

La reutilización de aguas residuales no sólo permite el incremento de los recursos disponibles sino que, además, minimiza el impacto de los vertidos en el medio hídrico.

Dos aspectos son fundamentales en la reutilización de las aguas residuales:

- Los costes.
- La seguridad humana y ambiental.

Un tercer aspecto es fundamental en la reutilización de aguas residuales y es la alta conductividad de los efluentes de las estaciones de depuración debido a la ya alta conductividad de las aguas de abastecimiento.

El aspecto económico, además del de la sostenibilidad, se contempla en la “Directiva Marco del Agua” (DMA), Directiva 2000/60/CE, donde se exige el análisis económico del uso del agua. En su Artículo 9, “Recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua”, se dice:

1. Los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, a la vista del análisis económico efectuado con arreglo al anexo III, y en particular de conformidad con el principio de que "quien contamina paga".

Los Estados miembros garantizarán, a más tardar en 2010:

- que la política de precios del agua proporcione incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos y, por tanto, contribuyan a los objetivos medioambientales de la presente Directiva;
- una contribución adecuada de los diversos usos del agua, desglosados, al menos, en industria, hogares y agricultura, a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, basada en el análisis económico efectuado con arreglo al anexo III y teniendo en cuenta el principio de que "quien contamina paga".

Al hacerlo, los Estados miembros podrán tener en cuenta los efectos sociales, medioambientales y económicos de la recuperación y las condiciones geográficas y climáticas de la región o regiones afectadas.”

La DMA indica que la reutilización de las aguas procedentes de un aprovechamiento requiere, como norma general, de concesión administrativa. Se requerirá únicamente de una autorización cuando la reutilización es solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas ya depuradas,

El titular de la concesión o autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento.

La seguridad humana y ambiental del agua residual reutilizada se contempla en el Real Decreto 1620/2007 de “Reutilización de Aguas Depuradas”, donde se definen los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos.

Previo a este, el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, “por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas” ya citaba en su Artículo 109, “Régimen jurídico de la reutilización”:

- 1. El Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos.

El Real Decreto 1620/2007, de 2007, teniendo en cuenta que en el periodo 2000-2005 el volumen de agua reutilizada aumentó un 69%, relaciona los “Valores Máximos Admisibles” (VMA) con los usos del agua previstos.

Los VMA a controlar son de dos tipos: microbiológicos y contaminantes

Los parámetros microbiológicos son:

- Nemátodos intestinales.
- Escherichia coli.
- Legionella spp.
- Taenia saginata.
- Taenia solium.

Los parámetros de contaminación incluyen:

- Sólidos en suspensión.
- Turbidez.
- Nitratos.
- Nitrógeno Total.
- Fósforo Total.
- Sustancias peligrosas orgánicas y metales.

El Real Decreto 1620/2007, contiene, como definiciones importantes la de “Reutilización de las Aguas” y la de “Aguas Regeneradas”:

- “Reutilización de las Aguas”: aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.
- “Aguas Regeneradas”: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

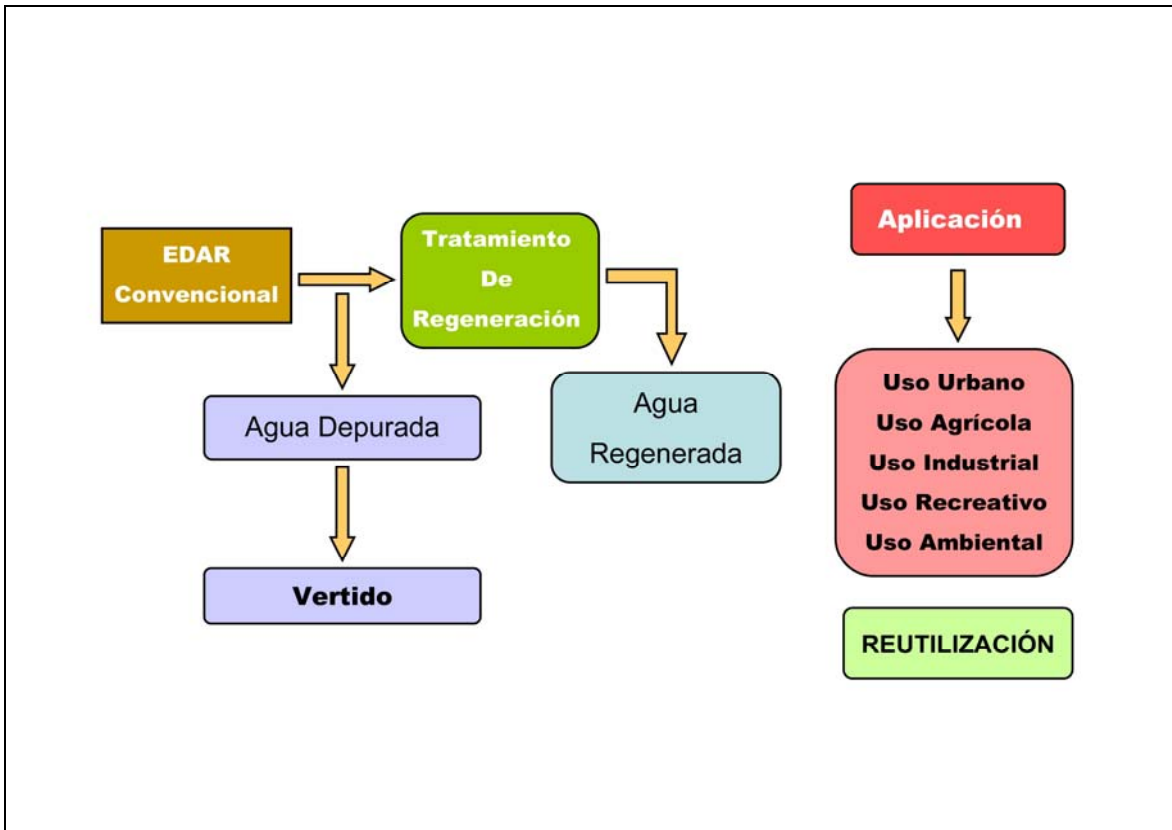


Ilustración 3: Proceso de Depuración y Regeneración de Aguas Residuales.

De esta forma, el agua regenerada puede utilizarse en usos ambientales, urbanos, agrícolas, industriales y recreativos: recarga de acuíferos, riego de zonas verdes y de campos de golf, limpieza de calles, riego de áreas de pasto para la producción de leche y carne, bosques, diversos tipos de agricultura y acuicultura y torres industriales de refrigeración excepto de industria alimentaria.

Las prohibiciones de reutilización son las relacionadas con actividades que supongan un riesgo para la salud humana o que sean perjudiciales para el medio ambiente: consumo humano, industria alimentaria, instalaciones hospitalarias, cultivo de moluscos filtradores, aguas de baño, fuentes de espacios públicos, etc.

Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades provocadas por el consumo del agua contaminada con restos fecales de humanos o animales y que contiene microorganismos patogénicos.

Las enfermedades relacionadas con el agua más comunes son: Anemia, Anquilostomiasis, Arsenicosis, Ascariasis, Botulismo, Toxinas cianobacteriales, Dengue, Diarrea, Hepatitis, Encefalitis japonesa, Legionelosis, Leptospirosis, Filariasis linfática, Malaria, Metahemoglobinemia, Oncocercosis, Polio, Tinea, Escabiosis, Tracoma, Tifoide, etc.

Para alcanzar los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua será necesario:

- Coste razonable del agua regenerada.
- Garantía de seguridad sobre la salud humana y el medioambiente.

3.2.2. Papel de la reutilización del agua en el desarrollo sostenible.

Para el uso sostenible del agua es imprescindible la reutilización de las aguas residuales depuradas, pues este proceso forma parte del ciclo natural del agua, aumentando los recursos disponibles y minimizando el impacto ambiental de su vertido.

El Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) dirigido a lograr una mejora en la gestión y en la reutilización del agua, tiene como uno de sus objetivos fundamentales el incorporar un avance hacia una mayor sostenibilidad en el uso de los recursos hídricos, incluyendo la reutilización de aguas depuradas a la oferta de estos recursos.

El Programa A.G.U.A. reconoce como beneficios de la reutilización del agua residual, los siguientes:

- Posibilita un incremento sustancial de los recursos existentes en las zonas en que los efluentes depurados se vierten al mar.
- Permite una mejor gestión de los recursos, al permitir sustituir con aguas regeneradas, volúmenes de agua de mayor calidad, que pueden destinarse a usos más exigentes.
- Reduce el aporte de contaminantes a los cursos de agua.
- Evita la necesidad de realizar costosas infraestructuras para transportar recursos adicionales desde zonas alejadas, eliminando también los problemas medioambientales que este tipo de obras pueden producir.
- Permite, en el caso de que el destino de la reutilización sea la agricultura, un aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el agua residual, lo que reduce la cuantía de abonos a utilizar por los agricultores.
- Garantiza una mayor fiabilidad y regularidad del agua disponible.
- Estas consideraciones hacen de la reutilización de efluentes depurados un instrumento válido y eficaz para lograr una gestión renovada de los recursos hídricos más equilibrada y sostenibles, que ponga el énfasis en el ahorro y en la satisfacción de las necesidades medioambientales.

Si para la reutilización del agua depurada es fundamental el estudio de los costes y la seguridad humana y medioambiental, será necesario el desarrollo de herramientas de análisis económico, social y medioambiental de la reutilización de aguas residuales, o, lo que es lo mismo, de herramientas de desarrollo sostenible.

Aunque el primer documento que hace referencia a la necesidad de la sostenibilidad fue elaborado en el año 1972 por el Club de Roma, la primera definición de “desarrollo sostenible” aparece, en 1987, en el conocido como “Informe Brundtland”, elaborado por encargo de la Organización de las Naciones Unidas, y lo define como:

- “Aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

El Tratado de la Unión Europea, firmado en Maastricht en 1992, introduce entre sus objetivos políticos el “crecimiento sostenible”. El artículo nº 2 dispone que:

- “...un desarrollo de las actividades económicas armonioso y equilibrado, con un crecimiento sostenible y no inflacionista que respete el medio ambiente.”

El documento final de la “II Conferencia de Ministros y Responsables Políticos de las Regiones de la Unión Europea en materia de Medio Ambiente”, la “Carta de las nacionalidades y de las regiones europeas para el medio ambiente” o “Carta de Valencia” (1995), parte del principio de “Piensa globalmente y actúa localmente” para reconocer la necesidad de un desarrollo sostenible del medio ambiente, económico y social.

Todo este movimiento hacia la necesidad de la implantación del desarrollo sostenible se confirma en la Directiva Marco del Agua donde en el Objeto del Artículo 1, se cita:

“El objeto de la presente Directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas que: ... b) promueva un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos disponibles.”

El concepto de “economía del agua”, de la DMA es un concepto de largo recorrido. En el “Programa de Actuación” de la “Agenda 21” de la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD)” de junio de 1992, en su Sección II, se recogía la imposición de tarifas para el agua y la necesidad de la reutilización:

- “Cap. 18: Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce”.
 - *Actividades, 18.12.: “g) Promover planes de utilización racional del agua mediante una mayor conciencia pública, programas de educación y la imposición de tarifas de consumo y otros instrumentos económicos.”. “j) Desarrollar fuentes nuevas y alternativas de suministro de agua tales como la desalación del agua de mar, la reposición artificial de aguas subterráneas, la utilización de agua de escasa calidad, el aprovechamiento de aguas residuales y el reciclaje del agua.”.*
 - *Actividades, 18.40. c) Desarrollo y aplicación de tecnologías no contaminantes: i) Controlar los vertidos de desechos industriales, utilizando, entre otras, técnicas de producción que generen pocos desechos y técnicas de recirculación del agua, de manera integrada y mediante la aplicación de medidas cautelares derivadas de un análisis amplio del ciclo vital; ii) Tratar aguas residuales municipales para su utilización sin riesgos en la agricultura y la acuicultura; ...”.*

El concepto de “quién contamina, paga”, también aparece ya en este documento, en el “Área de Programas, C) “Protección de los recursos hídricos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos”:

- *Actividades, 18.40. “b) Control y prevención de la contaminación del agua: i) Aplicar, cuando proceda, a todos los tipos de fuentes, el principio de que quien contamina paga, así como el saneamiento in situ y ex situ.”*

En el “Programa para la continuidad de la aplicación de la Agenda 21” de la 19ª Sesión Especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas, de junio de 1997, en su punto número catorce, se destaca la necesaria aplicación de 4 conceptos de referencia, el tercero de los cuales es el de “quién contamina, paga”.

En esta misma línea, la “Declaración Ministerial de Malmo” del “I Forum Ambiental Mundial de Ámbito Ministerial” de mayo de 2000, busca un compromiso con el sector privado, fomentando la ética empresarial orientada al interés público, y materializada en el principio de “quien contamina, paga”.

3.3. La reutilización del agua, Real Decreto 1620/2007

3.3.1. La Reutilización del agua antes del Real Decreto.

El Real decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas se aprobó el 7 de diciembre de 2007. La situación de la reutilización antes de esta fecha ha sido ampliamente estudiada en el Informe derivado del estudio de reutilización del CEDEX citado anteriormente.

La BDR-CEDEX recoge datos de todas las instalaciones de reutilización existentes antes de la aprobación del real decreto con un tratamiento de regeneración en funcionamiento, construcción o en proyecto y aquellos otros en que aun no disponiendo de él o no teniéndolo previsto, se reutilizan volúmenes superiores a 0,2 Hm³/año.

Además de la citada BDR, el trabajo incluye la elaboración de un informe final de evaluación de la situación actual de la reutilización de efluentes depurados en España basado en la información suministrada por la mencionada BDR.

En el primer borrador de dicho informe se afirma que en el año 2001 existían en España alrededor de 140 instalaciones de reutilización, mientras que en el año 2006, aumentaron a 322 las instalaciones que disponían de un caudal concesionado o en trámite de obtener la concesión.

En las tablas e ilustraciones siguientes se muestran el número y porcentaje de las instalaciones de reutilización inventariados por Comunidad Autónoma y por Demarcación Hidrográfica.

| CCAA | Nº |
|--------------------|------------|
| Andalucía | 71 |
| Aragón | 3 |
| Baleares | 38 |
| Canarias | 18 |
| Castilla-La Mancha | 11 |
| Cataluña | 37 |
| Valencia | 96 |
| Extremadura | 1 |
| Madrid | 13 |
| Murcia | 31 |
| País Vasco | 3 |
| TOTAL | 322 |

Tabla 3: Nº de sistemas de reutilización inventariados por Comunidad Autónoma

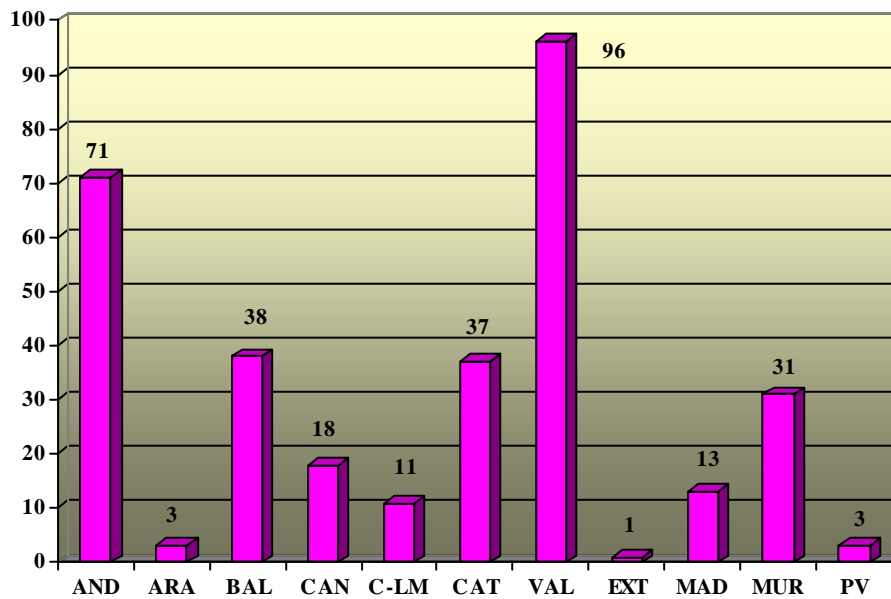


Ilustración 4: Número de sistemas de reutilización inventariados por Comunidad Autónoma.

| DH | Nº |
|-------------------------|------------|
| Internas de Andalucía | 33 |
| Internas de Cataluña | 36 |
| Internas del País Vasco | 2 |
| Ebro | 5 |
| Guadalquivir | 38 |
| Guadiana | 5 |
| Júcar | 78 |
| Segura | 49 |
| Tajo | 20 |
| Baleares | 38 |
| Canarias | 18 |
| TOTAL | 322 |

Tabla 4: Nº de sistemas de reutilización inventariados por Demarcación Hidrográfica

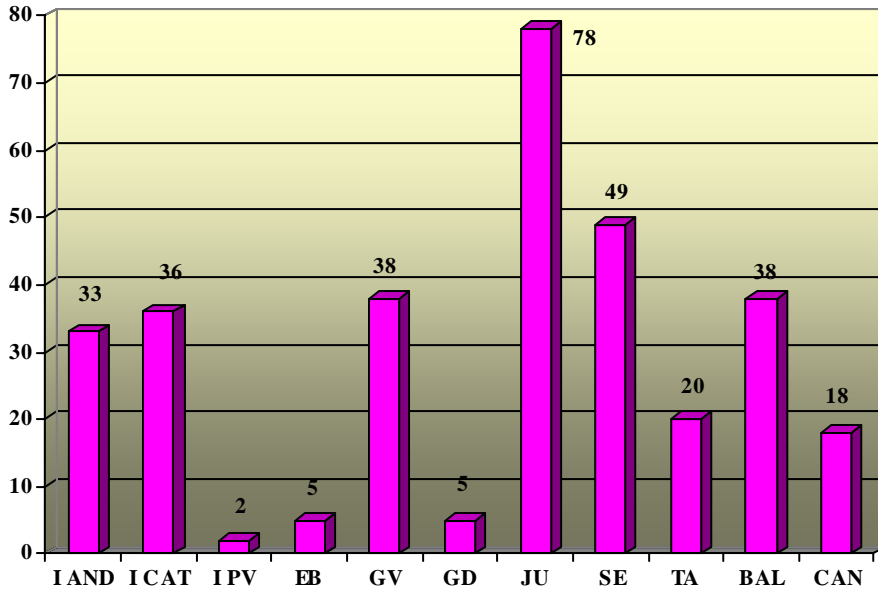


Ilustración 5: Número de sistemas de reutilización inventariados por Demarcación Hidrográfica.

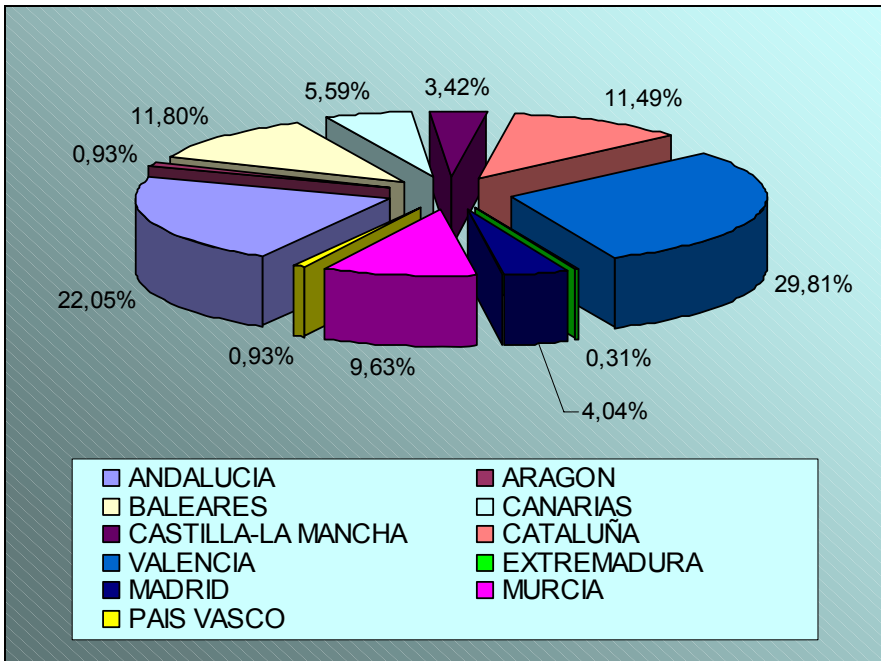


Ilustración 6: Distribución de las instalaciones de reutilización por Comunidad Autónoma.

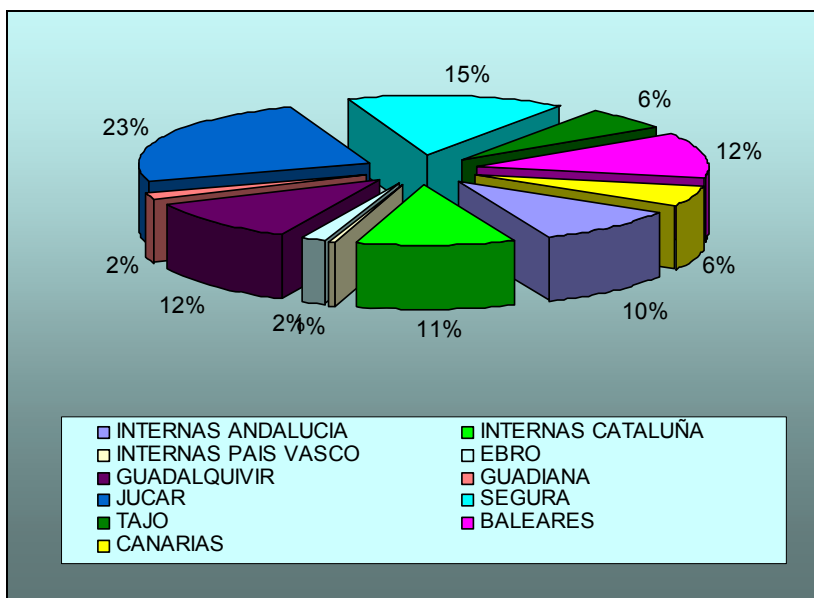


Ilustración 7: Distribución de las instalaciones de reutilización por Demarcación Geográfica.

Cuando el análisis de la situación de la reutilización se realiza en volúmenes de agua depurada reutilizados, se puede afirmar que está torno a los 368 Hm³/año, lo que supone un 10,8 % del caudal de aguas residuales depurado. Su distribución por Comunidades Autónomas y Demarcaciones Hidrográficas se recoge en las tablas e ilustraciones siguientes.

| CCAA | Caudal reutilizado Hm ³ /a |
|--------------------|---------------------------------------|
| Andalucía | 24,21 |
| Aragón | 0,17 |
| Baleares | 28,24 |
| Canarias | 17,8 |
| Castilla-La Mancha | 2,96 |
| Cataluña | 44,16 |
| Valencia | 148,66 |
| Extremadura | 0 |
| Madrid | 5,48 |

| | |
|--------------|--------------|
| Murcia | 84,52 |
| País Vasco | 12 |
| TOTAL | 368,2 |

Tabla 5 : Volúmenes reutilizados por Comunidad Autónoma

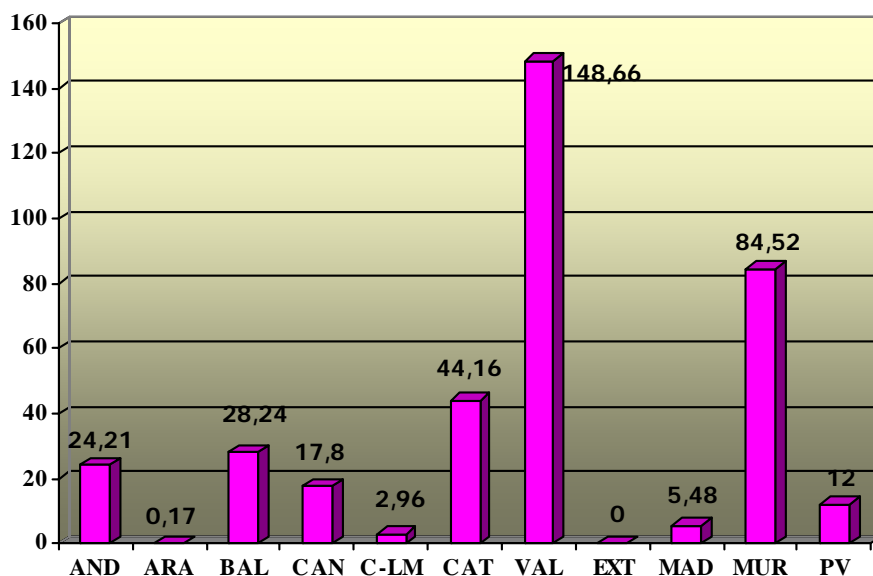


Ilustración 8: Volúmenes (hm³/a) reutilizados por Comunidad Autónoma.

| DH | Caudal reutilizado Hm³/a |
|-------------------------|--------------------------|
| Internas de Andalucía | 19,76 |
| Internas de Cataluña | 42,39 |
| Internas del País Vasco | 0 |
| Ebro | 13,94 |
| Guadalquivir | 4,45 |
| Guadiana | 2,21 |
| Júcar | 128,43 |
| Segura | 104,75 |
| Tajo | 6,23 |
| Baleares | 28,24 |
| Canarias | 17,8 |
| TOTAL | 368,2 |

Tabla 6: Volúmenes reutilizados por Demarcación Hidrográfica

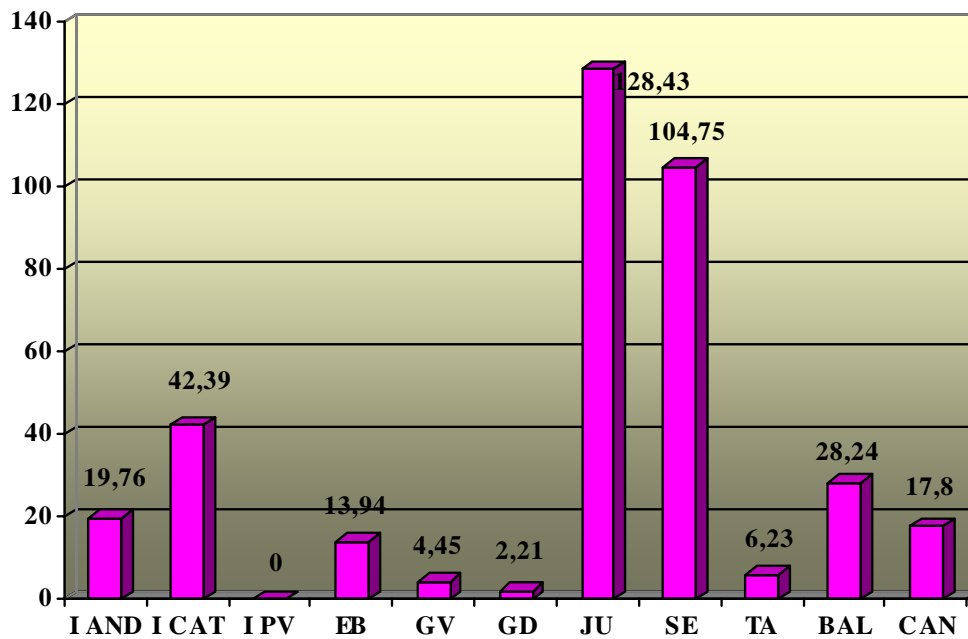


Ilustración 9: Volúmenes (hm3/a) reutilizados por Demarcación Geográfica.

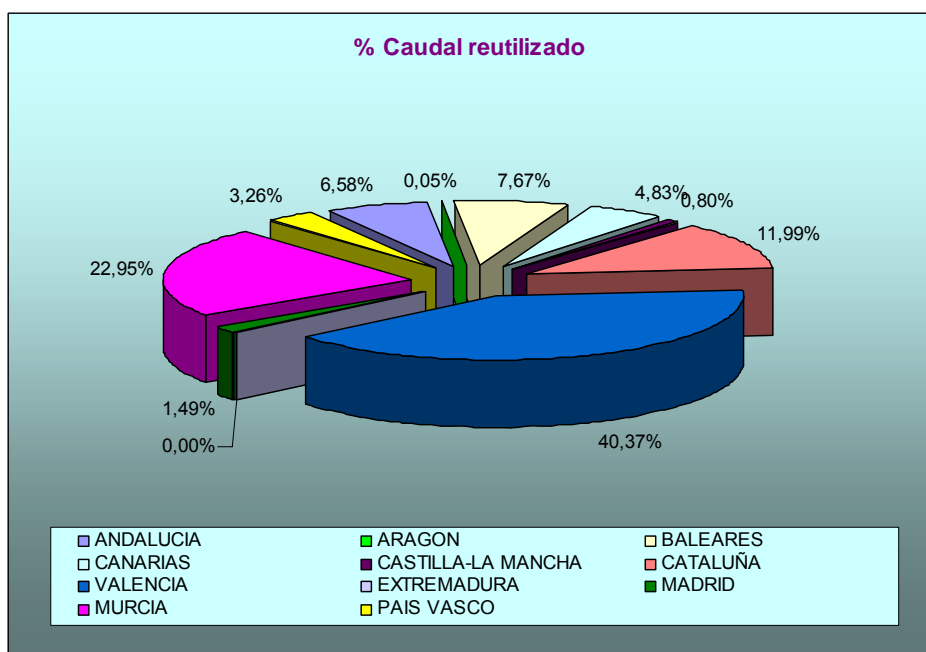


Ilustración 10: % de caudal reutilizado por Comunidad Autónoma.

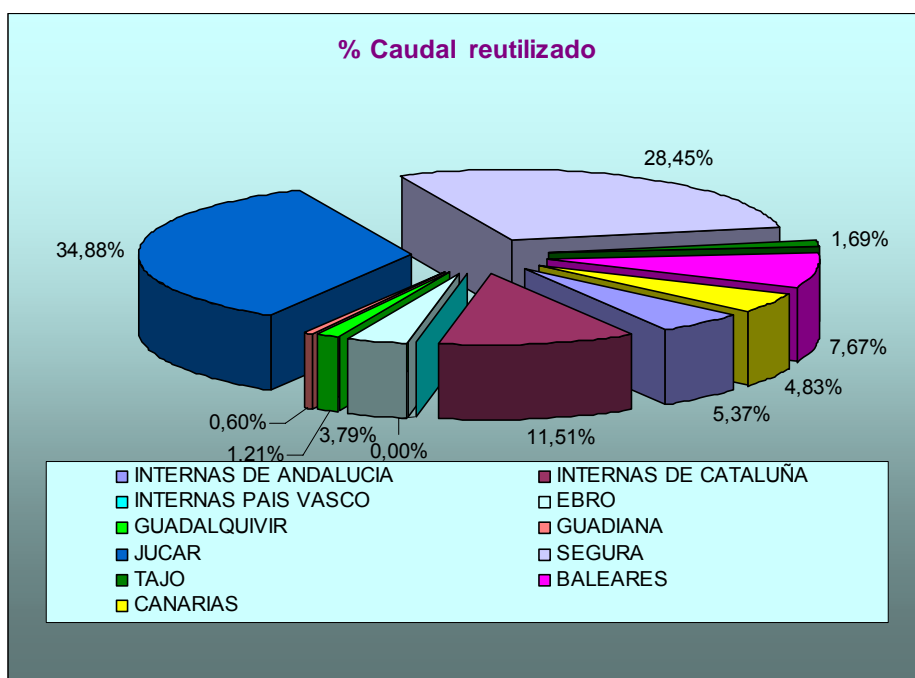


Ilustración 11: % de caudal reutilizado por Demarcación Geográfica.

3.3.2. Medioambiental y Sanidad.

Las principales disposiciones del RD de reutilización se derivan de la necesidad de minimizar los riesgos al medio ambiente y a la salud pública derivados del uso de aguas depuradas y regeneradas. Por ello, el RD prevé distintas actuaciones en las que tanto la administración sanitaria como la hidráulica están implicadas.

La necesidad de proteger el medioambiente y la salud se refleja a través de los criterios de calidad que deben fijarse en los permisos de reutilización y que se recogen el Anexo I del Real Decreto. Los valores máximos admisibles fijados permiten proteger ambos objetivos. Por ejemplo, las normas de calidad ambiental de los contaminantes tienen por objeto evitar el riesgo para la salud humana y el medioambiente y se derivan a partir de los datos de toxicidad y ecotoxicidad de las sustancias.

El papel del Organismo de cuenca es decisivo ya que es el responsable de emitir el permiso administrativo, concesión o autorización, que habilita al titular a reutilizar las aguas depuradas. La importancia de valorar los efectos medioambientales se manifiesta en el hecho de que el Organismo de cuenca debe informar sobre la compatibilidad o incompatibilidad de la solicitud de reutilización con el Plan Hidrológico de cuenca atendiendo, entre otros, a los caudales ecológicos. Si existe incompatibilidad debe denegarse la solicitud de reutilización.

También la decisión de las autoridades sanitarias es fundamental ya que en todos los supuestos de reutilización de aguas, el Organismo de cuenca debe solicitar a la autoridad sanitaria un informe previo que tendrá carácter vinculante.

La mayoría de los usos prohibidos en el artículo 4 del RD obedecen a la necesidad de proteger la salud humana. De hecho, suelen referirse a medidas encaminadas a evitar el contacto directo de las personas con estas aguas, protegiendo el consumo directo o a través de la alimentación, o bien el baño. También se protege la población más vulnerable a las infecciones para ello se prohíbe su uso en las instalaciones hospitalarias y similares.

Finalmente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, tanto la administración sanitaria como la medioambiental están habilitadas para prohibir el uso asociado.

3.3.3. Usos no admitidos. La controversia.

El Real decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas establece criterios de calidad de las aguas regeneradas para 14 usos agrupados en cinco grandes apartados. Los criterios de calidad requeridos están indicados en el anexo I.A del Real Decreto.

Si el agua se va a utilizar en usos no contemplados en el anexo I.A, las autoridades competentes deberán exigir condiciones de calidad que se adapten al uso más semejante de los descritos en el mencionado anexo.

Además con carácter general se prohíbe la reutilización de aguas para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofes; para los usos propios de la industria alimentaria; para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares; para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura; para uso recreativo como agua de baño; para uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos; y para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere un riesgo para la salud de las personas. Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, se imponen condiciones muy estrictas, limitándolo a localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas, ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.

3.4. Campos de reutilización

Según datos del Cedex, en España el reparto de usos del agua se realiza de la siguiente forma:

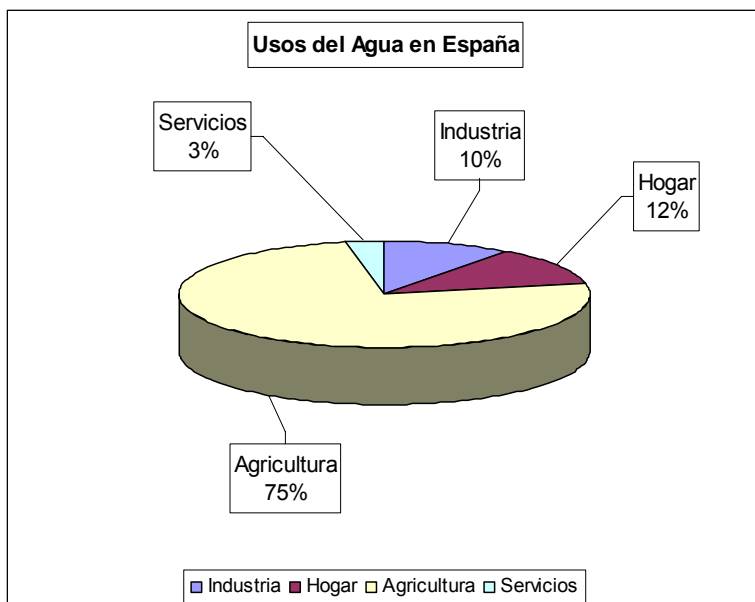


Ilustración 12: Usos del agua en España (Fuente: Cedex).

La mayor demanda de agua es para agricultura (75%), seguida por los usos en el hogar o urbanos (12%), en industria (10%) y, en último lugar, en servicios (3%).

En cuanto al uso del agua regenerada estos porcentajes varían, aún siendo siempre el máximo demandante la agricultura, y se añaden nuevos usos que no tienen las aguas potables, como son los usos ambientales.

Según datos del mismo Cedex, el riego agrícola es el mayor uso que se le da a las aguas regeneradas (71%), seguido de usos ambientales (17,7%), recreativos (7%), urbanos (4%) y, en último lugar, el uso en la industria (0,3%).

Estos porcentajes no son iguales en toda España. Al final del "Programa de Reutilización del Agua en Catalunya" de la Agencia Catalana de l'Aigua (ACA) los usos previstos del agua regenerada en Cataluña, 190 hm³/año de reutilización directa, son distintos a la media nacional.

El principal uso del agua regenerada en Cataluña será el ambiental (45%), seguido del agrícola (28%), industrial (12%), recreativo (11%) y municipal (4%).

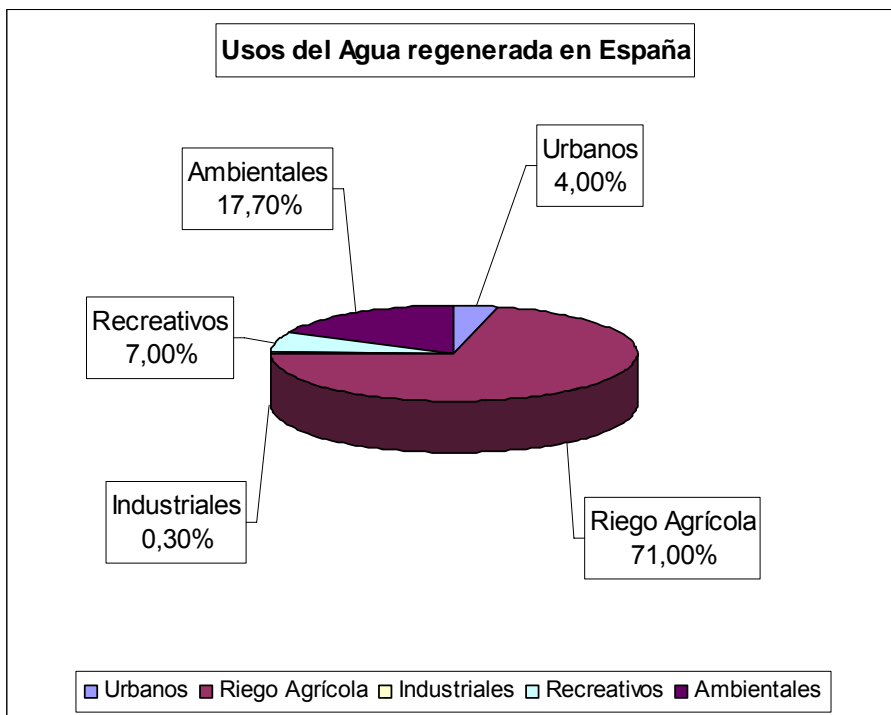


Ilustración 13: Usos del Agua regenerada en España (Fuente: Cedex)

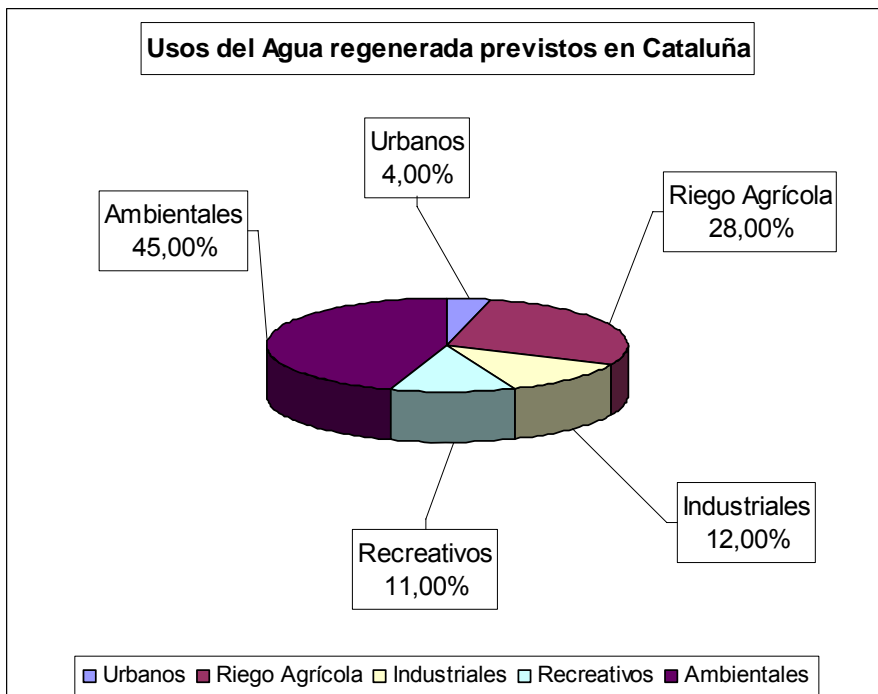


Ilustración 14: Usos del Agua regenerada en Cataluña (Fuente: ACA.)

| Hm ³ /año | USO | | | | | TOTAL CCAA |
|-----------------------|---------|-----------|------------|------------|--------|------------|
| | AGRARIO | AMBIENTAL | INDUSTRIAL | RECREATIVO | URBANO | |
| ANDALUCÍA | 13,85 | - | - | 9,68 | 0,69 | 24,21 |
| ARAGÓN | - | - | - | - | 0,17 | 0,17 |
| BALEARES | 19,04 | - | - | 4,20 | 5,00 | 28,24 |
| CANARIAS | 17,80 | - | - | - | - | 17,80 |
| CASTILLA-LA MANCHA | 2,23 | - | - | 0,55 | 0,18 | 2,96 |
| CATALUÑA | 7,91 | 28,65 | 1,01 | 5,53 | 1,05 | 44,16 |
| VALENCIA | 113,52 | 27,54 | - | 3,48 | 4,12 | 148,66 |
| EXTREMADURA | - | - | - | - | - | - |
| MADRID | - | 0,39 | - | 2,19 | 2,90 | 5,48 |
| MURCIA | 83,60 | - | - | 0,34 | 0,58 | 84,52 |
| PAÍS VASCO | 3,43 | 8,57 | - | - | - | 12,00 |
| TOTAL POR USOS | 261,37 | 65,15 | 1,01 | 25,98 | 14,69 | 368,20 |

Tabla 7: Caudales reutilizados según usos por Comunidades Autónomas

Las posibilidades de reutilización del agua generada están en función de:

- Coste del agua regenerada.
- Accesibilidad a suministro de agua corriente.
- Necesidad de agua por sector.
- Condiciones necesarias de calidad del agua regenerada según su uso.

Para los usos del agua regenerada que permite el Real Decreto 1620/2007, el Cedex recomienda 3 tipos de tecnologías de regeneración en función de la calidad necesaria y del uso posterior del agua regenerada:

- Tipo I: Coagulación, floculación y decantación. Filtración. Filtración con membranas de ultrafiltración. Desinfección de mantenimiento.
- Tipo II: Coagulación, floculación y decantación. Filtración. Desinfección mediante rayos ultravioletas. Desinfección de mantenimiento.
- Tipo III: Desinfección mediante rayos ultravioletas. Desinfección de mantenimiento.

Cuando las aguas depuradas requieran de una eliminación de sales para su regeneración a estos procesos deberá añadirseles al final una desalación mediante ósmosis inversa o electrodiálisis reversible.

Los Valores Máximos Admisibles del Real Decreto 1620/2007 pueden ser modificados, a la baja, por aquellas administraciones que tengan competencia para ello. Así la CONSELLERIA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y VIVIENDA de la Generalitat Valenciana establece, para reutilización en agricultura, parámetros más exigentes que los del citado Real Decreto:

- DBO5 < 10 mg/l
- SST < 5 mg/l
- Turbidez < 2 NTU
- Coli fecal < 10 NMP/100 ml
- Huevos nemátodo = 0 Ud/l

3.4.1. Usos Urbanos.

El uso urbano es una importante posibilidad a considerar para sustituir caudales naturales por aguas regeneradas, y supone el 4% del uso del agua regenerada.

Atendiendo a que el Ministerio de Medioambiente cifra en 9.073 las hectáreas de zonas verdes regables en términos municipales, para un caudal de 2.109 m³/ha*a, el caudal de agua regenerada necesaria estaría en 19 hm³/a.

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | |
|---|------------------------------|------------------|-----------------------|----------|
| | NEMATODOS INTESTINALES | ESCHERICHIA COLI | SÓLIDOS EN SUSPENSION | TURBIDEZ |
| 1.- USOS URBANOS | | | | |
| CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios. | 1 huevo/10 L | 0 (UFC /100 mL) | 10 mg/L | 2 UNT |
| CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos. | 1 huevo/10 L | 200 UFC/100 mL | 20 mg/L | 10 UNT |

Ilustración 15: VMA para usos urbanos. Real Decreto 1620/2007.

El Plan “MadridDpura” tiene previsto para el año 2010, el uso de 40 hm³/a de agua reciclada para riegos públicos y usos industriales, con lo que podrán regarse 6.000 hectáreas de zonas verdes, datos muy superiores a los del MMA.

Las tecnologías de regeneración a aplicar para alcanzar estos VMA requeridos según el Cedex son:

| USOS | TIPO TECNOLOGÍA (CEDEX) |
|-----------------------|-------------------------|
| 1.1 Residenciales | Tipo I |
| 1.2 Servicios urbanos | Tipo II |

3.4.2. Usos Agrícolas.

Los usos agrícolas de las aguas regeneradas son los que consumen la mayor cantidad de estas, el 71% del total.

La principal dificultad de este tipo de uso es que, mientras la legislación impone 3 tipos de calidades de agua para su reutilización, los campos agrícolas no siguen esta regla y los diferentes tipos de cultivo se encuentran unos al lado de otros, creando la incertidumbre del tipo de agua regenerada que debe discurrir por la red de riego.

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | |
|---|------------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| | NEMATODOS INTESTINALES | ESCHERICHIA COLI | SÓLIDOS EN SUSPENSION | TURBIDEZ |
| 2.- USOS AGRICOLAS | | | | |
| <p>CALIDAD 2.1</p> <p>a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.</p> | 1 huevo/10 L | <p>100 UFC/100 mL</p> <p>Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases con los siguientes valores:</p> <p>n = 10</p> <p>m = 100 UFC/100 mL</p> <p>M = 1.000 UFC/100 mL</p> <p>c = 3</p> | 20 mg/L | 10 UNT |
| <p>CALIDAD 2.2</p> <p>a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.</p> <p>b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.</p> <p>c) Acuicultura.</p> | 1 huevo/10 L | <p>1.000 UFC/100 mL</p> <p>Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases con los siguientes valores:</p> <p>n = 10</p> <p>m = 1.000 UFC/100 mL</p> <p>M = 10.000 UFC/100 mL</p> <p>c = 3</p> | 35 mg/L | No se fija límite |

| | | | | |
|---|-------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|
| <p>CALIDAD 2.3</p> <p>a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.</p> <p>b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.</p> <p>c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.</p> | <p>1 huevo/10 L</p> | <p>10.000 UFC/100 mL</p> | <p>35 mg/L</p> | <p>No se fija límite</p> |
|---|-------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|

Ilustración 16: VMA para usos agrícolas. Real Decreto 1620/2007.

La superficie regable en España, atendiendo a datos de la Dirección General de Calidad de las Aguas, es de 4.743.877 ha, que para unas necesidades de 6.000 m³ de agua por hectárea y año, suponen unas necesidades de 28.667 hm³/a de agua de riego.

La reutilización de agua regenerada en agricultura tiene como inconveniente de que nunca la agricultura consume toda la oferta de agua regenerada, puesto que mientras la oferta de agua regenerada es, prácticamente constante, la demanda de agua para riego no lo es.

De estudios realizados por el CEDEX se desprende que el riego agrícola, en todas sus variantes, es el uso que más volumen reutiliza, unos 261,3 Hm³/año (70.9% del total), sin contar con los riegos de zonas forestales o cultivos leñosos que aprovechan el agua residual bruta, y que con la entrada en vigor del Real Decreto 1620/2007, deberán adecuarse para cumplir sus exigencias. Contando estos volúmenes reutilizados se alcanzarían los 310 Hm³/año. Es sin duda el uso que más puede contribuir al ahorro de agua superficial o subterránea y por tanto ayudar a la conservación del medio natural.

Las Comunidades Autónomas que mayores volúmenes reutilizan en riego agrícola son: Valencia (113,517Hm³/año) y Murcia (83,59 Hm³/año), que en conjunto suponen el 75,41 % del caudal reutilizado en el uso agrario y un 53,53 % del total del caudal reutilizado. En porcentaje sobre el total reutilizado, destacan las comunidades autónomas de Valencia (76,36%), Murcia (98.9%), Canarias (100%) y Castilla-La Mancha (100%).

Por Demarcaciones Hidrográficas destacan la del Júcar (97,62 Hm³/año) y la del Segura (103,00 Hm³/año), que en conjunto suponen el 75,85 % del caudal reutilizado en España en uso agrícola.

Las tecnologías de regeneración a aplicar para alcanzar estos VMA requeridos según el Cedex son:

| USOS | TIPO TECNOLOGÍA (CEDEX) |
|--|-------------------------|
| 2.1 Riego agrícola sin restricciones | Tipo II |
| 2.2 Riego productos que no se consumen frescos. Riego pastos animales productores Acuicultura | Tipo II |
| 2.3 Riego cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales | Tipo III |

3.4.3. Usos Industriales.

La utilización de agua regenerada en usos industriales es baja en comparación con el resto de usos (0,3%).

El uso industrial era casi inexistente (1,014 Hm³/año) en el año 2006, si bien sus perspectivas de crecimiento son muy importantes dado que el interés de los empresarios de este sector por utilizar este recurso va en aumento, existiendo en la actualidad un número importante de solicitudes de concesión para uso industrial (papeleras, plantas de producción energética, industrias químicas, etc.).

Esto es debido a las fuertes restricciones sanitarias a las que se ve sometido su principal consumo que es el de aguas de refrigeración, debido a los problemas higiénico-sanitarios que han aparecido en estas con la bacteria Legionella spp.

Estas restricciones de agua regenerada para la industria son restricciones más de tipo económico que técnico, porque las tecnologías necesarias son tecnologías existentes pero a un precio del m³ de agua regenerada de nulo interés para la industria.

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | |
|---|------------------------------|---|-----------------------|-------------------|
| | NEMATODOS INTESTINALES | ESCHERICHIA COLI | SÓLIDOS EN SUSPENSION | TURBIDEZ |
| 3.- USOS INDUSTRIALES | | | | |
| CALIDAD 3.1 a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales. | No se fija límite | 10.000 UFC/100 mL | 35 mg/L | 15 UNT |
| c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria | 1 huevo/10 L | 1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases con los siguientes valores: n = 10 | 35 mg/L | No se fija límite |

| | | | | |
|---|--------------|--|--------|-------|
| | | m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3 | | |
| CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos. | 1 huevo/10 L | Ausencia UFC/100 mL | 5 mg/L | 1 UNT |

Ilustración 127: VMA para usos industriales. Real Decreto 1620/2007.

Las tecnologías de regeneración a aplicar para alcanzar estos VMA requeridos según el Cedex son:

| USOS | TIPO TECNOLOGÍA (CEDEX) |
|--|-------------------------|
| 3.2 Torres de refrigeración y condensadores evaporativos | Tipo I |

3.4.4. Usos Recreativos.

El uso recreativo del agua regenerada es básicamente en riego de campos de golf. A día de hoy, en la mayor parte del país no se autoriza la construcción de una nueva instalación si esta no tiene asegurada el riego con agua regenerada.

En 2007, año de la publicación del Real Decreto 1620/2007, y según datos de MMA, existían ya en España 417 campos de golf, con una superficie regable de 5.306 ha que necesitan un caudal de agua de 52 hm³/a.

Del caudal total usado para riego en los campos de golf, el 55% proviene de agua reutilizada (29 hm³/a), por lo que existe un déficit de 23 hm³/a para cubrir la demanda total.

Pero, si la crisis económica de 2008 no lo impide, para el año 2010 el MMA tiene previsto que estén en funcionamiento 552 campos de golf que necesitarán 80 hm³ de agua regenerada al año y, para 2015, el número de campos de golf previstos es de 753 con un consumo de 110 hm³ al año de agua regenerada.

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | |
|-----------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|----------|
| | NEMATODOS INTESTINALES | ESCHERICHIA COLI | SÓLIDOS EN SUSPENSION | TURBIDEZ |
| | | | | |

| | | | | |
|---|-------------------|----------------------|---------|----------------------|
| 4.- USOS RECREATIVOS | | | | |
| CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf. | 1 huevo/10 L | 200 UFC/100 mL | 20 mg/L | 10 UNT |
| CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua. | No se fija límite | 10.000 UFC/100 mL | 35 mg/L | No se fija límite |

Ilustración 138: VMA para usos recreativos. Real Decreto 1620/2007.

Las tecnologías de regeneración a aplicar para alcanzar estos VMA requeridos según el Cedex son:

| USOS | TIPO TECNOLOGÍA (CEDEX) |
|--|------------------------------------|
| 4.1 Riego campos de golf | Tipo II |
| 4.2 Estanques y masas de agua sin acceso al publico | Tipo III |

3.4.5. Usos Ambientales.

Para recuperar la funcionalidad de los acuíferos de los que se toma agua para consumo, es necesario sustituir estos caudales por otros de agua regenerada con adecuadas condiciones de calidad.

Es el segundo uso en importancia en cuanto a la reutilización del agua residual. Se incluyen la restauración de humedales, recuperación de acuíferos, infiltraciones para evitar la intrusión salina o la restitución de caudales ecológicos. En este uso se reutilizan unos 65,148 Hm³/año (17,69% del total), destacando las Comunidades Autónomas de Cataluña (28,68 Hm³/año). Valencia (27,539 Hm³/año) y el País Vasco (8,571 Hm³/año) y las Demarcaciones Hidrográficas del Ebro e Internas de Cataluña que aglutinan las Comunidades Autónomas antes nombradas. Este uso tiene una tendencia a crecer de forma sustancial a corto plazo. Sólo teniendo en cuenta los 30 Hm³/año de agua regenerada procedente de la EDAR de Pinedo (Valencia), previstos para mantener las condiciones naturales del Parque Natural de La Albufera y los 65 Hm³/año procedentes de la EDAR del Baix Llobregat (Barcelona) previstos para contribuir al caudal ecológico del río Llobregat, en sustitución de un volumen de agua similar que se destinaría a abastecimiento urbano, en pocos años se duplicarán los volúmenes con destino a este tipo de usos. En ambos casos ya están construidas y en funcionamiento las respectivas estaciones regeneradoras y las infraestructuras de almacenamiento y distribución.

| USO DEL AGUA PREVISTO | VALOR MAXIMO ADMISIBLE (VMA) | | | |
|---|--|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | NEMATODOS INTESTINALES | ESCHERICHIA COLI | SÓLIDOS EN SUSPENSION | TURBIDEZ |
| 5.- USOS AMBIENTALES | | | | |
| CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno. | No se fija límite | 1.000 UFC/100 mL | 35 mg/L | No se fija límite |
| CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa. | 1 huevo/10 L | 0 UFC/100 mL | 10 mg/L | 2 UNT |
| CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura. | No se fija límite | No se fija límite | 35 mg/L | No se fija límite |
| CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares). | La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso | | | |

Ilustración19: VMA para usos ambientales. Real Decreto 1620/2007.

Para evitar problemas de eutrofización en los acuíferos, la recarga de estos se realizará con agua regenerada que, además de los VMA, tenga NT < 10 mg N/L y NO3 < 25 mg NO3/L.

Las tecnologías de regeneración a aplicar para alcanzar estos VMA requeridos según el Cedex son:

| USOS | TIPO TECNOLOGÍA (CEDEX) |
|--|-------------------------|
| 5.2 Recarga acuíferos inyección directa | Tipo I |
| 5.3 Riego de bosques y zonas verdes no accesibles al público | -- |
| 5.4 Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos. | -- |

3.4.6. Reutilización de Aguas de Minas.

Este es un tipo de reutilización de aguas que no viene contemplado en el Real Decreto 1620/2007.

Las explotaciones mineras subterráneas producen, por una parte, un hueco como consecuencia de la extracción del mineral, y por otra, la fracturación del macizo rocoso dando lugar a un nuevo acuífero con una triple porosidad similar a la de los acuíferos carbonatados kársticos. Esta triple porosidad se debe a las galerías y capas o masas explotadas, la porosidad por fractura del macizo rocoso, y la porosidad de la matriz, constituida por las rocas encajantes y la masa de mineral explotado. Por tanto toda actividad minera subterránea ejerce una notable influencia sobre las características hidrogeológicas de la zona, y los huecos subterráneos originados por la actividad minera y la fracturación inducida por la misma, eliminan los acuíferos que pudieran existir sobre el nivel de explotación y dan origen a un nuevo “acuífero”.

El agua infiltrada a las labores mineras se extrae mediante bombeo, correspondiéndose los caudales bombeados durante un año hidrológico con la recarga anual aportada por la lluvia útil. Cuando cese el único drenaje existente en los niveles inferiores producido por el bombeo, el nivel piezométrico se irá recuperando (fenómeno denominado “rebote del agua de mina”) y el agua irá paulatinamente inundando tanto los huecos de las labores mineras como aquellos huecos que se corresponden con la porosidad abierta de los niveles litológicos interceptados por las labores mineras y, por tanto, conectados hidráulicamente con ellas. Esto dará lugar a una salida del agua de mina por pozos, bocaminas y otros puntos situados a cotas inferiores.

Se puede considerar que una vez cesada la actividad de la mina, y si la calidad de las aguas se mantiene dentro de unos límites aceptables, estas aguas podrían ser utilizadas a modo de embalse subterráneo, de tal forma que regulándolo se podría llegar a disponer de suficiente agua de calidad para su uso durante los periodos de estiaje, que es cuando podría tener una mayor incidencia sobre los caudales de la zona. Por tanto el bombeo en el acuífero creado por el minado podría permitir reforzar los caudales de estiaje sobre todo en zonas de elevada pluviosidad que tienen garantizada la recarga.

Cuando las aguas de mina, una vez abandonada la actividad minera y cesado el bombeo, llegan al exterior, en función de que sus características cumplan los estándares de calidad exigidos, estas aguas podrían ser utilizadas para diferentes usos: industriales, agrícolas, ganaderos, etc.

Además dado que las aguas almacenadas en una mina subterránea suelen tener temperaturas superiores a los 10°C, despiertan el interés para su aprovechamiento mediante el uso de bomba de calor; en diferentes zonas mineras del mundo ya existen proyectos y aplicaciones importantes en marcha para aprovechar la temperatura del agua de mina para instalaciones de calefacción y climatización. En estas condiciones el hueco minero subterráneo se puede considerar un embalse subterráneo, y es posible aprovechar las aguas de este embalse minero como fuente de energía térmica, mediante bombas de calor agua-agua instaladas en el exterior del pozo a la salida de la impulsión del desagüe.

3.5. Tecnologías disponibles y sus resultados

Actualmente, en la elección de las tecnologías de regeneración (tratamiento avanzado) para agua residual se suele optar por aquellas de menor consumo energético. La justificación es debida a que normalmente esta agua regenerada suele emplearse para riegos u otros usos poco “nobles”.

Los tratamientos de regeneración se pueden esquematizar en la siguiente tabla:

| FÍSICO-QUÍMICO: | FILTRACIÓN: | DESALACIÓN: | DESINFECCIÓN: |
|--|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Coagulación. - Floculación. - Decantación Lamelar. | <ul style="list-style-type: none"> - Sobre Arena: - Convencional - De Lecho pulsante - Sobre Anillas - Sobre Membranas - Microfiltración - Ultrafiltración - Nanofiltración | <ul style="list-style-type: none"> - Electrodesionización. - Electrodialisis Reversible. - Ósmosis Inversa. | <ul style="list-style-type: none"> - Derivados del Cloro. - Rayos Ultravioletas. - Ozono. |

Asimismo, los rendimientos generales de las distintas etapas de tratamiento según parámetros indicadores de calidad se reflejan en la siguiente tabla:

| | SS (%) | Turbidez (%) | E. Coli (u.log) | Nematodo (%) |
|--------------|--------|--------------|-----------------|--------------|
| F-Q | 50-70 | 30-50 | 1-2 | 80 |
| Filtración | 60-80 | 30-60 | 0,5-1,5 | 99 |
| Membranas | 90-95 | 90-95 | ausencia | ausencia |
| Desinfección | - | - | 4-5 | - |

El tratamiento **físico-químico** es una tecnología muy experimentada, se trata básicamente de sistemas en los que mediante la adición de reactivos químicos se procede a la coagulación-floculación, seguida habitualmente de una filtración por arena u otro sistema. Los reactivos empleados suelen ser coagulantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio) o bien polímeros orgánicos (polielectrolito) y a veces una combinación de ambos.

Este tratamiento se lleva a cabo para conseguir efluentes clarificados, prácticamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal, reducción de fósforo y metales pesados. Tiene una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos. Con este tratamiento también se elimina los huevos de nemátodos.

La **filtración** también es una tecnología muy experimentada y lleva a cabo también una clarificación del efluente. Se suele emplear *filtros convencionales de arena o de lecho pulsante* (solos o asociados a procesos físico-químicos como se ha comentado anteriormente) o bien diversos procesos innovadores de filtración, entre los que podemos destacar la filtración sobre anillas o sobre membranas.

Los procesos convencionales retienen bacterias, algas, quistes y partículas de polvo, no quedando retenidos virus, ni sales ni iones metálicos.

La filtración sobre anillas tiene lugar usando anillas planas de material plástico provistas de ranuras. Dichas anillas están colocadas una sobre otra y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas y la situación relativa de los discos.

Los pasos de agua en un mismo tipo de anillas son máximos donde la ranura de una anilla coincide con la ranura del otro y mínimos donde esta coincide con el espacio entre dos ranuras; este paso mínimo es el que define el grado de filtración de las anillas. Los filtros de anillas aseguran la retención de los huevos de nemátodos

Dentro de los procesos de filtración con membranas se puede mencionar la microfiltración, la ultrafiltración y la nanofiltración.

La microfiltración es un tipo de filtración por membranas que permite eliminar los sólidos en suspensión de tamaño superior a 0,1 – 1,0 μm . Es efectiva eliminando los patógenos de gran tamaño como *Giardia* y *Cryptosporidium*. También elimina los nemátodos intestinales, los coliformes totales y fecales. Se suele emplear la ultrafiltración cuando la concentración de STD no es problemática, ya que los poros de la membrana son comparativamente grandes para filtrar partículas muy pequeñas. Más usualmente se emplea como pretratamiento de sistemas con las membranas más delicadas, como la osmosis inversa o la nanofiltración.

La ultrafiltración elimina esencialmente todas las partículas coloidales y alguno de los contaminantes disueltos más grandes (0,01 μm). Se utiliza cuando deben eliminarse prácticamente todas las partículas coloidales (incluyendo la mayor parte de microorganismos patógenos). Estos sistemas, capaces de eliminar bacterias y virus se suelen utilizar como pretratamiento para sistemas de nanofiltración, hiperfiltración u osmosis inversa. Puesto que los coloides se eliminan, el agua tratada debe tener una turbidez prácticamente nula.

La nanofiltración elimina los contaminantes de tamaño superior al nanómetro (0,001 μm). Se emplea cuando se requiere eliminar prácticamente, aunque no todos, los sólidos disueltos. La tecnología se llama también ablandamiento por membrana, ya que se eliminan del agua los iones de la dureza que tienen 2 cargas (calcio y magnesio) mejor que los que solo tienen una (sodio, potasio, cloro).

Segregando los procesos de **desalación** podemos mencionar la electrodesionización, la electrodiálisis reversible y la ósmosis inversa, si bien no hay que olvidar que estos procesos son de filtración con membrana.

La electrodesionización emplea corriente eléctrica continua como fuente de energía para la desalinización. Los iones en solución son atraídos hacia los electrodos con carga eléctrica opuesta. Dividiendo los espacios entre electrodos mediante membranas selectivas para cationes y aniones, lo que crea compartimentos, las sales pueden ser eliminadas de la mitad de los compartimentos y concentradas en los restantes. Por lo tanto, elimina sólo las sales disueltas.

La electrodiálisis reversible separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de una membrana. Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (1-2 nm). En la célula de electrodiálisis se sitúa un cierto número de membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo de forma que cuando se aplica la corriente eléctrica los iones con carga positiva migran a través de la membrana de intercambio catiónico y viceversa, es decir, sólo separa aquellas sustancias que tengan carga eléctrica, no sufriendo ningún tipo de reducción aquellas que presenten carga neutra como las bacterias, virus, SS, algas, etc.

Una de las principales diferencias entre la electrodiálisis reversible y la electrodesionización es el contenido de los compartimentos de desalinización. Los de la electrodesionización se rellenan con resinas de intercambio iónico de lecho mezclado.

La ósmosis inversa es una tecnología de membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La OI elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular, es decir partículas cuyo tamaño sea superior a 0,001 μ (virus, bacterias, ácidos húmicos, quistes, polen, sales, etc.). Por tanto, se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, la ósmosis inversa es la elección cuando se necesita agua muy pura.

Otras **tecnologías intensivas de regeneración** existentes son los bioreactores a membrana (BRM) y ocasionalmente los reactores secuenciales discontinuos (SBR) y los biodiscos (RBC).

Los reactores secuenciales discontinuos (SBR) consisten en un sistema de tratamiento de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de tratamiento llevada a cabo en ciclos de llenado, tratamiento y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son los mismos de un proceso típico de lodos activados. En ambos ocurren la aireación, mezcla, reacción, sedimentación-clarificación, con la diferencia que en el proceso de lodos activados los procesos se llevan a cabo en tanques separados y en un sistema SBR, el tratamiento ocurre secuencialmente en el mismo tanque. Normalmente se emplea un mínimo de dos tanques de reacción para poder garantizar un tratamiento del agua en continuo. Ocupan muy poca superficie y tienen unos costes muy competitivos, generando un efluente de buena calidad fácilmente tratable para regeneración.

Los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos, generalmente de PVC, polietileno o polipropileno, montados sobre un eje rotatorio. Mediante esta rotación, el conjunto de discos situados en paralelo está expuesto alternativamente al aire y al agua a depurar. Los microorganismos fijados descomponen la materia orgánica empleando procesos aerobios, de modo que si no se producen desprendimientos por mal funcionamiento o vertidos accidentales que contengan tóxicos o inhibidores, se trata de sistemas muy estables y con escasas variaciones en su rendimiento.

El proceso es fiable y barato en cuanto a la energía empleada, y especialmente en pequeñas instalaciones bien dimensionadas el efluente es de muy buena calidad por lo que suele bastar una desinfección para la reutilización posterior.

Los bioreactores de membrana se basan en situar una membrana en el interior de un sistema de aireación (tratamiento por lodos activados). La membrana no permite el paso

de los biosólidos que quedan en el reactor y se obtiene un efluente de buena calidad, fácilmente desinfectable. La eficacia de los procesos biológicos depende de dos factores principales: la concentración de biomasa en el reactor y la relación de transformación específica de los microorganismos. Así, un biorreactor de membrana se puede definir como la combinación de dos procesos, degradación biológica y separación por membrana, en uno único.

La membrana puede acoplarse al biológico externamente o de forma interna, sumergiéndolas en el propio reactor. En ambos casos se puede describir una eliminación de los patógenos de mayor tamaño (por ejemplo, *Giardia* y *Cryptosporidium*).

El objetivo final es obtener un agua con una adecuada calidad sanitaria, por lo que las etapas anteriores a la **desinfección** son en definitiva preparatorias para ésta; este proceso se puede llevar a cabo mediante derivados de cloro, rayos ultravioleta u ozono.

Independientemente del sistema de desinfección adoptado se debe prever la dosificación de cloro mediante NaClO en el efluente de agua regenerada hasta alcanzar una concentración de cloro libre residual de 0,6 ppm.

La desinfección se puede realizar por adición de derivados de cloro como el NaClO, cloro gas o Cl₂O. La cloración se desaconseja para el tratamiento de aguas residuales, ya que genera muchos subproductos. Sin embargo, el empleo de Cl₂O se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar *in situ* debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas. El uso del NaClO es el más extendido por su facilidad de operación.

La desinfección llevada a cabo por rayos ultravioleta se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético sobre ácidos nucleicos y proteínas, con lo que se altera la reproducción de determinados patógenos o produciendo la muerte de la célula. Se emplea la radiación a 253,7 nm, que se considera la más adecuada para el proceso. Es activo especialmente contra bacterias y virus y se describe con lámparas de media intensidad una acción contra *Giardia* y *Cryptosporidium*.

Se emplean lámparas de alta, media y baja presión. Hasta el momento las más utilizadas en desinfección de aguas residuales son las de baja presión. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es la limpieza de las lámparas

El ozono es un oxidante más energético que el cloro, sobre todo por su acción contra los virus y bacterias, y se debe producir *in situ* por acción de una descarga eléctrica. Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección.

Otras formas de clasificar las distintas tecnologías nombradas anteriormente son por el método de tratamiento empleado (físico, químico, biológico) y por la utilidad final del agua regenerada.

A continuación se exponen unos ejemplos de los resultados obtenidos a nivel de planta y que se han conseguido al añadir un tratamiento terciario a una Estación Depuradora de Aguas Residuales.

EJEMPLO 1: TRATAMIENTO TERCIARIO (FÍSICO-QUÍMICO + ULTRAFILTRACIÓN + ÓSMOSIS INVERSA).

El caudal de agua que se aporta al tratamiento terciario proviene de un decantador secundario y alcanza los 50.000 m³/día.

El tratamiento terciario que se aplica consta de:

1. Tratamiento físico-químico, cámaras de mezcla-floculación y decantación lamelar.
2. Ultrafiltración con paso 0,02 micras. Q = 49.500 m³/día. Rendimiento = 92%, obteniendo un caudal de 45.000 m³/día.
3. Ósmosis Inversa: Qentrada = 30.000 m³/día. Conversión del 75%. Qsalida = 22.000 m³/día.
4. Mezcla de agua ultrafiltrada (3.000 m³/día) y agua osmotizada (22.000 m³/día)

Total salida de planta 25.000 m³/día < 600 µS/cm (osmotizada) y 12.000 m³/día de agua ultrafiltrada.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos del agua a la salida del secundario y el agua a la salida del terciario:

| Agua Salida Secundario | | Fechas | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Parámetro | Unidad | 12/09/06 | 14/09/06 | 15/09/06 | 20/09/06 |
| pH | unidad pH | 7.65 | 7.67 | 7.88 | 7.58 |
| K | µS/cm | 2.540 | 2.510 | 2.770 | 2.600 |
| SS | ppm | 29 | 16 | 19 | 29 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | | 20 | 20 | 20 |
| Coliformes Totales | ufc/100 ml | 1.500.000 | 3.000.000 | 5.000.000 | 500.000 |
| Estreptococos Fecales | ufc/100 ml | | 460.000 | 270.000 | |
| E. Coli | ufc/100 ml | 1.200.000 | 670.000 | 680.000 | 340.000 |
| | | | | | |
| Tratamiento Terciario | | Fechas | | | |
| Parámetro | Unidad | 12/09/06 | 14/09/06 | 15/09/06 | 20/09/06 |
| pH | unidad pH | 7,80 | 7,88 | 8,01 | 7,51 |
| K | µS/cm | 102.5* | 82.6* | 87.4* | 574 |
| SS | ppm | 0 | | | 0 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | 0 | | | 2 |
| Estreptococos Fecales | ufc/100 ml | 0 | 1 | 0 | |
| E. Coli | ufc/100 ml | 30 | 2 | 10 | 0 |

* Sin mezcla de agua ultrafiltrada.

EJEMPLO 2: TRATAMIENTO TERCIARIO (FÍSICO-QUÍMICO + DECANTACIÓN LAMELAR, FILTRACIÓN CON ARENA + DESINFECCIÓN CON UV).

El caudal de agua de depurado de la planta oscila entre 8.500 m³/día en invierno y 12.000 m³/día en verano.

El tratamiento terciario que se aplica consta de:

1. Tratamiento físico-químico, cámaras de mezcla-floculación y decantación lamelar.
2. Filtración por gravedad en lecho de arena.
3. Desinfección ultravioleta.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos del agua de entrada a la planta y del agua de salida del terciario:

| Agua de Entrada | | Fechas | | | |
|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Parámetro | Unidad | 01/09/08 | 03/09/08 | 09/09/08 | 17/09/08 |
| pH | unidad pH | 8,0 | 7,6 | 8,3 | |
| K | μS/cm | 8,320 | 6,730 | 8,780 | |
| SS | ppm | 116,0 | 170,0 | 90,0 | |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | | 209,0 | | |
| DQO | mg O ₂ /l | 197,0 | 411,0 | 181,0 | |
| Agua de Salida | | Fechas | | | |
| Parámetro | Unidad | 01/09/08 | 03/09/08 | 09/09/08 | 17/09/08 |
| pH | unidad pH | 8,2 | 8,2 | 8,3 | |
| K | μS/cm | 5,330 | 5,540 | 6,040 | |
| SS | ppm | 10,0 | 9,6 | 6,3 | |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | | 8,3 | | |
| DQO | mg O ₂ /l | 22,7 | 28,8 | 21,7 | |
| Coliformes totales | ufc/100 ml | | | | 341 |
| Coliformes fecales | ufc/100 ml | | | | 2 |
| Estreptococos Fecales | ufc/100 ml | | | | 42 |
| E. Coli | ufc/100 ml | | | | 0 |

EJEMPLO 3: TRATAMIENTO CON MBR + DESINFECCIÓN CON UV.

El caudal de agua de depurado de la planta ronda los 7.000 m³/día. La línea de tratamiento de agua consta de:

- Entrada a planta
- Cuchara bivalva
- Reja manual de desbaste de 100mm
- Pozo de bombeo de agua bruta
- Tamizado de 5mm
- Desarenado-desengrasado
- Pozo de bombeo intermedio
- Tamizado fino de 1mm
- Arqueta de reparto a biológicos y mezcla con recirculación

- Reactor biológico con cuatro etapas, la primera anóxica y el resto con aporte de aire.
- Filtración con membranas, junto con recirculación y purga de fangos.
- Desinfección con UV
- Bombeo al emisario marino

| Agua de Entrada | | Fechas | | | |
|------------------------|----------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Parámetro | Unidad | Enero | Febrero | Marzo | Abril |
| pH | unidad pH | 7,93 | 8,08 | 8,05 | 7,74 |
| K | mS/cm | 5,15 | 5,19 | 5,80 | 5,19 |
| SS | ppm | 288 | 228 | 237 | 230 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | 249 | 250 | 237 | 221 |
| DQO | mg O ₂ /l | 523 | 516 | 371 | 444 |
| Coliformes Totales | ufc/100 ml | | | | |
| Estreptococos Fecales | ufc/100 ml | | | | |
| E. Coli | ufc/100 ml | | | | |
| | | | | | |
| Agua de Salida | | Fechas | | | |
| Parámetro | Unidad | Enero | Febrero | Marzo | Abril |
| pH | unidad pH | 7,64 | 7,50 | 7,54 | 7,37 |
| K | mS/cm | 4,92 | 5,05 | 5,18 | 4,75 |
| SS | ppm | 1,00 | 0,30 | 0,30 | 0,60 |
| DBO ₅ | mg O ₂ /l | 2,45 | 1,00 | 4,24 | 4,50 |
| DQO | mg O ₂ /l | 12 | 25 | 21 | 20 |
| Coliformes totales | ufc/100 ml | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Coliformes fecales | ufc/100 ml | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estreptococos Fecales | ufc/100 ml | 0 | 0 | 0 | 0 |

Como se puede observar en los datos que han arrojado las analíticas y comparando éstos con los del Anexo I.A: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas se puede corroborar que el agua se podría usar en el nivel de calidad más estricto que sería el residencial (riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios) y en el peor de los casos, ejemplo 1, el uso sería el de servicios (riego de zonas verdes urbanas - parques, campos deportivos y similares-, baldeo de calles, sistemas contra incendios y lavado industrial de vehículos).

Como resumen hay que decir que no es perjudicial el uso de aguas residuales depuradas para riego u otros usos, pero hay que establecer la calidad de un agua tratada para el uso que se quiera dar a la misma, para lo cual se deben de tener en cuenta una serie de parámetros físicos, así como de componentes químicos y biológicos. Como se ha comprobado, las aguas residuales debidamente depuradas pueden ser reutilizadas y los niveles de calidad exigibles son superados con las tecnologías disponibles actualmente.

3.6. El coste del agua regenerada

El coste del agua regenerada depende principalmente del uso que se le quiera dar y la tecnología a emplear; normalmente una mayor calidad de efluente depurado requiere un mayor coste.

Por ello, el planteamiento del uso de una u otra tecnología para el tratamiento del agua se plantea desde el punto de vista de la mejor tecnología disponible, si bien este concepto engloba muchos aspectos y muy distintos en relación con la tecnología a implantar; desde los socio-económicos hasta los tecnológicos, pasando por los análisis de ciclo de vida.

En la siguiente tabla se indica una aproximación de los costes por metro cúbico de agua regenerada (instalación y explotación) de diferentes tipos de instalaciones en función del proceso empleado:

| PROCESO | COSTES INSTALACIÓN (€/m ³) | COSTES EXPLOTACIÓN (€/m ³) |
|--|--|--|
| Filtración sobre lecho de arena | 55,8 - 97,6 | 0,01 - 0,03 |
| Microfiltración | 209,2 - 384,1 | 0,05 - 0,08 |
| F-Q (sin adición de cal) + Filtración sobre arena | 77,3 - 133,1 | 0,03 - 0,04 |
| F-Q (con adición de cal) + Filtración sobre arena | 87,7 - 139,5 | 0,17 - 0,21 |
| Ósmosis Inversa (membranas acetato de celulosa) | 174,9 - 223,2 | 0,31 - 0,39 |
| Ósmosis Inversa (membranas poliamida aromática) | 174,9 - 223,2 | 0,18 - 0,26 |
| Electrodialisis (previo F-Q sin cal) | 209,2 - 230,7 | 0,16 - 0,21 |
| Electrodialisis (previo F-Q con cal o Microfiltración) | 209,2 - 230,7 | 0,13 - 0,19 |
| Cloración (Hipoclorito) | 1,1 - 3,2 | 0,01 |
| Cloración (Cloro gas) | 7,5 - 8,6 | 0,01 |
| Ozonización | 35,4 - 49,4 | 0,03 - 0,08 |
| Rayos ultravioletas | 7,5 - 8,6 | 0,01 - 0,02 |

Como se puede ver, dependiendo del uso previsto que se le vaya a dar al agua regenerada (nivel de calidad) se podrá hacer un tipo de tratamiento u otro dependiendo si es viable económicamente y existe un equilibrio entre oferta y demanda.

En la siguiente tabla se representa los costes por metro cúbico de agua regenerada así como el consumo energético empleado en la regeneración de la misma:

| | EJEMPLO 1 | EJEMPLO 2 | EJEMPLO 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Coste energético (kWh/m ³) | 0,91 | 0,60 | 1,00 |
| Coste agua (€/m ³) | 0,25 | 0,19 | 0,30 |

Como se puede observar el consumo energético es mayor en aquellos procesos que emplean filtración con membranas y por consiguiente el precio del coste de agua por metro cúbico también es mayor.

En el futuro es previsible una cierta reducción de costes de las membranas (reducción de precios de las mismas y reducción del consumo de energía necesaria para el tratamiento). No obstante, es necesario elegir la tecnología adecuada en base al uso real que se vaya a dar al agua regenerada y la elección final deberá tener en cuenta criterios de diverso tipo aparte de los tecnológicos, como los económicos, los sociales, etc.

Como se ha afirmado repetidas veces en muchos temas ambientales y sociales, la solución no es sólo incrementar la oferta, que siempre queda sobrepasada por la demanda; por el contrario, deberían establecerse mecanismos de gestión de la oferta y en el caso del agua optimizar sus usos. Esta optimización se debe basar muy especialmente en la tecnificación de los regadíos, aumentando exponencialmente la eficiencia de uso.

3.7. La reutilización del agua regenerada

3.7.1. Reutilización directa e indirecta.

El agua regenerada considerada en la actualidad como un recurso no convencional frente a otros convencionales, tiene cada vez una utilización más extendida contemplándose en muchos de los planes de cuenca con el objetivo de realizar una explotación hídrica sostenible.

El marco jurídico de la reutilización del agua depurada queda plasmado desde hace un año en el Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

En la utilización del agua regenerada, en el Real Decreto 1620/2007, no se contempla su uso para el consumo humano, siendo éste el verdadero problema futuro debido a la escasez y el uso no sostenible de este recurso.

Aunque la mayoría del agua es usada para el regadío, es importante resaltar que el 70 % del cuerpo humano es agua y aproximadamente se requiere ingerir 1,5 litros de agua diarios para realizar adecuadamente todas las funciones vitales.

En contraposición con los porcentajes de reutilización españoles, cabe resaltar los porcentajes de reutilización del agua regenerada en California, que junto con Florida, son dos ejemplos claros de reutilización del agua regenerada para paliar la escasez de este recurso:

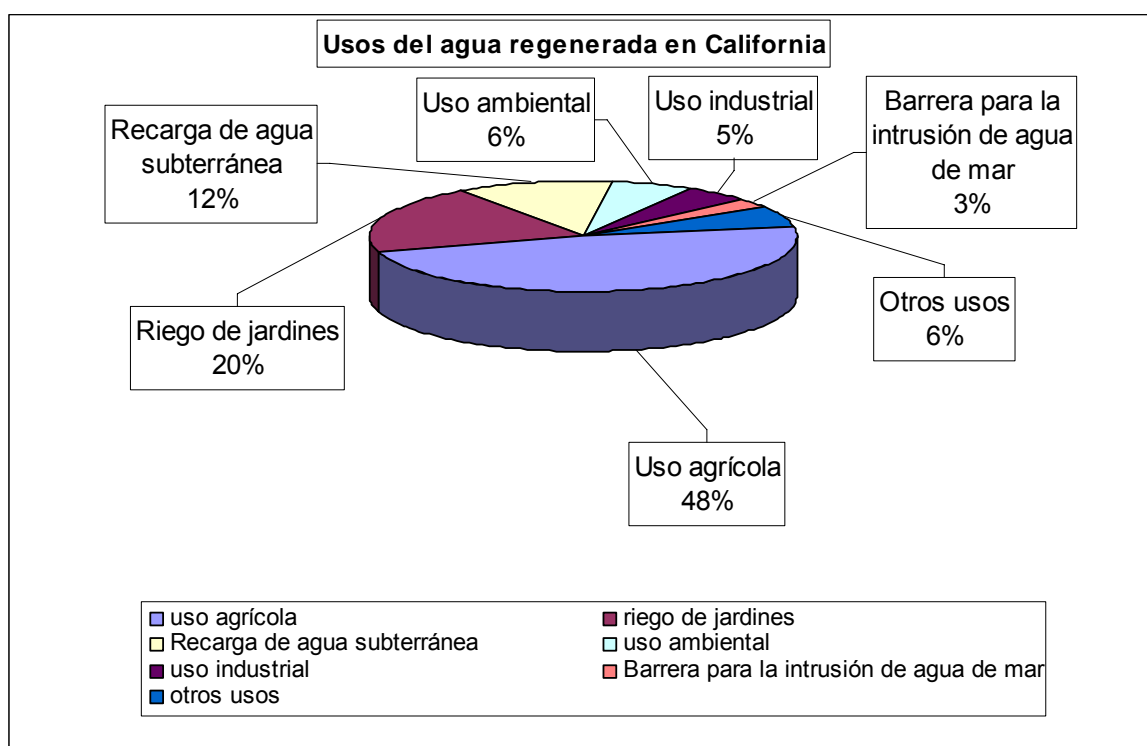


Ilustración 20: Usos del Agua Regenerada en California (Fuente: SWRCB).

La reutilización directa y por consiguiente planificada del agua puede ser potable o no potable.

El uso directo potable ha sido propuesto y estudiado en países como Estados Unidos, pero éste uso no ha sido aceptado por la opinión pública incluso con el tratamiento más sofisticado de potabilización, sin embargo si que ha sido admitido para usos no potables, incluyendo aquellos en los que hay contacto potencial humano; algunos ejemplos son el riego de campos de golf, zonas verdes, diversos tipos de agricultura y acuicultura, así como el riego de zonas de pasto.

En países como Japón, entre los usos urbanos no potables del agua regenerada se encuentran los sistemas contra incendios, sistemas de aire acondicionado y el uso en las cisternas de los aseos.

Mientras que el uso directo potable es, hoy por hoy, impracticable, si que se contemplan formas de uso indirecto potable; ejemplos de ello se pueden encontrar en California y Florida, dónde el agua regenerada es utilizada en la recarga de acuíferos subterráneos, que son utilizados como suministro de agua potable.

En el caso de España, la legislación recoge únicamente el uso potable del agua regenerada en el caso de catástrofe natural, en los que siempre se atenderá a las autoridades sanitarias respecto a los usos y niveles de calidad exigidos.

3.7.2. Problemática técnica y sanitaria.

Los proyectos de reutilización de agua regenerada, engloban dos aspectos importantes: la calidad del agua y la salud pública.

Recientes estudios ha puesto de manifiesto la aparición de riesgos a largo plazo asociados a las trazas de compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos en el agua regenerada, entre ellos los pesticidas, productos de aseo personal, cromo hexavalente y arsénico a bajas concentraciones, ppb o ppt.

Estas trazas y el número de agentes químicos encontrados aumentan conforme avanzan los métodos de análisis para el agua regenerada.

El Real Decreto 1620/2007, se posiciona respecto a la reutilización del agua regenerada, de un modo conservador, teniendo en cuenta la problemática sanitaria.

Con los métodos actuales de trabajo para el análisis de trazas de compuestos orgánicos en el agua residual regenerada existe un límite de detección entre los 10^{-9} y 10^{-12} g/L, existiendo incertidumbre respecto al riesgo microbiológico humano a valores menores.

Otro riesgo sanitario a tener en cuenta ante la posibilidad de que el agua residual regenerada entre a formar parte del ciclo del agua en un circuito cerrado, es el que se desemboque en la formación de una bacteria resistente a los tratamientos actuales de regeneración y que ésta pase a formar parte tanto de forma directa, como indirecta a través de la agricultura o de los animales, del cuerpo humano, con los riesgos de salud que esta situación puede traer consigo.

También contempla la legislación un riesgo medioambiental, refiriéndose a los posibles metales y compuestos orgánicos contaminantes que pueden afectar a los ecosistemas de ríos, estanques...

Actualmente el agua regenerada, debido a los tratamientos de potabilización usados para cumplir con los parámetros de vertido existentes, se puede considerar como un agua prepotable, pudiendo llegar incluso a tener más calidad que la del propio medio natural al que se vierte.

España dispone en estos momentos de las técnicas de regeneración necesarias para llevar a cabo proyectos de reutilización de agua depurada para los usos de riego agrícola y zonas verdes económicamente factibles desde el punto de vista sanitario y ambiental.

Una de las causas de que la reutilización directa del agua en España no esté más desarrollada se debe al coste que lleva asociada la nueva red de distribución de agua regenerada hacia el usuario final.

Con toda esta problemática el uso indirecto potable del agua regenerada sería una de las formas de asegurar las reservas hídricas, realizando una explotación desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Para que un proyecto de reutilización de aguas residuales llegue a buen término, es necesario invertir tanto en la mejor tecnología disponible, como en los medios para asegurar su calidad hasta el umbral de detección de microorganismos patógenos necesario.

Las mejoras encontradas al llevar a cabo la reutilización indirecta del agua son:

- Proveer de fuentes seguras de agua.
- Mejora de la calidad del agua, al evitar el vertido a ríos de aguas residuales en unas condiciones de calidad inferiores, al tener solo en consideración para fijar estos parámetros el punto de vista medioambiental.
- Proteger el agua subterránea de la intrusión del agua de mar, con lo que las reservas de agua para uso potable aumentarían.
- Disminuir la descarga del agua residual a mares y océanos.

3.7.3. Aceptación pública.

La aceptación pública es un factor con relevancia en cuanto a la regeneración del agua se refiere.

Cuando se plantea en una región en particular un proyecto de reutilización de aguas residuales, como método para paliar las deficiencias de agua frente a otros métodos de esta índole, son aspectos importantes para asegurar el éxito del proyecto:

- La justificación técnica en la elección de la mejor tecnología disponible
- La inversión en controles y medidas de seguridad para asegurar la calidad del agua en todo momento.

Otro aspecto importante a considerar es el hacer partícipe a los habitantes de la región del proyecto en todas sus fases, para que éste no se vea rechazado por la opinión pública debido al desconocimiento y a la incertidumbre que crea un proyecto de estas características.

Estas razones pueden llevar a la no consecución del proyecto por el rechazo que el término de regeneración trae consigo.

Un ejemplo claro de esta situación, se encuentra en Estados Unidos, donde hay en funcionamiento proyectos de reutilización indirecta del agua para uso potable.

Para el éxito de estos proyectos han sido muy importantes las campañas de información ciudadana, explicando de forma clara y comprensible en que consiste y porque sería la mejor forma de resolver el problema de abastecimiento, admitiendo críticas y aportaciones de la población, para evitar en la medida de lo posible la paralización del proyecto por desconocimiento del mismo.

Recordemos que la información y participación del ciudadano en las decisiones que le afectan, forma parte de la cultura del desarrollo sostenible.

Para los futuros proyectos de reutilización potable indirecta en Estados Unidos, se consideran respecto a la aceptación pública, entre otras, las siguientes premisas:

- Establecer una educación respecto al agua en los colegios, para poder evaluar un proyecto de regeneración dentro de la problemática existente.
- Hacer partícipe a la población en todas las fases del proyecto, desde la comparación con otras fuentes de agua hasta la elección de la regeneración como método para paliar el déficit hídrico en la región.
- Establecer con la población un diálogo bidireccional, admitiendo consejos y críticas, no devaluando a priori una apreciación.

4. MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO

4.1. Consideraciones previas, económicas y ambientales.

Nos detendremos para empezar, en el concepto de la modernización de regadíos con el objeto de precisar su definición, por obvio que pueda parecernos y que en un sentido amplio englobaría también la mejora e igualmente la consolidación de regadíos.

Algunas veces se entiende por modernización el conjunto de actuaciones que permiten la innovación en general de los sistemas de riego, y por mejora de riegos, aquellas actuaciones sobre las instalaciones existentes que sin embargo no suponen cambios en dichos sistemas de riego.

Asimismo, la consolidación suele hacer referencia a conseguir que un regadío infradotado en cuanto a disponibilidad de recursos hídricos, pueda alcanzar un régimen de dotaciones de riego adecuadas a su realidad de cultivos.

Como se ha apuntado anteriormente, se considerará la modernización de regadíos englobando actuaciones de modificación de estructuras e instalaciones del riego, y también acciones puramente de gestión de los sistemas de riego.

La modernización de regadíos resulta ser por tanto una aplicación particular al regadío, del proceso general de modernización de las explotaciones agrarias.

La modernización de regadíos no puede entenderse en la actualidad al margen del concepto de desarrollo sostenible. Se cumple ahora el décimo aniversario de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que se celebró en Río de Janeiro en 1.992 y que supuso la consolidación de ese concepto, indispensable en la concepción y formulación de cualquier proyecto de utilización de recursos naturales.

El agua es cada vez más un recurso escaso y dada su capacidad de contribuir a la producción de bienes y servicios, su necesidad es comúnmente apreciada y su valor se incrementa como recurso estratégico. Por lo tanto resulta obligado diseñar alternativas más eficientes a la gestión actual del uso del agua, que permitan un mejor aprovechamiento del recurso.

El agua será el más escaso y preciado recurso de este milenio. España es el 4º país en consumo per cápita de agua, superado tan sólo por EEUU, Canadá e Italia, los dos primeros abundantes en el recurso y el tercero tan escaso como nosotros.

España es, a su vez, el 1er. país de Europa y el 9º del mundo en superficie de riego, resultado de tener que luchar con la adversidad de un clima y tratar de vencerlo. El regadío español ocupa un 14% de la Superficie Agraria Útil y un 17% de la superficie de cultivo, y produce el 60% de la Producción Final Agraria.

Hoy en día es de todos conocida la situación de los recursos hídricos en España, los rasgos que los caracterizan, los principales problemas que sobre ellos se plantean, y las deficiencias detectadas para su mejor gestión.

La modernización de regadíos, mediante las actuaciones de adecuación de las infraestructuras existentes a un diseño de gestión eficiente, y la mejora de la propia

gestión de los sistemas de riego, es sin lugar a dudas la respuesta adecuada a esa necesidad de promover un uso eficiente del agua en la agricultura.

Así pues, se deberán contemplar actuaciones en las infraestructuras de reforma de los sistemas de riego, en su sentido más amplio:

- Actuaciones de captación y almacenamiento de agua.
- Actuaciones de conducción, distribución y aplicación del agua a los cultivos.
- Actuaciones de mejora en la gestión del regadío.

No se debe perder de vista que el regadío, como cualquier actividad económica, no puede sustraerse a las leyes del mercado y por tanto, el empresario agrícola, el cultivador, el regante, lo que persigue es obtener el mayor beneficio posible, y todas sus preocupaciones giran alrededor de esa idea: producción eficiente para poder ser competitivo y poder vender sus productos con el mayor margen posible.

Por tanto, el ahorro en el uso del agua, -que evidentemente se producirá en la mayoría de los casos, al implantar la modernización de un regadío-, no debe entenderse como un fin en sí mismo a perseguir con la modernización, puesto que el objetivo final del regante aparte de ahorrar agua, es evidentemente, mejorar su renta.

Por otra parte, el ahorro de agua, o en un sentido más general, la optimización del uso del agua, es una necesidad para las explotaciones de regadío, derivada de su coste cada vez más alto, como consecuencia de su escasez.

El agricultor sabe que si utiliza el agua más eficientemente reducirá sus costes de producción y por tanto incrementará su beneficio.

Lo anterior es un razonamiento lógico en términos exclusivamente económicos de una actividad privada, pero además, el regante tiene que tener en cuenta otros condicionamientos, y en particular la restricción, impuesta por la sociedad de ahora, de utilizar el agua en términos ambientalmente correctos.

Efectivamente, al ser el agua, además de un factor de producción, un recurso escaso imprescindible para la vida, del medio natural en general y de las personas en particular, la sociedad organizada se preocupa de que se utilice bien y no permite su uso inadecuado, su despilfarro, o su contaminación.

Las autoridades que velan por la protección del medio ambiente aplican la legislación que ha sido promulgada con el deseo de los ciudadanos de conservarlo en buenas condiciones, no pensando exclusivamente en el presente sino también en el futuro, para preservar el derecho de nuestros descendientes a un medio ambiente que permita vivir al menos con la calidad de ahora.

Esta restricción ambiental debe ser tenida igualmente en cuenta por el ingeniero que proyecta la modernización de un regadío, como una premisa que condiciona cualquier diseño de modernización.

A este respecto, conviene recordar las facultades del organismo de cuenca en relación con el aprovechamiento y control de los caudales concedidos, que se enumeran en el

artículo 55 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, y en particular las relativas a los sistemas de control efectivo de los caudales de agua utilizados.

A instancias del Organismo de cuenca los usuarios estarán obligados a instalar y mantener los correspondientes sistemas de medición que garanticen información precisa sobre los caudales efectivamente aprovechados y, en su caso, retornados, y asimismo las comunidades de usuarios podrán exigir también el establecimiento de análogos sistemas de medición a los comuneros o grupos de comuneros que se integren en ellas.

Se trata en definitiva de garantizar una explotación racional en los aprovechamientos de agua, habida cuenta de que la Ley no ampara el abuso del derecho en la utilización de las aguas, ni el desperdicio o mal uso de las mismas, cualquiera que fuese el título que se alegase, conforme se establece literalmente en el artículo 50.

Pero además, y en relación con la posibilidad de revisión de las concesiones de agua, - que se trata en el artículo 65-, se establece expresamente que las concesiones para regadíos podrán revisarse en los supuestos en que se acredite que el objeto de la concesión puede cumplirse con una menor dotación o una mejora de la técnica de utilización del recurso, que contribuya a un ahorro del mismo.

A este fin, las Confederaciones Hidrográficas realizarán auditorías y controles de las concesiones para comprobar la eficiencia de la gestión y utilización de los recursos hídricos objeto de la concesión. Hay que tener en cuenta que el Organismo de cuenca podrá incluso suspender la utilización del agua hasta que se realicen las obras e instalaciones que permitan evitar el mal uso del agua.

Como puede verse, el marco de actuación diseñado por el legislador está perfectamente definido y constituye una restricción insoslayable para cualquier modernización que se acometa en un regadío. Pero al mismo tiempo, este escenario ciertamente coercitivo, contempla la posibilidad de ayudas económicas para realizar las inversiones necesarias, y debe entenderse como una oportunidad que el regante no debería desaprovechar para modernizar su empresa agraria.

Normalmente la transformación del sistema de riego que se ha venido empleando en un regadío, implicará también un cambio en las prácticas de cultivo que se han venido realizando, de forma que la modernización del regadío significará en definitiva la adopción de una nueva técnica de producción.

Es decir, se conseguirá una mejora indudable de las tecnologías de producción, que contribuirán, por un lado, a una producción eficiente mediante un aumento de la productividad, y al mismo tiempo se logrará una mayor eficiencia en el consumo del agua, estimándose ahorros significativos con respecto a la situación de partida.

En general la modernización de los sistemas de riego supone una considerable inversión que será necesario rentabilizar. Por tanto, un diseño económicamente eficiente resulta imprescindible, al igual que en cualquier proyecto de ingeniería.

4.2. La modernización de regadíos en la planificación del agua en España.

Durante los últimos 20 años, la política del agua ha evolucionado siguiendo tres etapas fundamentales: primera, Ley de Aguas, desde 1985 hasta 2001; segunda, Plan Hidrológico Nacional (PHN), 2001-2004 y Plan Nacional de Regadíos (PNR), 2002-2008; y tercera, programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua), desde 2004 hasta el presente.

Los Planes Hidrológicos de cuenca, constituyen el instrumento imprescindible para conocer las actuaciones susceptibles de llevarse a cabo en cada una de las cuencas. Pretenden la mejor satisfacción de las demandas de agua, economizando su empleo y racionalizando sus usos, en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

En distintos planes hidrológicos de cuenca, redactados a mediados de los años noventa, y aprobados en 1.998, por el Real Decreto 1.664/1.998, se incluyen relaciones de zonas regables en donde se propone la realización de actuaciones de modernización y mejora, afectando a un total de 1.200.000 ha, que supone una superficie del orden del 50% de la superficie regada en el ámbito de dichos planes, lo que permite hacernos una idea del grado de importancia que tiene la optimización del uso del agua en regadío.

Igualmente la modernización de regadíos en el Plan Hidrológico Nacional aprobado mediante la Ley 10/2001 de 5 de julio, de las Cortes Generales, se contemplaban importantes actuaciones de modernización de regadíos, que suponen una inversión de 6.150 millones de euros, es decir el 26,7% de la inversión total del Plan, que asciende a 23.050 millones de euros. Su objetivo principal era financiar las inversiones en mejora y modernización de regadíos, para una mejor gestión y ahorro de los recursos hídricos y para renovar parte de las envejecidas infraestructuras de riego.

En el anexo II de la Ley estaban programadas hasta el año 2008 más de 200 grandes actuaciones de modernización de regadíos, encontrándose en la actualidad en ejecución muchas de estas actuaciones.

Estas inversiones del Plan Hidrológico Nacional están orientadas a la modernización de grandes infraestructuras de conducción y distribución de agua.

Aparte de las actuaciones recogidas en el anexo II, la Ley regula importantes cuestiones relacionadas no sólo con las transferencias de agua entre ámbitos territoriales de distintos Planes Hidrológicos de cuenca, sino con la racionalización y optimización de los recursos hídricos, y en este sentido, por estar relacionada con la modernización de regadíos, debe citarse la disposición adicional duodécima, que recoge la preocupación por el control de los caudales concesionales y de los vertidos al dominio público hidráulico, y establece que los Organismos de cuenca habrán de determinar los medios de control efectivos y los procedimientos de comunicación e inspección de los mismos.

Finalmente, dentro del Plan Nacional de Regadíos, la mejora, modernización y consolidación de los regadíos existentes, en especial las dirigidas a racionalizar el uso del agua, se consideraron prioritarias.

Con el PNR se optó, inicialmente, por la continuidad de las obras emprendidas, con una mayor coordinación entre los antiguos Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y el Ministerio de Medio Ambiente, competente en la distribución en alta del agua,

seleccionándose aquellos proyectos que presentaban un mayor grado de sostenibilidad, tanto económica como social y ambiental.

Fruto de la experiencia acumulada durante este primer período, en el año 2006 se llegó a la conclusión de que el PNR necesitaba una profunda revisión, no tanto en la alteración del listado de obras previstas, como en los criterios de fijar las prioridades de las mismas, adaptándose a una clara circunstancia de evaluación de la utilización del recurso agua. Este recurso, cada vez más caro y escaso, se veía afectado en su utilización, más allá de unas condiciones climáticas claramente desfavorables, por dos cuerpos legales que incidían claramente en la política de regadíos, como son la Directiva Marco del Agua y el nuevo Texto Refundido de la Ley de Aguas. Junto a ellos, el sentir de las comunidades de regantes, elementos claves en la política de regadíos, aconsejaban también la citada revisión.

Todo ello ha llevado a la revisión del PNR, materializada en el Real Decreto 287/2006, de 10 de marzo, conocido como Plan de Choque de Modernización de Regadíos, en el que se establece una prioridad de las obras en función de su sostenibilidad económico, social y medioambiental.

Además, por primera vez en la historia del regadío español, se publica en el anejo correspondiente para cada proyecto, junto a la inversión prevista, el ahorro de agua que se pretende y que permitirá atender necesidades de abastecimiento así como el resto de usos, incluidos los ambientales. También, del listado de obras previstas se desprende tanto la utilización por el regadío proveniente del reciclado de aguas residuales de núcleos urbanos, como la puesta en marcha de agua procedente de la desalación. Con ello se abarca un amplio abanico de posibilidades que permiten, simultáneamente, un ahorro muy considerable, cifrado en más de 1.162 hm³, así como la mejora del potencial productivo. Además, todos los agricultores que se benefician del Plan se comprometen a adoptar, a través de un riguroso programa de vigilancia ambiental, medidas para reducir la contaminación.

Al describir las posibles medidas y actuaciones que en materia de gestión de la demanda de riego, contribuyen a perfilar las políticas del agua del futuro, basadas en la utilización racional de los recursos hídricos, se relacionan las siguientes:

- La mejora de las instalaciones de regulación y control de las redes principales, automatizando su funcionamiento.
- La construcción de depósitos de almacenamiento en las márgenes de los canales principales.
- La mejora de las conducciones, con instalación de elementos de medida y control.
- El incremento de la disponibilidad de equipos de conservación, la reducción de los gastos de conservación y explotación de la infraestructura.
- La transferencia, en su caso, a las comunidades de regantes de las competencias en la gestión y mantenimiento de las redes.
- La mejora o sustitución de métodos de riego.

- La modernización de las estructuras agrarias, incrementando el tamaño de las explotaciones y fomentando el cooperativismo.
- La promoción de la investigación aplicada y la realización de estudios específicos sobre modernización y mejora de regadíos.

En el Libro Blanco del Agua en España, que el antiguo Ministerio de Medio Ambiente presentó en diciembre de 1.998 con objeto de analizar de forma rigurosa los problemas del agua en España y plantear las posibles estrategias para resolverlos, sirviendo de valioso elemento de ayuda para la ulterior redacción del Plan Hidrológico Nacional, ya se afirmaba de forma contundente que una gran parte de los regadíos existentes se hallaban dotados de unas infraestructuras de riego, de drenaje, de comunicación y de comercialización, totalmente obsoletas, que respondían a una tecnología anticuada y de imposible adaptación a las necesidades del desarrollo de una agricultura moderna y competitiva.

Se advertía que la rentabilidad de las inversiones encaminadas al ahorro de agua, variaría notablemente entre cuencas, y aún dentro de una misma cuenca, entre diferentes áreas de riego, y se señalaban dos importantes cuestiones que habría que tener en cuenta al abordar la modernización de los regadíos españoles, por su incidencia en cuanto a costes añadidos para nuestra agricultura, en términos comparativos con los países de nuestro entorno:

- La necesaria reestructuración de la propiedad para obtener superficies de parcela de una dimensión suficiente para permitir la aplicación de tecnologías modernas de riego, soportadas por equipos con un mayor grado de mecanización.
- La propia dificultad de conformación de parcelas de dimensiones adecuadas para la mecanización de todas las operaciones de cultivo, debida a las particularidades orográficas de muchas áreas del territorio.

Ya se mencionaban las distintas actuaciones encaminadas a mejorar la competitividad de los regadíos actuales, que constituían el objetivo prioritario del Plan Nacional de Regadíos de 1.996, entonces vigente, en un marco de creciente liberalización del comercio agrícola en el mundo. Se citaban como actuaciones más significativas, la racionalización de las redes de transporte y distribución de agua, la modificación o mejora de los sistemas de riego y de la red de drenaje, nuevas redes de caminos, concentración parcelaria, mejora de los sistemas productivos y de comercialización (alternativas de cultivos, fomento del cooperativismo, promoción de nuevos sistemas de comercialización, acondicionamiento de los productos e industrialización agroalimentaria).

Se insistía asimismo en la necesidad de formación técnica de los regantes para lograr la competitividad de los regadíos, promoviendo la divulgación permanente de las tecnologías más adecuadas.

También se reflexionaba sobre el hecho comprobable de que el mayor impulso de la modernización de regadíos, manifestado en la mayor especialización y productividad económica, se venía produciendo en las provincias meridionales y levantinas, precisamente en las zonas de mayor escasez de agua, y circunscrito principalmente a los regadíos de producción hortofrutícola.

El Plan Nacional de Regadíos, aprobado, por el Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, contempla igualmente actuaciones de modernización de los regadíos existentes, hasta el año 2008, sobre una superficie que supera el millón de hectáreas, que podrían inducir un ahorro de agua del orden de 2.700 hm³/año, es decir más del 10% del agua demandada por el regadío español, obtenido tanto a partir de la disminución de pérdidas de agua en conducción y distribución, como por disminución de los retornos de riego.

Téngase en cuenta, que según se describe en el plan, existen en España más de un millón de hectáreas de regadío con una antigüedad superior a 100 años, constatándose una eficiencia muy baja, con elevadas pérdidas en más de 700.000 ha regadas mediante redes en las que predominan las acequias de tierra, pero observándose igualmente graves deficiencias de conservación en las redes de cauces de hormigón que dan servicio a casi 400.000 ha de regadío. Además, aproximadamente el 80% del riego por gravedad es riego por turnos, con una gran parte de las superficies que no reciben la dotación adecuada, debido unas veces al deterioro de las redes de conducción, y en otras ocasiones a la implantación de alternativas de cultivo diferentes a las consideradas en los proyectos iniciales. Todo ello, obligaba sin duda a programar las actuaciones que finalmente se han considerado en el Plan Nacional de Regadíos.

Al examinar los principios generales que inspiran el plan, sostenibilidad, cohesión, multifuncionalidad, competitividad, equidad, flexibilidad, corresponsabilidad y coordinación, se expresa la vocación de este plan de promover el desarrollo en las zonas rurales, integrando la actividad productiva con la conservación de los recursos naturales.

Se contempla el desarrollo de actuaciones básicas de modernización, como son la reparación de las estructuras hidráulicas existentes, la modificación del sistema de transporte y distribución, el cambio del sistema de aplicación del riego y diversas actuaciones complementarias como la mejora de las redes de drenaje y de caminos, la mejora de la capacidad de regulación y control del agua, la reordenación de la propiedad agraria, el control del consumo de agua mediante la instalación de contadores y la mejora genérica de la gestión del agua.

El volumen total de la inversión prevista en actuaciones de mejora de regadíos es de 6.113 millones de euros, en modificación de sistemas de transporte y distribución 1.996 millones de € en cambio del sistema de aplicación del riego 1.852 millones de € en reparación de estructuras hidráulicas 1.107 millones de € en actuaciones complementarias 1.158 millones de € de los que se invertirá un 50% hasta el año 2008, es decir un total de 3.057 millones de euros.

El riego por goteo, considerado como un desarrollo tecnológico idóneo para el riego eficiente de muchos cultivos, está implantado en España en 562.854 ha de regadío, lo que supone casi un 17% de la superficie total regada, según datos del Plan Nacional de Regadíos, ocupando en España uno de los primeros lugares del mundo en cuanto a superficie regada por este sistema, que permite una aplicación del agua eficiente y acomodada a los requerimientos del cultivo, gracias a su localización en el suelo y a su gran flexibilidad para la aplicación de riegos frecuentes, además de las facilidades que se consiguen para la aplicación junto con el agua de riego de fertilizantes y productos fitosanitarios.

Las inversiones anuales en cultivos protegidos en invernadero, que pueden considerarse como una modernización de regadíos, altamente tecnificada, han alcanzado los 270 millones de euros anuales, concentrándose principalmente en los regadíos próximos a las costas mediterránea y suratlántica, que se corresponden con las zonas en que debido a la severa escasez del agua, es necesario incrementar la eficiencia en el uso del agua.

La productividad del agua en esas zonas es muy alta, obteniéndose con frecuencia una producción con un valor superior a los 2 euros por cada metro cúbico de agua aplicada, muy superior a los 0,8 euros de la media nacional, lo que explica el extraordinario dinamismo de la inversión en este subsector del regadío.

Los datos anteriores revelan la extraordinaria importancia que se prevé para las actuaciones de modernización de regadíos en España, a acometer en los próximos años.

4.3. La Directiva Marco de Aguas.

La Unión Europea (UE) establece un marco comunitario para la protección y la gestión de las aguas. La Directiva marco prevé sobre todo la definición de las aguas europeas y de sus características, por cuencas y demarcaciones hidrográficas, así como la adopción de planes de gestión y programas de medidas apropiados para cada masa de agua bajo los principios generales de protección y uso sostenible, para alcanzar un buen estado de las aguas, considerando al mismo tiempo los aspectos cuantitativos, cualitativos y ecológicos.

Sin lugar a dudas esta Directiva está condicionando todas las actividades que utilizan el agua como factor de producción, y desde luego resulta un fuerte impulso para la modernización de regadíos. Constituye en efecto un objetivo de la Directiva, la promoción de un uso sostenible del agua, basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles, al igual que la prevención de todo deterioro adicional de los ecosistemas acuáticos, protegiendo y mejorando el medio acuático mediante medidas específicas de reducción progresiva de vertidos y emisiones contaminantes.

Desde la década de los 70 la UE ha aprobado más de 25 Directivas que se refieren tanto a las aguas dulces como a las marinas y pueden diferenciarse fundamentalmente en dos tipos: las que tratan de impedir el vertido de sustancias peligrosas y las que fijan normas mínimas de calidad según el uso que vaya a tener el agua (para la bebida, para el baño, etc.).

La Directiva 2000/60 trata de fijar unos principios comunes, además de garantizar la coordinación, la integración y la adaptación de las estructuras a esos principios generales de protección y uso sostenible del agua en la Comunidad, respetando la subsidiaridad de los Estados miembros.

La Directiva propicia la reflexión sobre la forma de abordar esta nueva política de aguas, en la que la dimensión ambiental es prioritaria y va a conducir a nuevas formas de gestión y a una nueva cultura del uso del agua. Al tratarse de un bien escaso hay que considerar este recurso como un bien económico que está sujeto a la aplicación del principio de quien contamina paga, y para el que también se tendrá en cuenta el principio de recuperación de los costes.

Esta Directiva que, en su conjunto es muy positiva, en cuanto pretende salvaguardar los intereses medioambientales, ha de ser tenida en cuenta en todas las actuaciones relativas a los regadíos, en las que como puntos más importantes hay que señalar los siguientes:

- La protección de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, para conseguir un buen estado de las aguas, considerando aspectos cuantitativos, cualitativos y ecológicos.
- La utilización de las mejores técnicas medioambientales para el control de la contaminación difusa.
- La recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua (referentes a la regulación, explotación, mantenimiento y amortización de las obras hidráulicas, así como los costes ecológicos). No obstante, debe tenerse en cuenta que el artículo 9 de la Directiva en su punto 4 establece que los Estados miembros no incumplirán la Directiva si deciden no aplicar la recuperación íntegra de los costes, de acuerdo con las prácticas establecidas para una determinada actividad de uso de agua y siempre y cuando ello no comprometa el logro de sus objetivos.

Las nuevas orientaciones para la política de regadío que se plasman en el PNR Horizonte 2008, incorporan las exigencias ambientales al tiempo que dan una gran importancia en sus programas de actuaciones al ahorro de agua de riego y a la gestión de la misma, reduciendo al máximo los retornos y propugnando la limitación a las transformaciones en regadío en determinadas unidades hidrogeológicas.

4.4. Evaluación económico-social de la modernización de regadíos.

Aunque la mayoría de las inversiones en regadío han estado sujetas a algún tipo de evaluación económica, en muchos casos estas evaluaciones no se han realizado con el rigor necesario. Sin embargo, en el contexto actual de creciente escasez de agua y presupuestos públicos restringidos, la evaluación económica de políticas e inversiones públicas adquiere una especial relevancia.

La primera etapa del análisis coste-beneficio consiste en analizar la situación actual y definir los objetivos del proyecto, política o programa a evaluar. El análisis de la situación inicial comprende la caracterización socioeconómica de la zona regable, así como la evaluación del nivel actual de servicio, del potencial de ahorro de agua y de la calidad.

Una vez definidos los objetivos del programa de modernización, debemos identificar las posibles actuaciones de mejora que permitan alcanzar dichos objetivos. La modernización de regadíos puede perseguir objetivos muy distintos en unas u otras regiones, las actuaciones a llevar a cabo podrán también ser muy diversas. Sin embargo, en general podemos afirmar que la modernización de regadíos no consiste únicamente en la mejora de las infraestructuras sino que implica una mejora de la operatividad de los sistemas de riego.

Por tanto, los programas de modernización deben incluir cambios tanto técnicos como institucionales en los sistemas de riego. Es decir, las propuestas a analizar no se limitan a las actuaciones técnicas sobre las infraestructuras de transporte y distribución del agua (revestimiento de acequias, mejora de las instalaciones de regulación, entubado de la red de distribución, mejora de la red de drenaje, instalación de dispositivos de medida y control, etc) sino que deben comprender además actuaciones sobre la gestión y explotación de los sistemas (automatización del riego, mejora en la organización del riego, implantación de tarifas vinculadas al consumo de agua, capacitación de los usuarios en las técnicas de manejo del agua, etc.) y/o reformas institucionales (normas de asignación de agua en situaciones de escasez, revisión del sistema concesional, transferencia de las competencias de gestión y mantenimiento de las redes a las comunidades de regantes, etc.).

La primera etapa del análisis coste-beneficio consiste en analizar la situación actual y definir los objetivos del proyecto, política o programa a evaluar.

Un aspecto clave de todo programa de modernización de regadíos es el diagnóstico de la situación inicial. Las actuaciones en modernización responden en general a la necesidad de garantizar, a medio y largo plazo, la sostenibilidad de los regadíos. Sin embargo, la problemática de los regadíos es muy variada: en muchos regadíos tradicionales de iniciativa pública, las pérdidas de agua en las redes de distribución son cuantiosas debido a que las infraestructuras son inadecuadas o presentan un deficiente estado de conservación; en otros casos, se producen problemas en el suministro debidos a la inadecuación entre los recursos hídricos disponibles y las demandas (zonas regables infradotadas); otras veces nos encontramos con problemas de drenaje o de salinidad, o con conflictos en el reparto del agua debidos a deficiencias en la gestión y explotación de los sistemas de riego. En cada caso, la problemática específica de la zona regable debe ser evaluada a fin de adoptar las medidas más adecuadas.

El análisis de la situación inicial comprende la caracterización socioeconómica de la zona regable, así como la evaluación del nivel actual de servicio, del potencial de ahorro de agua y de la calidad. En cuanto al nivel de servicio, éste depende tanto de condiciones técnicas (disponibilidad de agua, capacidad de almacenamiento, estado de las infraestructuras de riego existentes, etc.) como de condiciones socio-estructurales (sistema de derechos de agua, gestión de los sistemas). La definición del nivel de servicio en cualquier subsistema de riego (transporte, distribución, aplicación) debe incluir:

- Especificación de los derechos de agua de cada beneficiario y del punto de suministro del agua (en parcela, en cabecera de la zona regable, etc.).
- Fiabilidad del suministro, o grado en que el sistema de riego responde a las expectativas de sus usuarios. Los principales factores que afectan a la garantía de suministro son la incertidumbre climática, la capacidad de los sistemas para atender a las demandas previstas y los acuerdos institucionales para gestionar las situaciones de escasez.
- Flexibilidad, o correspondencia entre el suministro y las necesidades de agua del cultivo a lo largo de su periodo de crecimiento. Por ejemplo, en el subsistema de distribución, los mecanismos de distribución del agua pueden ir desde el sistema rotacional (escasa flexibilidad en el caudal, la duración y la frecuencia del

suministro) hasta el sistema de riego a la demanda (elevada flexibilidad) pasando por un amplio abanico de sistemas mixtos.

- Reparto de responsabilidades entre los agricultores, las asociaciones de regantes y las agencias de riego en lo que respecta a la explotación y mantenimiento de todos los elementos de los sistemas de riego. Cada nivel superior provee agua con un determinado nivel de servicio a un nivel inferior (el canal principal provee agua a los canales secundarios, estos a los terciarios, etc.) y condiciona, por tanto, la eficacia de los sucesivos subsistemas.
- Equidad, si los agricultores perciben que la distribución del agua no es equitativa, surgirán conflictos entre ellos y con los organismos responsables de la gestión. Los sistemas modernos de distribución de agua pueden incorporar dispositivos de control y garantizar un reparto más equitativo.

Una vez caracterizada la situación actual, será necesario analizar las posibilidades de mejora (mejora de las infraestructuras y mejora de la gestión) y definir los objetivos de nivel de servicio a nivel de cada subsistema de riego en términos de derechos de agua de cada beneficiario, punto de suministro de agua, fiabilidad y flexibilidad del suministro, etc.

Si bien los objetivos concretos de la modernización diferirán en cada caso, como objetivos generales de la modernización de regadíos podemos señalar:

Uso más eficiente de los recursos hídricos:

Incremento de la productividad del agua de riego. Las posibilidades de incrementar la oferta de agua de riego son cada vez más limitadas, por lo que las nuevas demandas de agua deberán satisfacerse mediante el ahorro en los usos actuales.

Incremento de recursos disponibles para otros usos. Dada la creciente competencia de los regadíos con los sectores urbano, industrial y ambiental, el ahorro de agua en los regadíos puede convertirse en una de las alternativas para satisfacer parte de las crecientes demandas de agua de otros sectores.

Mejora de la calidad del servicio de suministro de agua a los regantes:

Mejora de la fiabilidad y flexibilidad del suministro. La mejora de la fiabilidad del suministro de agua puede facilitar la introducción de tecnologías modernas de riego en la explotación. Asimismo, una mayor flexibilidad en el suministro de agua posibilita una mejora de los rendimientos y de la calidad de los productos. Por tanto, la modernización permite incrementar las rentas agrarias.

Reducción de los costes de explotación y mantenimiento de los sistemas de riego, que son muy elevados en las redes de riego antiguas.

Mejora de las condiciones de trabajo del regante. La modernización puede permitir establecer un sistema de organización del riego más acorde con las aspiraciones de los regantes (un sistema de riego a la demanda o, al menos, un sistema que evite la penalidad del riego nocturno o en fines de semana).

Mejora de la gestión colectiva del agua de riego. Un mejor control del agua, por ejemplo, puede facilitar un reparto más equitativo, minimizando así los conflictos por el uso de agua en situaciones de escasez.

Otros objetivos socio-económicos:

Sostenibilidad económica del regadío y mejora del nivel de vida de los agricultores.

Fomento de la competitividad de la agricultura.

Creación y sostenimiento del empleo agrario.

Equilibrio territorial, frenando el proceso de despoblación del medio rural y facilitando el relevo generacional en la agricultura.

Mejora de la calidad ambiental:

Sostenibilidad ambiental del regadío.

Reducción de la percolación profunda en las parcelas de riego, con la consiguiente reducción del arrastre de sustancias contaminantes y, por lo tanto, de los problemas de contaminación difusa.

Uso equilibrado de los recursos hídricos, permitiendo la recuperación de acuíferos sobreexplotados y de espacios naturales valiosos.

Una vez definidos los objetivos del programa de modernización, debemos identificar las posibles actuaciones de mejora que permitan alcanzar dichos objetivos.

Puesto que, como hemos visto, la modernización de regadíos puede perseguir objetivos muy distintos en unas u otras regiones, las actuaciones a llevar a cabo podrán también ser muy diversas. Sin embargo, en general podemos afirmar que la modernización de regadíos no consiste únicamente en la mejora de las infraestructuras sino que implica una mejora de la operatividad de los sistemas de riego.

Por tanto, los programas de modernización deben incluir cambios tanto técnicos como institucionales en los sistemas de riego. Es decir, las propuestas a analizar no se limitan a las actuaciones técnicas sobre las infraestructuras de transporte y distribución del agua (revestimiento de acequias, mejora de las instalaciones de regulación, entubado de la red de distribución, mejora de la red de drenaje, instalación de dispositivos de medida y control, etc) sino que deben comprender además actuaciones sobre la gestión y explotación de los sistemas (automatización del riego, mejora en la organización del riego, implantación de tarifas vinculadas al consumo de agua, capacitación de los usuarios en las técnicas de manejo del agua, etc.) y/o reformas institucionales (normas de asignación de agua en situaciones de escasez, revisión del sistema concesional, transferencia de las competencias de gestión y mantenimiento de las redes a las comunidades de regantes, etc.).

En algunas actuaciones de modernización, el diseño no ha tenido en cuenta consideraciones institucionales (reglas de asignación de agua, procedimientos de explotación, capacidad de gestión), lo que ha dado lugar a una gestión deficiente del

sistema con importantes afecciones a otros usuarios aguas abajo. La idea de que las restricciones institucionales son tan importantes como los aspectos estructurales en los proyectos de riego comenzó a hacerse evidente en los años 1980, cuando diversas organizaciones internacionales – Banco Mundial, International Water Management Institute – comenzaron a promover la creación de asociaciones de regantes. Para que las asociaciones de regantes tengan éxito es preciso un elevado grado de participación de los agricultores en el establecimiento de las normas, en la gestión económica y en la resolución de conflictos.

En una misma zona regable frecuentemente será posible identificar distintas alternativas de modernización. La gama de soluciones va desde pequeñas modificaciones en el manejo del riego hasta ambiciosos planes de modernización que incluyan un cambio en el sistema de riego. Si las alternativas producen los mismos resultados o beneficios podemos desestimar aquellas que tengan un coste superior. En general, sin embargo, las distintas alternativas producirán resultados distintos por los que será necesario realizar la evaluación económica para elegir la más idónea.

4.5. Evaluación ambiental en proyectos de modernización de regadíos.

La legislación española sobre evaluación de impacto ambiental respecto a modernización de regadíos se recoge en la Ley 6/2001 de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental. En dicha Ley se traspone la Directiva europea 97/11/CE del Consejo de 3 de marzo que a su vez modifica la 85/337/CEE. En esta Ley se amplían sustancialmente las categorías de proyectos sujetos a evaluación de impacto obligatoria, recogidos en el anexo 1, entre los que se incluyen los proyectos de riego cuando afecten a una superficie mayor de 100 ha. Sin embargo no se incluyen los proyectos de consolidación y mejora de regadíos, reconociendo implícitamente el carácter menos agresivo ambientalmente que estos proyectos suponen en general.

Sin embargo esta misma Ley no exime por anticipado del procedimiento de evaluación de impacto ambiental a todos los proyectos de modernización de regadíos, sino que exige que este requerimiento sea decidido en cada caso de proyectos de consolidación y mejora de regadíos de más de 100 ha, por el órgano ambiental competente, al igual que todos los demás proyectos incluidos en el anexo II de la citada Ley.

En España, el Plan Nacional de Regadíos en su vertiente de modernización está animado fundamentalmente desde las autoridades estatales por el ahorro de agua, que es un objetivo ambiental de primer orden en un país de recursos hídricos escasos.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental tienen como objetivo identificar y medir o valorar, de forma sistemática, la magnitud de los impactos de un determinado proyecto previsto para, en primer lugar, determinar si el medio tiene capacidad para absorber las consecuencias de tal actuación sin un deterioro grave del mismo, y en caso afirmativo elegir las soluciones que, considerando todos los factores, sean más favorables, y acompañar al proyecto con una serie de medidas preventivas y correctoras que reduzcan en lo posible el impacto.

La actividad agraria se basa en el uso de los recursos naturales (agua, suelo y aire) e incide de forma importante sobre el espacio, de manera que en muchos países, a lo largo de su historia, la agricultura ha modelado unos paisajes rurales en los que los elementos

aportados por la acción humana se unen a los naturales formando un conjunto que constituye actualmente un patrimonio de elevado valor histórico y cultural. Por otro lado, factores como la configuración física del terreno o la climatología han condicionado distintas formas o modalidades de actividad agraria que muestran una gran diversidad entre países, e incluso dentro de un mismo país. España es un buen ejemplo de esta diversidad con los bosques y praderas de la Cornisa Cantábrica, los huertos y naranjales del Este y Sudeste, los extensos cultivos herbáceos de las mesetas castellanas, etc., sin contar las peculiaridades de nuestras zonas semidesérticas o desérticas, así como de los exclusivos paisajes canarios, cultivados muchas veces en terrazas con terrenos artificialmente preparados.

Existe, pues, una gran interdependencia entre la agricultura y el medio ambiente, pero es necesario tener en cuenta que estas relaciones poseen una especificidad que las distinguen de las existentes en otros sectores económicos.

En primer lugar, se trata de relaciones de carácter complejo, no lineal, que dependen de condiciones locales, tales como, por ejemplo, las características de los sistemas agroecológicos, la meteorología, las condiciones económicas y tecnológicas predominantes en la producción o del tipo de prácticas agrarias, de forma que es necesario profundizar en su análisis para poder interpretarlas adecuadamente. En segundo lugar, es necesario señalar que cuando se habla de los impactos ambientales en la agricultura se tiende a dar por hecho que se trata de impactos negativos, cuando, en realidad, los efectos de la agricultura sobre el medio ambiente pueden ser tanto benéficos como perjudiciales. Muchas veces se dan simultáneamente ambos casos y, a menudo, los efectos dañinos provienen de prácticas inadecuadas y desaparecen cuando se modifican y mejoran estas prácticas.

Los principales efectos de las actividades agrarias sobre el medio ambiente, según los recursos afectados, son los siguientes:

Calidad del aire

- Emisiones de polvo, olores, amoníaco, gases de efecto invernadero (negativos).
- Absorción de dióxido de carbono (positivo) por la función fotosintética.
- Utilización eficiente de la energía (positivo).

Calidad del suelo

- Aumento o disminución de la erosión.
- Aporte de elementos nutrientes (positivo o negativo).
- Salinización, sodificación, acidificación (negativos).
- Mantenimiento de niveles óptimos de materia orgánica (positivo).
- Depósito de residuos (negativo).

Biodiversidad

- Especies vegetales y animales tanto domésticas como silvestre de carácter autóctono que se conservan (positivo) o desaparecen (negativo) como consecuencia de la actividad agraria.
- Mantenimiento de especies naturales asociadas a los agrosistemas (positivo).

Generación de residuos

- Gran volumen de residuos, como plásticos y restos de cosechas (negativo, aunque positivo en el caso del compostaje o recuperación para producción de materia orgánica o energía).
- Estiércoles y purines de animales (negativo, pero positivo en el caso de buena utilización del estercolado).
- Productos químicos, fertilizantes y fitosanitarios (negativo).
- Residuos procedentes de la industria alimentaria, envases y embalajes (negativo).

Hábitats

- Desaparición de hábitats (negativo).
- Mantenimiento o creación de nuevos hábitats relacionados con la actividad agraria (positivo).

Paisaje

- Destrucción de elementos del paisaje naturales, culturales e históricos (negativo).
- Mantenimiento o creación de nuevos paisajes agrarios (positivo).

Cantidad del agua

- Sobreexplotación de las unidades hidrogeológicas (negativo).
- Eficiencia en el uso del agua (positivo o negativo).
- Capacidad de retención del agua (positivo o negativo).
- Prevención de inundaciones (positivo o negativo).
- Reducción del caudal de los ríos (negativo).

Calidad del agua

- Escorrentía y lixiviado de elementos contaminantes (nitratos, cationes pesados y sustancias agroquímicas) y presencia de sedimentos (positivo para el suelo, negativo para acuíferos y aguas superficiales).
- Salinización (negativo).
- Cambios en la capa freática (normalmente negativos).
- Generación de vertidos (negativo).

Cuando a causa de diversas interacciones desaparece la cubierta vegetal, desaparecen también la microfauna y la microflora que intervienen en los ciclos tróficos de las plantas; y al final se llega a la desertificación de grandes regiones como la ocurrida en el Sahara, que se extiende ya al Sureste Ibérico.

En la región mediterránea, una de las principales causas de la pérdida de suelos, y por tanto de desertificación, es el laboreo tradicional, realizado generalmente a favor de pendiente, que desestructura el terreno agrícola y promueve la pérdida de materia orgánica.

Las actividades agrarias también son causa de grandes transformaciones, especialmente de terrenos forestales en agrarios. Esto implica la destrucción de recursos directos (leña,

maderas, etc.) y de otros indirectos (cambios en el microclima, mayor irradiación, menor infiltración de agua, mayores escorrentías, menor valor recreativo y paisajístico, etc.).

Los cambios en los sistemas de producción ganaderos hacia explotaciones intensivas sin base territorial y el incremento de las cargas ganaderas son los factores claves de la incidencia ambiental de la ganadería, y en particular en lo que se refiere al manejo de deyecciones cuando las explotaciones no disponen de tierra suficiente para su empleo como fertilizante orgánico.

La ganadería también contribuye al efecto invernadero por la emisión de gases que produce. Se estima que la actividad pecuaria en la UE participa con el 80% y el 40% de las emisiones de amoníaco y de metano, respectivamente.

El consumo excesivo de combustibles fósiles para el mantenimiento de sistemas agrícolas muy intensivos, con balances energéticos a menudo negativos, es otra de las causas que favorece el cambio climático del planeta a causa de dicho efecto invernadero.

También la industria agroalimentaria afecta al medioambiente en cuanto genera vertidos de alto contenido orgánico que si no son tratados adecuadamente deterioran los cauces receptores, produce residuos de envases y embalajes que pueden ser contaminantes si no se gestionan correctamente y, en determinados sectores, puede contaminar el aire por emisiones de CO₂, polvo, partículas, olores, etc.

En concreto en el regadío intensivo los excesos de fertilizantes, especialmente nitrogenados, por encima de lo recomendado en las prácticas agrícolas adecuadas puede provocar la acumulación de sales minerales en el suelo, que acaban contaminando las aguas cuando son solubles, como es el caso de los nitratos. En menor grado puede ocurrir con el fósforo, potasio y otros micronutrientes, ya que estos elementos tienen una escasa movilidad en el perfil del suelo, especialmente en suelos como los españoles que en general tienen un pH elevado y, por tanto, estos elementos tienden a insolubilizarse.

La escasa fertilidad de los suelos, los bajos niveles de fertilización orgánica (que libera lentamente los nutrientes que utilizan las plantas), junto con la salinidad creciente, puede contribuir al fenómeno de la erosión y la desestructuración del suelo. La falta de materia orgánica, unido a una cobertura vegetal inadecuada y el exceso de laboreo, determinan que el suelo sea erosionado por vientos y lluvias.

Asimismo, influyen negativamente sobre el suelo los residuos de fitosanitarios porque afectan a la microflora y a la microfauna del terreno, así como a otras especies vegetales y animales silvestres aprovechadas por el hombre.

En Europa, el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos se ha venido reduciendo desde los años ochenta, pero ha vuelto a aumentar desde 1992, y, con pocas excepciones, las concentraciones residuales de fitosanitarios en cosechas y aguas subterráneas y superficiales no han disminuido.

Los problemas más graves y a la vez más singulares generados por la agricultura en España son la desertificación (el 44% del territorio está afectado en mayor o menor medida por procesos erosivos) y la demanda de recursos hídricos.

La agricultura en España ocupa un 40% del territorio y genera el 75% de la pérdida de suelos. Cultivos arbóreos y herbáceos de secano son los que ofrecen pérdidas mayores de suelo. Sectores como el de los cultivos leñosos de secano, como es el caso del olivar, que ocupa el 4% del territorio del país, ocasionan pérdidas de suelo considerables, aunque tienden a reducirse por las mejoras en las técnicas de laboreo que se practican actualmente.

Asociado a este problema está el bajo nivel de materia orgánica de los suelos mediterráneos, donde los efectos de una climatología adversa se ven multiplicados por el excesivo laboreo y volteo de los suelos.

El compromiso para preservar la diversidad biológica, o biodiversidad, por parte de la práctica totalidad de países y gobiernos del mundo, fue suscrito en la Cumbre de Río en 1992, bajo el nombre de Convenio sobre la Diversidad Biológica, ratificado por España en diciembre de 1993. El Convenio establece determinados objetivos y la necesidad y la obligación de que las partes contratantes elaboren estrategias, planes o programas nacionales para cumplirlos. España elaboró su Estrategia para la Conservación y el Uso de la Diversidad Biológica en 1999.

Los usos agrarios tradicionales que todavía perduran en España, y el aislamiento secular de muchas de sus comarcas, han propiciado que nuestro país presente probablemente una de las mayores riquezas genéticas ganaderas y agrícolas de toda Europa Occidental. La tecnificación agraria, el desarrollo de la industria de piensos, la importación de híbridos, etc., ha hecho que la mayor parte de este patrimonio se encuentre muy deteriorado.

En los cultivos se ha producido una sustitución de los cultivares locales, que componían una riquísima diversidad genética, por variedades mejoradas de alta producción, uniformes, de estrecha base genética y, en la mayoría de los casos, obtenidas a partir de materiales no autóctonos.

En el regadío español, aproximadamente el 80% de los recursos hídricos se destinan a regar, a menudo de forma poco eficiente, 3,6 millones de hectáreas de cultivo. Existen problemas derivados de la contaminación, salinización y agotamiento de los ríos y acuíferos. El 60% de los humedales españoles están desecados o gravemente alterados, y buena parte de los acuíferos costeros o insulares, así como del centro peninsular (acuíferos 23 y 24), se encuentran sobreexplotados.

En la actualidad, la intensidad de la demanda para los diversos usos del agua se está aproximando al techo de la renovabilidad del recurso, lo que llega a producir tensiones excesivas entre una oferta y una demanda desequilibradas. La actual planificación hidrológica del Plan Hidrológico Nacional (PHN) trata de restablecer los equilibrios allá donde más claramente están alterados, pero ello no exime al regadío de buscar sus propias soluciones de ahorro y mejora de la eficiencia del uso del agua, a lo que trata de responder el vigente Plan Nacional de Regadíos.

La adecuada evaluación de impacto ambiental de los proyectos de regadío y su seguimiento mediante programas de vigilancia ambiental, son garantías de que, tanto los técnicos como los propios regantes conozcan en profundidad los impactos ambientales que su actividad causa, para corregir o eliminar los negativos y valorar debidamente los positivos.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental tienen como objetivo identificar y medir o valorar, de forma sistemática, la magnitud de los impactos de un determinado proyecto previsto para, en primer lugar, determinar si el medio tiene capacidad para absorber las consecuencias de tal actuación sin un deterioro grave del mismo, y en caso afirmativo elegir las soluciones que, considerando todos los factores, sean más favorables, y acompañar al proyecto con una serie de medidas preventivas y correctoras que reduzcan en lo posible el impacto. Un punto crucial, pues, para el buen resultado del proceso es el conocimiento que se obtenga de la capacidad de acogida del medio sobre el que se actúa.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental tienen su origen legal en la aprobación de la National Environment Policy Act (NEPA) como legislación federal de Estados Unidos en 1969, siendo consecuencia de la preocupación por el descontrolado crecimiento demográfico y desarrollo económico de la época, así como de las teorías sobre el desarrollo sostenible. Con ella se modifican los procesos públicos de toma de decisión al incluir la variable medioambiental en los diferentes instrumentos de análisis, hasta ese momento estrictamente técnicos y económicos.

Los proyectos sobre los que actúa SEIASA de La Meseta Sur, S.A. se enmarcan dentro de la normativa Estatal Medioambiental, la Ley 6/2001, de 8 de mayo, en su Anexo II (Grupo 1, apartado c, "Proyectos de consolidación y mejora de regadíos de más de 100 ha". El Anexo I de la ley contiene los proyectos de obras, instalaciones u otras actividades que deberán someterse a una Evaluación de Impacto Ambiental y obtener la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental; el Anexo II determina los proyectos de obras, instalaciones o cualquier otra actividad que serán sometidos previamente a una evaluación de impacto ambiental, cuando así lo decida el Órgano Ambiental, en un estudio caso por caso. La decisión, que debe ser motivada, se ajustará a los criterios establecidos en el Anexo III.

Conviene resaltar el interés que tiene la realización de análisis y evaluaciones ambientales de Planes y Programas, mediante lo que se ha dado en llamar evaluación medioambiental estratégica, como forma de contemplar escenarios y opciones alternativas más generales, en los que se puede tener en cuenta el factor ambiental y generar así proyectos viables ambientalmente. En caso contrario, existe el peligro de que el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental aplicado a proyectos individuales se convierta únicamente en un instrumento de corrección de impactos, en vez de una herramienta preventiva, dada la dificultad que este método presenta para abordar las causas más profundas que originan determinados desequilibrios ambientales.

Para que desde el punto de vista operativo un proceso de esta naturaleza sea eficaz resulta conveniente que las tareas de planificación y evaluación se desarrollen con un cierto grado de simultaneidad, de forma que la evaluación no sea solo un requisito que se cumple una vez terminados los trabajos del Plan.

El marco competencial actual se establece considerando, por un lado, las competencias que sobre actuación en materia ambiental corresponden a las Comunidades Autónomas, y por otro, la correspondiente al Estado que, de manera puntual, puede ejercer dichas competencias en virtud de dos criterios: la supraterritorialidad y el interés general.

La pieza fundamental de los procesos de evaluación es el Estudio de Impacto Ambiental que deberá suministrar la información suficiente para fundamentar la evaluación del

mismo. La finalidad de dicho Estudio es realizar una predicción sobre los efectos (impactos) ambientales que el proyecto, de realizarse tal como se propone en la alternativa considerada, puede producir, así como una valoración de los mismos.

El contenido exacto del Estudio dependerá de la acción de que se trate, pero en todo caso, y como contenido mínimo obligatorio, deberá constar de las partes siguientes:

- Descripción de la actuación que se quiere llevar a cabo.
- Inventario ambiental
- Identificación y valoración de los impactos
- Propuesta de medidas protectoras y correctoras
- Programa de vigilancia ambiental
- Documento de síntesis

El procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental se desarrolla, en nuestro caso, paralelamente al de aprobación del proyecto y culmina con carácter previo al mismo, con el que participa en determinadas fases procedimentales y con el que guarda el principio de unidad de expediente.

Las diversas fases del procedimiento de Evaluación son:

- Iniciación. Comunicación al órgano ambiental de la intención de realizar el proyecto, acompañando una memoria-resumen.
- Consultas previas. Del órgano ambiental a personas, organismos e instituciones.
- Elaboración y presentación del Estudio. Junto con la documentación del proyecto.
- Información Pública. Del Estudio junto con el expediente y documentos del proyecto.
- Remisión del expediente al órgano ambiental. Previa a la aprobación del proyecto.
- Declaración de impacto. Dictada por el órgano ambiental con o sin condicionado.
- Resolución de la aprobación. El órgano competente, recibida la Declaración de Impacto, resolverá el procedimiento de aprobación, incorporando al condicionado de su resolución el derivado de la Declaración de Impacto.

El procedimiento administrativo de evaluación culmina, de manera normal, con la Declaración de Impacto Ambiental: se trata de un acto previo e instrumental del procedimiento sustantivo, de naturaleza discrecional y que, por tanto, ha de ser debidamente motivado. La Declaración de Impacto Ambiental determinará, a los solos efectos ambientales, la conveniencia o no de realizar el proyecto, y en caso afirmativo, fijará las condiciones en que debe realizarse, las medidas correctoras que deben aplicarse e incluirá las prescripciones pertinentes sobre el periódico seguimiento de su adecuada puesta en práctica.

4.6. La modernización de regadíos como nueva fuente de agua.

Ya en el informe FAO Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030 se presenta el regadío como crucial para los suministros de alimentos del mundo. En 1997-99, la tierra de regadío representaba solamente una quinta parte aproximadamente de la superficie de labranza total en los países en desarrollo, pero producía dos quintas partes de todos los cultivos y casi tres quintas partes de la producción de cereales. Se espera que siga en aumento el papel desempeñado por los regadíos. Se considera probable que los países en desarrollo en su conjunto aumenten su superficie de regadío de 202 millones de ha en 1997-99 a 242 millones en 2030. La mayor parte de esta expansión se producirá en zonas con escasez de tierras en las que el regadío ya es crucial.

Se predice que el incremento neto de tierra de regadío será inferior al 40 por ciento del conseguido desde principios de los años sesenta. Parece que hay suficientes tierras susceptibles de regadío sin utilizar que pueden satisfacer las necesidades futuras: estudios de la FAO sugieren que existe un potencial total de regadío de unos 402 millones de ha en países en desarrollo, de los que sólo la mitad están actualmente en uso. Sin embargo, los recursos hídricos serán un factor importante que limitará la expansión en el Asia meridional, que estará utilizando el 41 por ciento de sus recursos renovables de agua dulce para 2030 y en el Cercano Oriente y África del Norte, que estará utilizando el 58 por ciento. En definitiva todo se traducirá, en una utilización del agua con mayor eficacia.

El libro blanco del agua que el antiguo Ministerio de Medio Ambiente presentó en diciembre de 1.998 nace de la constatación, y tras las experiencias del pasado reciente, como necesidad de promover, desde la propia Administración hidráulica, un esfuerzo colectivo de reflexión común, de unificación de vistas, de integración, que ayude, sin el carácter de un texto formal normativo o reglado, sino abierto y flexible, con voluntad de rigor, de diálogo y de acercamiento, a proporcionar elementos de juicio útiles a la colectividad e informe con los datos técnicos más fiables y actualizados de situaciones, criterios y problemas del agua frecuentemente desconocidos o, al menos, no reunidos de forma sistemática y crítica en un texto para el debate, de amplia difusión pública.

El regadío es un elemento fundamental de la estructuración del paisaje y una de las variables territoriales que configuran decisivamente la demanda total de los recursos hídricos. Es el sector más relevante, tanto en términos de ocupación de superficie, como de utilización y consumo de agua.

Pese a la tendencia general del descenso de la actividad agrícola, debe señalarse la relativamente elevada dependencia que aún se registra en gran parte del territorio español respecto del sector primario, reflejo de la tradicional vocación agraria de una parte apreciable de la estructura productiva de nuestro país. Aunque la media de participación de la agricultura y pesca en el Valor Añadido Bruto total nacional es inferior al 5%, existen provincias donde se supera el 15%.

Como es evidente, la situación actual y futura del regadío seguirá siendo una cuestión clave para el establecimiento de las necesidades de agua en las distintas regiones españolas.

La conveniencia de rehabilitar y modernizar los regadíos Las pérdidas en conducción y distribución dependen, en gran medida, del estado y características de las

infraestructuras. De los más de 100.000 km de acequias de que consta actualmente la red de distribución, una buena parte son cauces de tierra (sin revestir).

Aproximadamente el 30% de la red tiene más de 100 años de antigüedad y una gran parte del resto cuenta con más de 20 años. El envejecimiento y deterioro de estas redes es una de las causas de las pérdidas de agua en los canales y acequias, que se traducen en menores volúmenes disponibles para los cultivos, si bien esos recursos pueden ser, generalmente, utilizados aguas abajo. Todo ello pone de relieve las necesidades de rehabilitación y modernización de las redes en determinadas zonas del regadío español.

Por otro lado el consumo de agua en la agricultura creció dos veces más de prisa que el consumo total de agua en el conjunto de la economía entre 1990-1992 y 2001-2003. Como resultado, la agricultura supuso el 60 % del consumo total de agua en el período 2001-2003. Gran parte del aumento del consumo de agua por la agricultura se debe al incremento de la superficie regada en un 8% desde 1990-1992 hasta 2001-2003, representando más de la cuarta parte de la superficie total regada en la UE15 en 2001-2003. En 2001-2003, el regadío representaba el 9 % de la superficie agrícola útil, casi el 100 % del consumo agrícola de agua, entre el 50 % y el 60 % del valor final de la producción agrícola, y el 80 % de las exportaciones agrícolas. Por término medio, alrededor del 80 % de la superficie regable (es decir, de las tierras provistas de infraestructuras de regadío) se riegan todos los años. La principal fuente de agua para regadío son las aguas superficiales (75 %-80 %), representando las aguas subterráneas buena parte del resto; por otra parte, el porcentaje del consumo de aguas subterráneas que corresponde al regadío es de aproximadamente el 75 %-80 %. En algunas zonas costeras del Levante y en las islas, las aguas recicladas y procedentes de la desalinización se están convirtiendo en formas importantes de atender la demanda de agua para riego y otros usos.

Una gran parte de los cultivos mundiales ya son de regadío. En 1997-99, la tierra de regadío sólo era la quinta parte de la superficie de labranza total de los países en desarrollo. Sin embargo, debido a los mayores rendimientos y a las cosechas más frecuentes, representaba dos quintas partes de la producción de todos los cultivos y cerca de tres quintos de la producción de cereales.

Se espera que esta proporción aumente todavía más en los tres próximos decenios. Sobre la base del potencial para regadío, los planes nacionales para el sector y las necesidades de humedad de los cultivos, puede esperarse que los países en desarrollo en conjunto aumenten su superficie de regadío de 202 millones de ha en 1997-99 a 242 millones de ha en 2030. Esto es una previsión neta, es decir, está basada en la hipótesis de que la tierra perdida debido, por ejemplo, a la salinización y a la escasez de agua será compensada por rehabilitación o sustitución por nuevas zonas.

La mayor parte de esta expansión se producirá en zonas con escasez de tierras en las que el regadío ya es crucial: Asia oriental y meridional, por ejemplo, añadirán 14 millones de ha cada una.

En el Cercano Oriente y África del Norte también se producirá una expansión importante.

En el África subsahariana y América Latina, donde la tierra es abundante y hay menor necesidad de regadíos, así como menos potencial, se espera que el incremento sea mucho más modesto: 2 millones y 4 millones de ha respectivamente.

Aunque la expansión prevista es ambiciosa, es mucho menos imponente que la que ya se ha conseguido. Desde principios de los años sesenta, se han creado no menos de 100 millones de ha de nuevas tierras de regadío. El incremento neto previsto para los tres próximos decenios representa solamente el 40 por ciento de esa cifra.

La tasa de crecimiento anual esperada del 0,6 por ciento es menos de una tercera parte de la tasa conseguida a lo largo de los últimos treinta años.

El estudio de la FAO no incluía ninguna previsión para regadío en los países desarrollados, que representan aproximadamente la cuarta parte de la superficie de regadío del mundo. Los regadíos en este grupo de países crecieron muy rápidamente en los años setenta, pero en los noventa la tasa de crecimiento se ha reducido a sólo el 0,3 por ciento anual.

Al igual que con la tierra en general, se ha sugerido que pronto habrá escasez en el mundo de tierras adecuadas para regadío. También existe preocupación porque vastas zonas de tierras de regadío actualmente puedan sufrir graves daños a causa de la salinización. Una vez más, parecen exagerados estos temores a nivel mundial, aunque pueden producirse graves problemas a nivel local.

Estudios realizados por la FAO sugieren que todavía hay margen para extender los regadíos para satisfacer las necesidades futuras. Sin embargo, es difícil estimar con precisión el potencial de regadíos, ya que depende de datos complejos sobre suelos, pluviosidad y terrenos.

Por consiguiente, las cifras deben considerarse solamente como una guía aproximada. El potencial total de regadío en los países en desarrollo se estima no obstante en 402 millones de ha aproximadamente. De ésta superficie, la mitad aproximadamente estaba en uso en 1997-99, lo que dejaba un potencial sin utilizar 200 millones de ha. El aumento previsto hasta 2030 supondría utilizar solamente el 20 por ciento de este potencial no utilizado.

Sin embargo, en algunas regiones, el regadío se acercará mucho más a su pleno potencial: en 2030, en el Cercano Oriente y África del Norte y Asia oriental se utilizarán tres cuartas partes de su superficie de regadío y en Asia meridional (excluida la India) casi el 90 por ciento.

Otra preocupación que se plantea con frecuencia es que gran parte del mundo se dirige hacia la escasez de agua. Puesto que a la agricultura se destina el 70 por ciento aproximadamente de toda el agua utilizada para uso humano, se teme que esto pueda afectar al futuro de la producción de alimentos. Una vez más, no parece que haya razón para alarmarse a nivel mundial, pero a nivel de algunas localidades, países y regiones, es muy probable que surjan graves escaseces de agua.

La evaluación de la tierra de regadío potencial ya tiene en cuenta las limitaciones impuestas por la disponibilidad de agua. Los recursos renovables de agua disponibles en

una zona dada consisten en la cantidad añadida por las precipitaciones y el caudal fluvial entrante menos la cantidad perdida por evapotranspiración.

Esto puede variar considerablemente de una región a otra. Por ejemplo, en una región árida como la del Cercano Oriente y África del Norte, sólo el 18 por ciento de las precipitaciones y de los caudales entrantes permanece después de la evapotranspiración, mientras que en la zona húmeda del Asia oriental la proporción llega a alcanzar el 50 por ciento.

El agua utilizada para regadío incluye, además de la realmente transpirada por el cultivo que crece, toda el agua aplicada al mismo, que puede ser considerable en el caso de cultivos acuáticos, como el arroz. Por otra parte, se producen pérdidas por fugas y evaporación en el camino del agua hacia los campos y por el agua drenada de los campos sin ser utilizada por el cultivo.

La relación entre la cantidad de agua realmente utilizada para el crecimiento del cultivo y la cantidad extraída de los recursos hídricos se denomina rendimiento del uso del agua.

Hay grandes diferencias entre regiones en el rendimiento del uso del agua. Generalmente, el rendimiento es mayor donde la disponibilidad de agua es menor: Por ejemplo, en América Latina es sólo del 25 por ciento en comparación con el 40 por ciento en el Cercano Oriente y África del Norte y el 44 por ciento en Asia meridional.

En 1997-99, en el conjunto de los países en desarrollo, sólo se extrajeron el 7 por ciento aproximadamente de los recursos hídricos renovables para regadío. Pero a causa de diferencias en el rendimiento y la disponibilidad de agua, algunas regiones utilizaron una proporción mucho más alta que otras.

En el África subsahariana, donde el regadío está menos difundido, sólo se utilizó el 2 por ciento y en América Latina, rica en agua, un simple 1 por ciento. En contraste, la cifra correspondiente Asia meridional fue del 36 por ciento y en el Cercano Oriente y África del Norte no inferior al 53 por ciento.

Las proyecciones para los países en desarrollo implican un incremento del 14 por ciento de la extracción de agua para regadío en 2030. Incluso entonces, estarán utilizando solamente el 8 por ciento de sus recursos hídricos renovables para regadío. Las proporciones en el África subsahariana y en América Latina seguirán siendo muy pequeñas.

La disponibilidad de agua se considera que se convierte en un problema crítico sólo cuando se utiliza para regadío el 40 por ciento o más de los recursos hídricos renovables. Este es el nivel al que los países se ven obligados a hacer difíciles elecciones entre los sectores de abastecimiento de agua para usos agropecuarios y para uso urbano.

En 2030, el Asia meridional se encontrará a este nivel y el Cercano Oriente y África del Norte a no menos del 58 por ciento.

De los 93 países en desarrollo estudiados, 10 ya utilizaban más del 40 por ciento en 1997-99 y otros 8 utilizaban más del 20 por ciento, umbral considerado como indicador de escasez de agua inminente.

En 2030, dos países más habrán atravesado este umbral inferior y uno de cada cinco países en desarrollo sufrirá escasez de agua o será inminente su aparición.

Dos países, Jamahiriya Árabe Libia y Arabia Saudita, ya utilizan agua para regadíos por encima de sus recursos renovables anuales, mediante la extracción de reservas de agua subterránea fósil.

El empobrecimiento de aguas subterráneas también se produce a niveles locales en otros países del Cercano Oriente y África del Norte, Asia meridional y oriental. En extensas zonas de la India y China, los niveles de las aguas subterráneas están descendiendo de 1 a 3 m/año, lo que provoca desplomes de edificios, infiltración de agua de mar en los acuíferos y costos de bombeo más elevados.

En estos países y zonas, se necesitarán cambios de política e inversiones para mejorar el rendimiento del uso de agua, junto con innovaciones para mejorar la captación e infiltración de agua, así como recolección de agua, plantación de árboles, etc.

La mejora de las condiciones de almacenamiento y distribución del agua, evitando las pérdidas acarreadas por un mal estado de conservación, implica claramente una disminución sensible del caudal de los recursos hídricos nacionales destinados al regadío. El paso de los tradicionales sistemas de regadío a sistemas de riego a presión y localizado, es una mejora en la eficacia técnica del uso del agua. La aplicación de estos sistemas de riego implica la posibilidad de una utilización más racional de los fertilizantes, especialmente los nitrogenados y disminuye las oportunidades de arrastre hacia aguas subterráneas o superficiales de sustancias nitrogenadas. El cambio de sistema de riego suele ir acompañado por la aplicación de las más avanzadas tecnologías tanto en la aplicación de los riegos como en los sistemas de fertilización, ya que es posible utilizar los más sofisticados métodos informáticos para estas operaciones. Éstos son efectos ambientales claramente positivos.

Todos estos adelantos, permiten, a su vez, mejorar las servidumbres físicas que acarrea el manejo de las explotaciones en regadío, de manera que el regante se encuentra habilitado para distribuir mejor sus actividades a lo largo de las horas útiles de su jornada. Entre otros efectos beneficiosos de esta circunstancia se encuentra la posibilidad de mejorar su formación como agricultor, hombre de empresa y, en definitiva, como persona. Y estos son efectos sociales claramente también positivos, sin contar con el aumento del empleo propio e inducido alrededor de la explotación.

La diversificación en la producción, la mejora en la calidad de ésta, la aparición de industrias relacionadas con el regadío, no sólo en cuestión de equipamientos sino también en comercialización y consecución de segmentos competitivos en un mercado cada vez más globalizado, son efectos económicos positivos y, dado el futuro que se presenta a la producción agraria en los países de la Unión Europea, son también condición indispensable para el mantenimiento de la actividad en muchas zonas europeas y, sobre todo en el área mediterránea, en aquellas que sólo pueden competir con otras zonas rurales europeas gracias al regadío.

La consecución de un regadío sostenible en los días que corren, no es un objetivo gratuito. La sociedad demanda de la producción agraria una serie de exigencias cada vez más difíciles de cumplir: medio ambiente, salubridad de los alimentos, bienestar animal, etc. Los últimos reglamentos de la PAC están reflejando estas exigencias cada vez con

más intensidad. Sin embargo, se plantea la cuestión de cómo pueden nuestros agricultores conseguir los niveles de cumplimiento que las legislaciones vigentes están poniendo cada vez más altos. ¿Cómo conseguir una producción competitiva con el resto del mundo y al mismo tiempo llevar al agricultor a cumplir con una serie de exigencias que requieren a su vez nuevos costos añadidos al balance de su explotación?.

Lo mismo que en foros internacionales como la Organización Mundial de Comercio se plantea hasta que punto deben subvencionar los países su agricultura para no distorsionar los precios en un comercio mundial de libre competencia y cada vez más globalizado, cabe preguntarse hasta que punto los países que requieren del regadío para su agricultura, deben subvencionar éste de manera más o menos directa.

La UE mantiene el principio de que los niveles de cumplimiento ambientales para los agricultores deben estar fijados en los códigos de buenas prácticas agrícolas. Para alcanzar estos niveles el agricultor debe poner de su parte, aunque también están previstas ayudas en forma de asesoría, formación, extensión, etc. Sin embargo, cuando la normativa europea que afecta a todos los sectores con incidencia ambiental (industria, energía, transportes, turismo, agricultura), coloca, en el caso de la agricultura, unos niveles de calidad ambiental más allá de los fijados por estas buenas prácticas agrícolas, la PAC admite que las pérdidas sufridas por el agricultor para su cumplimiento sean compensadas.

Dentro de los nuevos reglamentos de la PAC se ha aplicado esta filosofía, particularmente en las zonas afectadas por la red Natura 2000, sin embargo, falta conocer los costes ambientales que van a acarrear las directivas referidas al uso del agua, principalmente la Directiva Marco, u otras directivas como la que regula el uso de nitratos en la agricultura.

Es cierto que en las políticas hidráulicas ya no es posible funcionar a la demanda, aumentando indefinidamente una oferta que tiene que atender a las demandas insaciables de una gama cada vez más diversa de sectores. Es preciso pasar a una economía del agua que regule tanto la oferta como la demanda, pues este recurso se ha convertido en escaso y requerido para una variedad cada vez mayor de usos: turismo, industria, núcleos urbanos en crecimiento salvaje y regadíos. Esto es especialmente importante teniendo en cuenta las previsiones del último informe del Panel Intergubernamental para el Cambio climático que estima una drástica reducción de las precipitaciones, provocando que el agua de riego compita aún más con la destinada a otros usos.

La modernización de los regadíos consolidando dotaciones y mejorando la eficacia del uso del agua, responde a estos requerimientos y, por tanto, debe ser objeto de una atención preferente de las autoridades para fomentar el que un número creciente de los agricultores actuales se incorpore al proceso y que esta incorporación no se acabe en las generaciones actuales, pues una moderna explotación en regadío tiene que ser suficientemente atractiva para que los jóvenes se incorporen a ella permaneciendo o volviendo a las zonas rurales a que pertenecen.

5. OPTIMIZACIÓN DE REDES

5.1.- Introducción.

En el presente documento procederemos a analizar metodologías de trabajo y tecnologías actualmente disponibles que nos ayudarán a optimizar las redes de transporte y distribución, con el objetivo último de reducir las posibles pérdidas de agua en su distribución, de forma que se acople la oferta a la demanda, tal que se reduzca el estrés de la oferta, pudiendo de esta forma liberar recursos para otros usos y en todo caso no tener que utilizar un recurso renovable, que se ha convertido desde ya hace muchos años, en un recurso no renovable a medio plazo.

Cualquier actividad no competitiva o de baja calidad está predeterminada a una rápida desaparición. En esta afirmación, hemos de encontrar sus ventajas, que nos conducen a una permanente necesidad de mejorar la calidad de los servicios, procurando que cada vez conlleven un menor coste y una reducción del uso de recursos, vitales en nuestro caso.

Por ello, se ha de trabajar en la actualización, modernización y permanente puesta al día de la actividad, en nuestro caso particular en la optimización de la red de distribución.

Las actuaciones que se han de llevar a cabo en este sentido, sería:

- Fuentes de suministro
- Sistema de Información
- Optimización de la explotación del sistema
 - Regulación
 - Ahorro energético
- Automatización de los sistema de distribución
 - Telemida
 - Telecontrol
 - Telegestión
- Utilización de modelos matemáticos
- Mantenimiento preventivo y correctivo

Para una correcta gestión del abastecimiento es necesario disponer de toda la información del mismo, por lo que necesitamos:

- Base de datos de la red y accesorios (G.I.S)
- Conocimiento de la producción, modulada en el tiempo, contemplando los diferentes caudales de inyección en los distintos puntos de suministro
- Control energético de las instalaciones
- Conocimiento de todo el equipo industrial instalado
- Niveles de caudal y presión en los puntos más significativos de la red
- Calidad del agua
- Control de la demanda por períodos y usos
- Incidencias en el sistema

5.2.- Gestión de la demanda vs gestión de la oferta.

Hasta fechas recientes, e incluso en la actualidad, la gestión de los recursos hídricos se ha basado en gran medida en un incremento de la oferta, con poco peso específico de la gestión del recurso.

En multitud de abastecimiento ha conllevado esta política a resultados muy pobres en cuanto a la calidad del servicio, llegándose a situaciones paupérrimas en cuanto a rendimientos hidráulicos y por tanto un volumen de pérdidas muy elevado.

Se ha demostrado que una correcta gestión de la demanda ha podido conllevar una reducción de la oferta necesaria, lo que por una parte optimiza los recursos y además puede reducir las inversiones necesarias.

Como gestión de la demanda se entiende aquellas políticas que permiten reducir la demanda de agua y mejorar la eficiencia de uso, con una mejora en la calidad del servicio.

Dentro de la gran variedad de políticas, nos centraremos en aquellas que permitan optimizar las redes de distribución, persiguiendo el objetivo que la totalidad del agua que se oferta sea consumida, o lo que viene a ser lo mismo, que la demanda se satisfaga con la máxima eficiencia posible.

Esta nueva forma de gestión tiene un gran número de ventajas y por el contrario ninguna desventaja, ya que nos permite reducir el volumen de inversiones en grandes infraestructuras, disminución del consumo energético que a su vez lleva aparejado grandes ventajas medioambientales, desde la captación del agua hasta su depuración, permitiendo esta reducción en los costes energéticos amortizar las inversiones así como acometer nuevas inversiones.

5.3.- Sectorización en redes de agua potable.

5.3.1.- Definición.

Consiste en dividir la red de distribución en sectores perfectamente controlados, de manera que puedan realizarse balances hídricos en cada uno de ellos, como si de pequeñas redes se tratase.

Cada subred, **sector**, constituirá una unidad de distribución, suficientemente limitada y homogénea para que la gestión de los datos a captar y analizar sea lo más rápida y fiable posible.

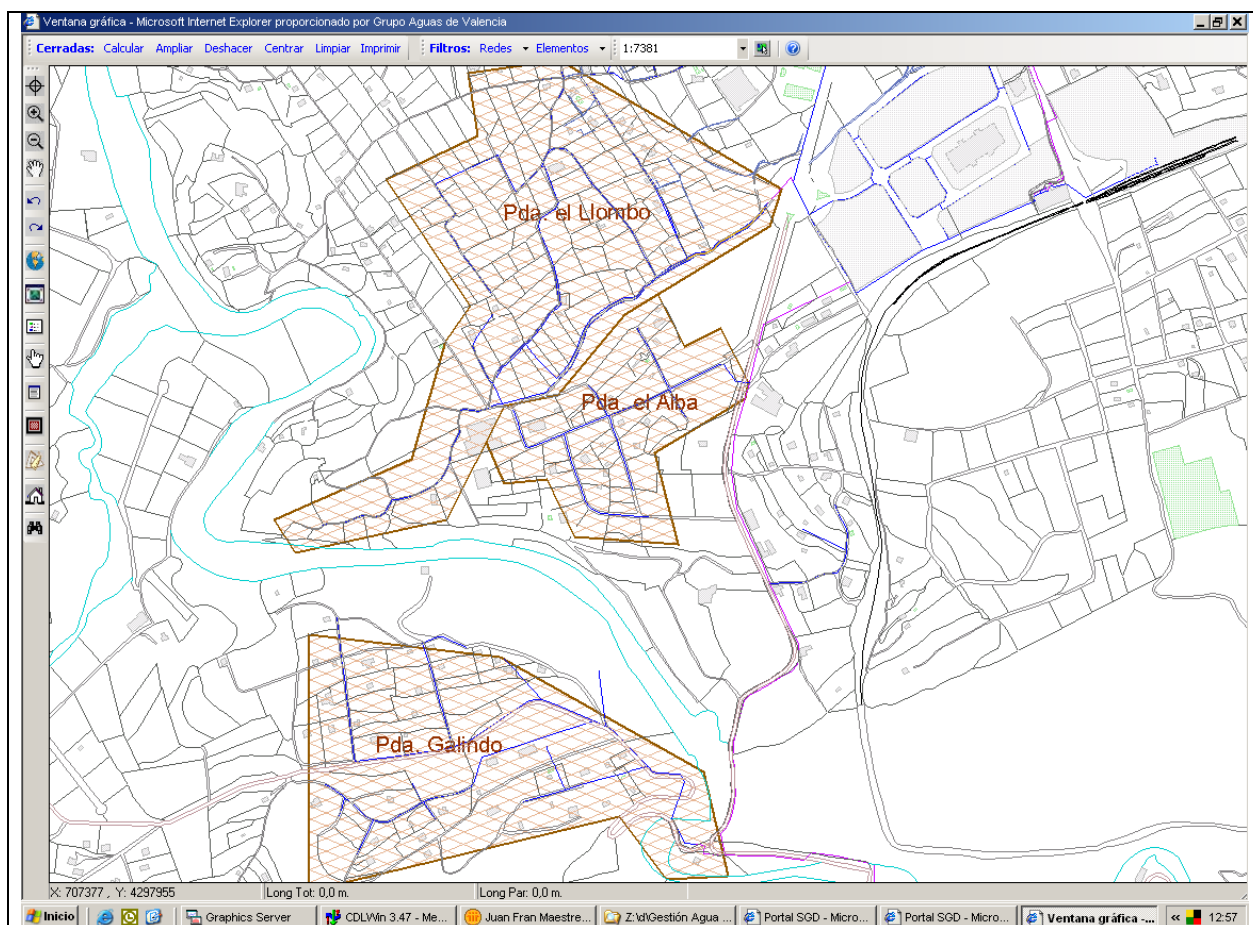
Cuando el contorno del sector está perfectamente delimitado, si es posible con un único punto de entrada, se puede proceder al análisis del funcionamiento del sector.

La sectorización es una opción estratégica que reduce el área de inspección para la detección, localización y control de anomalías.

Implica disponer de un determinado número de caudalímetros en el sistema y establecer un plan de seguimiento de lecturas en cada sector.

A su vez, los sectores pueden ser subdivididos en sectores más pequeños, hasta alcanzar el nivel de sectorización deseable o necesario.

La idea es fraccionar las dimensiones del problema, priorizando aquellas áreas en las que existen mayores incidencias y actuar en tiempo real sobre las mismas ('divide y vencerás').



Delimitación geográfica de varios sectores en un abastecimiento urbano

Los resultados de las mediciones en cada sector nos permitirán centrar la búsqueda e incluso tomar en consideración otras acciones:

- Renovación de redes
- Detección de tomas ilegales
- Detección de consumos no registrados
- Renovación parque de contadores
- Reducción presión o modulación de la misma en función de la demanda

Mediante la implantación de un sistema de control, la sectorización mejora sustancialmente la gestión de la explotación global de la red, optimizando los volúmenes de suministro y presiones en cada sector, reduciendo los costes energéticos.

Existen dos características generales de las redes de distribución, en las que hay que pensar a la hora de realizar la sectorización,

- Pueden encontrarse desagregadas en pisos de presión
- Suelen estar fuertemente malladas, sobre todo en las zonas más densas de la población

Por tanto, es imprescindible realizar un estudio de viabilidad, de manera que se asegure que los cambios provocados por la sectorización no resulten drásticos y que el nivel de servicio que prestará la red sectorizada será, como mínimo, de la misma calidad que el nivel existente.

Además del análisis de viabilidad técnica, debe realizarse un análisis de viabilidad económica, que permitirá decidir la sectorización más rentable, partiendo de la premisa que la sectorización puede ejecutarse en diversas fases, las cuales pueden ser complementarias, es decir, se puede iniciar con una sectorización básica que puede ir complementándose progresivamente, no debiéndose dar nunca por finalizada.

Criterios básicos para definir los sectores:

Deberá tenerse en cuenta ya una primera sectorización real de la red, como es la división de la misma en pisos de presión o zonas ramificadas.

A efectos de que la explotación de la red en su conjunto resulte operativa y eficaz, podría definirse un sector de longitud de red comprendida entre los 5 y 10 km.

A su vez, los sectores deben realizarse sobre áreas lo más homogéneas posibles:

- Domésticos
- Industrial / Comercial
- Riego

Dentro de un sector, si se cree necesario se pueden realizar subsectores

Previsión de alimentación para cada uno de los sectores por un único punto

Puede crear problemas localizados y será necesario prever una doble alimentación

Uniformidad de presiones en los puntos interiores en cada sector, es decir, minimizar en lo posible las variaciones espaciales de presión

Alimentación de los sectores

Debido a que los sectores deben ser alimentados por un único punto, en el mismo debe medirse los caudales inyectados.

Además de la medición de caudales mediremos la presión y evidentemente su evolución temporal.

Con esta medida se pueden obtener importantes beneficios en la mejora del funcionamiento de la red:

- Conocer el volumen de agua consumido en el sector
- Detectar sistemáticamente los sectores más críticos a través del conocimiento de índices de pérdidas de sectores
- Evaluar más fácilmente los resultados de medidas que se implanten dentro de un programa de reducción de pérdidas.

Una vez realizado este análisis, seremos capaces de determinar los áreas que comprenderá cada sector así como los puntos de alimentación y los puntos de interconexión entre cada sector, que deberán permanecer aislados como funcionamiento normal del sistema.

En la representación siguiente se puede observar la instalación de un punto de suministro de un sector para un polígono industrial, en el que se registra el caudal inyectado y además se procede a realizar una regulación en función de la demanda.



Trabajos de instalación de contador sectorial (300 mm) y regulación de presión por demanda

5.3.2.- Monitorización de la demanda

Realizar un seguimiento de la evolución de los principales parámetros es fundamental para saber si lo estamos haciendo bien y si las medidas adoptadas están siendo efectivas.

Para ello, se deberá contar con un adecuado sistema de medición y disponer de datos de los volúmenes registrados por sectores de la red.

Es razonable un nivel de fugas latentes que suponga unas pérdidas de 0,7 m³/km*hora, conseguir disminuir el volumen por debajo de ciertos límites puede ser muy complicado, por la dificultad de detectar y localizar fugas de pequeña o muy pequeña entidad.

La sectorización puede ser de gran ayuda en estos casos, ya que un seguimiento periódico de la evolución del volumen no registrado en los diferentes sectores permite concentrar los esfuerzos de detección en aquellos que presentan más fugas, por lo que se detectan antes, acortando la vida media de las mismas.

Cuantificar de manera adecuada los volúmenes no registrados es de suma importancia para conocer el estado actual de nuestros abastecimientos y analizar las estrategias a seguir para mejorar su eficiencia volumétrica.

Se deben adoptar planes de detección de fugas para aumentar el rendimiento a la vez que se deben consolidar como una operación más de mantenimiento.

Las medidas de prevención de fugas y otras acciones como la renovación del parque de contadores, instalación en todos los puntos de consumo, etc, son imprescindibles para mejorar el rendimiento en los abastecimientos.

El análisis de diferentes indicadores nos ayudará a conocer el estado de nuestro abastecimiento y su evolución temporal, así podríamos tener, para cada uno de los sectores:

- Qmin.- Caudal mínimo
- Qmed.- Caudal medio
- Qmax.- Caudal máximo
- Índice de fugas = Q_{min} / Q_{med}
- Nivel de fugas latentes = $Q_{min} / (\text{longitud} \cdot \text{tiempo})$

- Pmin.- Presión mínima
- Pmed.- Presión media
- Pmax.- Presión máxima
- Fluctuación máxima (%) = $(P_{max} - P_{min}) / P_{min} \cdot 100$

Rendimiento = $\text{Volumen registrado sector} / \text{Volumen inyectado sector}$

Evidentemente estos indicadores deben estar referidos a un período de tiempo concreto, siendo el período ideal el diario. A partir de indicadores diarios se pueden agregar obteniendo valores semanales o mensuales, de forma que posteriormente se puedan comparar históricos.

No debemos quedarnos únicamente en el valor absoluto del caudal, ya que será un valor diferente y no comparable para cada uno de los sectores y no nos proporciona una información homogénea, por ello es básico proceder al cálculo

índice de fugas, considerado este como el cociente entre el caudal mínimo y el medio del sector en el mismo período temporal. De esta manera obtenemos un valor adimensional, que nos permitirá poder comparar tanto su evolución temporal como con otros sectores.

5.3.3.- Auditoría sectorial.

Una vez se ha procedido a la sectorización de la red de distribución, o al menos se dispone de un sector acotado, se debe proceder a evaluar el estado de dicho sector, con tal de poder alcanzar un rendimiento óptimo en el mismo y disponer de datos históricos de consumo que permiten su comparación de forma periódica y poder conocer en tiempo real el estado del mismo.

Debido a que realizar una exposición exclusivamente teórica de este protocolo de trabajo no tiene excesivo sentido en el presente documento, procederemos a detallar la experiencia realizada en un sector determinado y el resultado obtenido en el mismo.

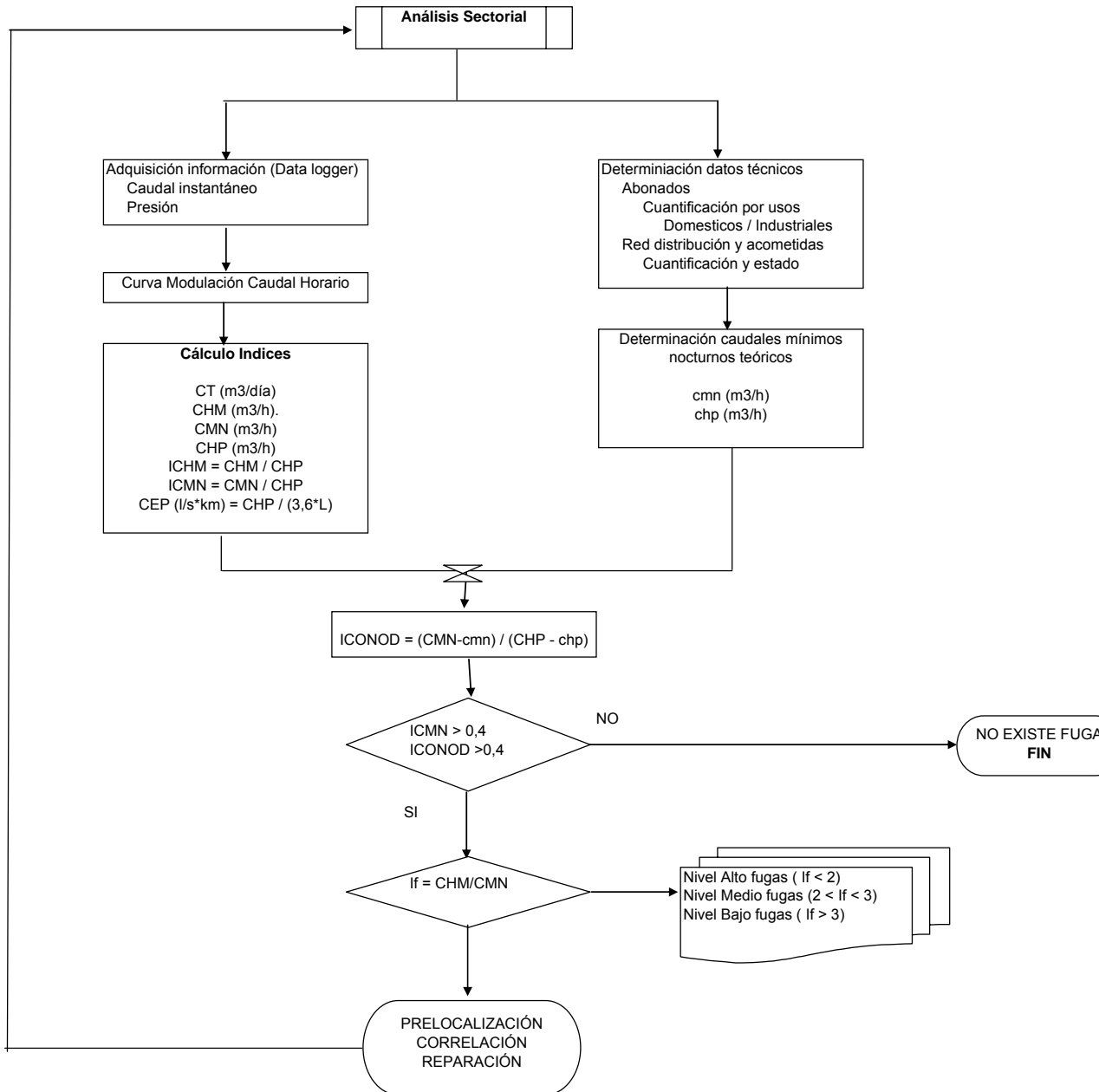
El primer paso se concreta en la determinación de un sector mediante la instalación de un contador sectorial. Concretamente se procedió a sectorizar y aislar un polígono industrial, ya que el mismo disponía de las características anteriormente mencionadas:

- Sector ramificado, con un único punto de suministro
- Homogeneidad en el uso del agua (industrial)
- Uniformidad de presiones e imposibilidad de suministro alternativo

Una vez instalado el oportuno contador sectorial se comenzó a obtener el consumo en dicho sector, si bien no teníamos un valor de referencia para saber si dicho consumo indicaba un buen rendimiento del sector o no, ya que no podríamos disponer de información histórica y únicamente se disponía del caudal instantáneo demandado así como los valores de presión.

Motivados por la ausencia de información se procedió a realizar un análisis sectorial en detalle que podríamos denominar 'Auditoría sectorial' que a continuación procedemos a describir.

En el diagrama siguiente se recogen los pasos a realizar y cálculo de índices para elaborar una auditoría sectorial.



| Índice | Unidad | Concepto | Cálculo |
|--------|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| CT | m3/día | Consumo total en 24 horas | Dato |
| CHM | m3/h | Consumo horario máximo en una hora | Dato |
| CMN | m3/h | Consumo mínimo nocturno en una hora | Dato |
| CHP | m3/h | Consumo horario promedio | CHP = CT/24 |
| ICHM | adimensional | Índice de consumo horario máximo | ICHM=CHM/CHP |
| ICMN | adimensional | Índice de consumo mínimo nocturno | ICMN=CMN/CHP |
| CEP | l/s*km | Consumo específico promedio | CEP=CHP/(3,6*L) |
| cmn | Dato | Consumo horario mínimo nocturno | Dato |
| chp | Dato | Consumo horario promedio | Dato |
| ICONOD | adimensional | Índice de Consumo Nocturno Doméstico | ICONOD=(CMN-cmn)/(CHP-chp) |

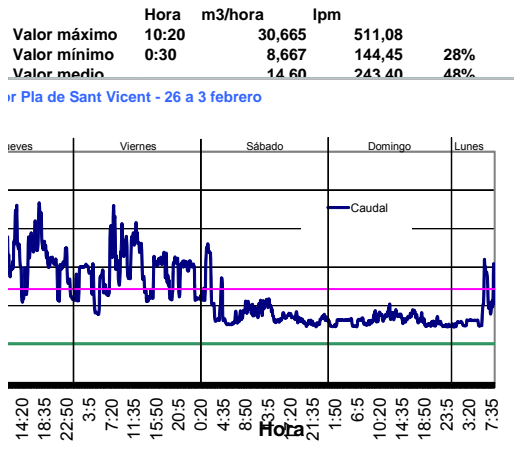
Trasladado este diagrama a la práctica, los pasos seguidos y los resultados obtenidos han sido:

Instalación de un registrador para la adquisición de datos

Inicio: 26 febrero – 8:35 horas

Fin: 3 marzo – 8:15 horas

| Muestra | m3/hora | lpm | Hora | Hora 2 | C.Noche |
|-----------------|---------|--------|------|--------|---------------|
| 26/02/2003 8:35 | 19,853 | 330,88 | 8:35 | 8,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 8:40 | 18,913 | 315,22 | 8:40 | 8,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 8:45 | 19,364 | 322,73 | 8:45 | 8,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 8:50 | 20,529 | 342,15 | 8:50 | 8,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 8:55 | 18,991 | 316,52 | 8:55 | 8,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 9:00 | 18,454 | 307,57 | 9:0 | 9,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 9:05 | 19,526 | 325,43 | 9:5 | 9,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 9:10 | 19,156 | 319,27 | 9:10 | 9,00 | 100,98 |
| 26/02/2003 9:15 | 19,446 | 324,10 | 9:15 | 9,00 | 100,98 |



Determinación datos técnicos

| Caudal entregado a los usuarios | | Nº Abonos | SubTotal |
|--|--------------|-----------|------------------|
| Total consumo de usuarios | Domésticos | 0 | 0.000 l/h |
| con más de 500 l/h en horas nocturnas | Industriales | 4 | 5.280 l/h |
| Estimación del consumo doméstico nocturno | | | |
| 1) 1,7 l/ab/h*Nº de abonos | 1,7 l/h | 38 | 65 l/h |
| 2) 0,6 l/hab/h*Nº de habitantes | | | |
| Estimación del consumo no doméstico nocturno | | | |
| Simplificado | | | |
| 8 l/ab/h*Nº Abonados | 8 l/h | 43 | 344 l/h |
| Detallado | A | | |
| | B | | |
| | C | | |
| | D | | |
| | E | | |
| Total caudal entregado a los usuarios | | | 5.689 l/h |

| Consumo nocturno Industriales | | | Consumo nocturno Domésticos | | |
|-------------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-----|
| NIA | l/min | l/h | NIA | l/min | l/h |
| 1905823/1 | 20 | 1.200 | | | 0 |
| 1915838/1 | 35 | 2.100 | | | 0 |
| 1903995/1 | 27 | 1.620 | | | 0 |
| Aparicio | 6 | 360 | | | 0 |

| Fugas Latentes | | | | |
|------------------------|-------------------|---------------|------------------------|-----------------|
| Tubería distribución | Estado red | l/km/h | Longitud | SubTotal |
| | Bueno | 20 | 3,329 | 67 l/h |
| | Medio | 40 | | 0 l/h |
| | Malo | 60 | | |
| Acometidas | Estado red | l/ab/h | Nº abonados | |
| | Bueno | 2 | 85 | 170 l/h |
| | Medio | 4 | | |
| | Malo | 6 | | |
| Presión media nocturna | 7 kg/cm2 FCP | 1,566 | Total | 237 l/h |
| | | | Total Corregido | 370 l/h |

| Corrección FCP | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
| Presión (kg/cm2) | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| FCP | 0,238 | 0,329 | 0,529 | 0,753 | 1 | 1,271 | 1,566 | 1,884 |

Caudal mínimo nocturno inevitable (consumo + fugas latentes)

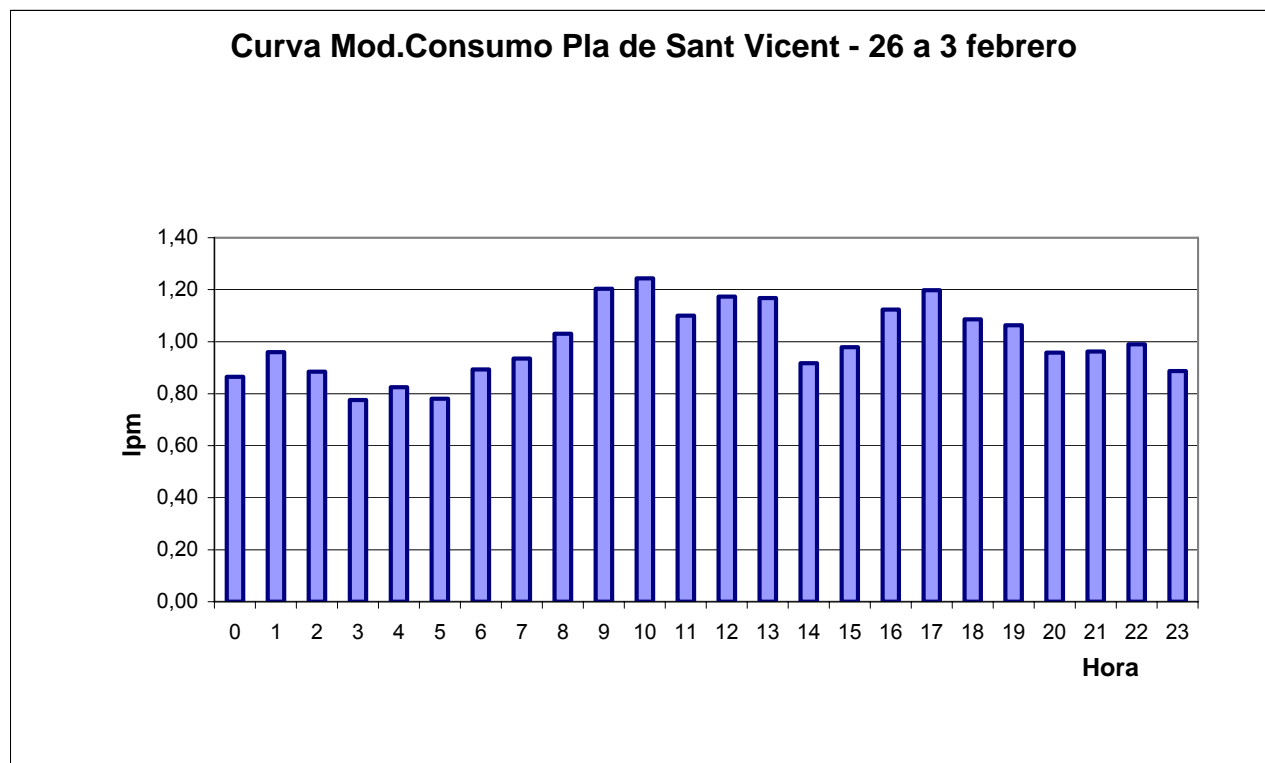
6059 l/h 101 lpm

Caudal mínimo nocturno real = 144,45 litros/minuto > Caudal mínimo nocturno teórico = 100 l/min

Indicios de posibilidad de fuga

3) Cálculo curva modulación horaria y determinación de índices

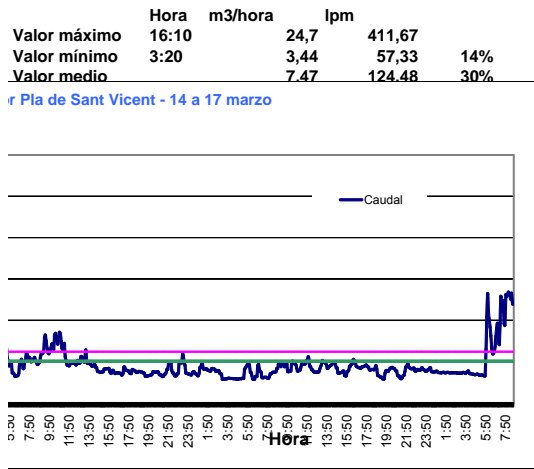
| Caudal Promedio (lpm) | | |
|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| Hora 2 | Total | C.M. |
| 0 | 211 | 0,87 |
| 1 | 234 | 0,96 |
| 2 | 215 | 0,88 |
| 3 | 189 | 0,78 |
| 4 | 201 | 0,83 |
| 5 | 190 | 0,78 |
| 6 | 217 | 0,89 |
| 7 | 228 | 0,93 |
| 8 | 251 | 1,03 |
| 9 | 293 | 1,20 |
| 10 | 303 | 1,24 |
| 11 | 268 | 1,10 |
| 12 | 286 | 1,17 |
| 13 | 284 | 1,17 |
| 14 | 223 | 0,92 |
| 15 | 238 | 0,98 |
| 16 | 273 | 1,12 |
| 17 | 292 | 1,20 |
| 18 | 264 | 1,09 |
| 19 | 259 | 1,06 |
| 20 | 233 | 0,96 |
| 21 | 234 | 0,96 |
| 22 | 241 | 0,99 |
| 23 | 216 | 0,89 |
| Total general | 243 | |
| CT (m3/día) | 351 | |
| CHM (m3/h) | 18 | |
| CMN (m3/h) | 10 | 1,9 Nivel Alto Fugas |
| CHP (m3/h) | 14,6 | |
| ICHM | 1,24 | Resultado Análisis |
| ICMN | 0,66 | Posible Fuga |
| CEP(l/s*km) | 1,22 | |
| cmn (m3/h) | 1,68 | |
| chp (m3/h) | 1,68 | |
| ICONOD | 0,62 | Posible Fuga |



Los valores obtenidos nos indican un **NIVEL ALTO DE FUGA**

4) Se procede a la correlación y se encuentra una fuga

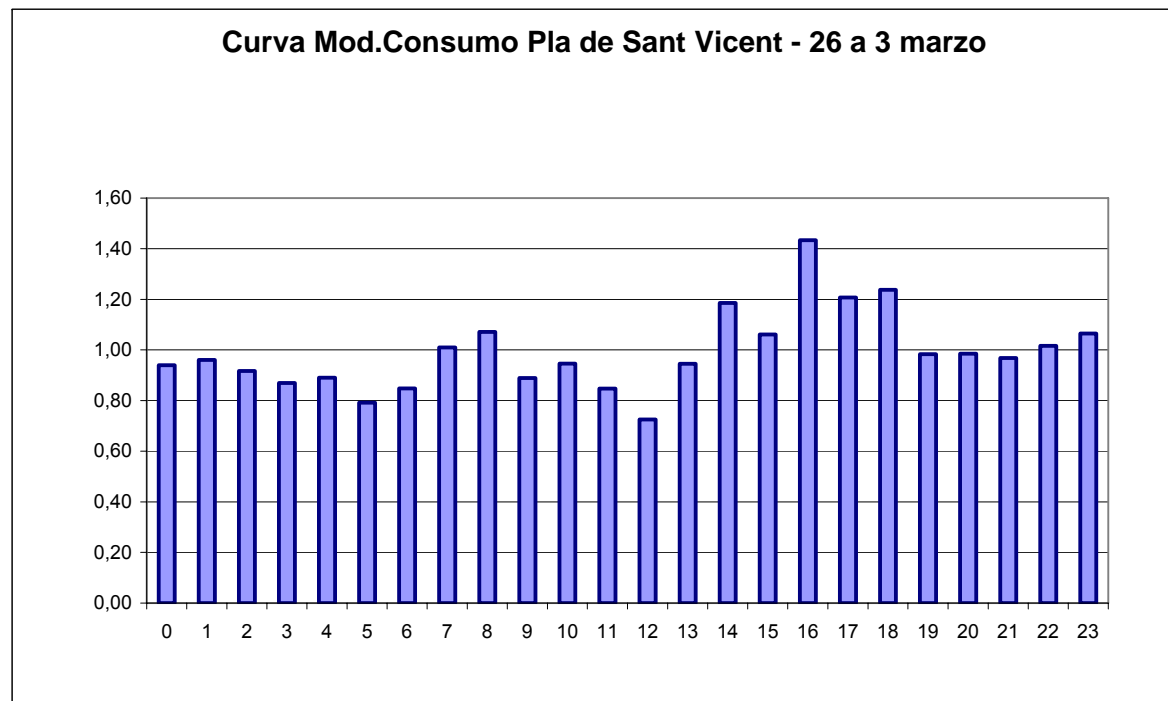
5) Una vez reparada se inicia el proceso, volviendo a repetir los puntos anteriores a partir de la nueva información adquirida.



Visualmente se puede observar un descenso del caudal mínimo nocturno por debajo del caudal mínimo nocturno teóricamente calculado (línea verde), lo que ya nos viene a indicar una mejora sustancial, si bien se procede al cálculo de los indicadores para ratificar esta primera impresión.

| Caudal Promedio (lpm) | |
|-----------------------|-------|
| Hora 2 | Total |
| 0 | 117 |
| 1 | 120 |
| 2 | 114 |
| 3 | 108 |
| 4 | 111 |
| 5 | 99 |
| 6 | 106 |
| 7 | 126 |
| 8 | 133 |
| 9 | 111 |
| 10 | 118 |
| 11 | 106 |
| 12 | 90 |
| 13 | 118 |
| 14 | 148 |
| 15 | 132 |
| 16 | 178 |
| 17 | 150 |
| 18 | 154 |
| 19 | 122 |
| 20 | 123 |
| 21 | 121 |
| 22 | 127 |
| 23 | 133 |
| Total general | 124 |
| CT (m3/día) | 178 |
| CHM (m3/h) | 11 |
| CMN (m3/h) | 4 |
| CHP (m3/h) | 7,4 |
| ICHM | 1,45 |
| ICMN | 0,50 |
| CEP(l/s*km) | 0,62 |
| cmn (m3/h) | 1,68 |
| chp (m3/h) | 1,68 |
| ICONOD | 0,36 |

| C.M. |
|------|
| 0,94 |
| 0,96 |
| 0,92 |
| 0,87 |
| 0,89 |
| 0,79 |
| 0,85 |
| 1,01 |
| 1,07 |
| 0,89 |
| 0,95 |
| 0,85 |
| 0,73 |
| 0,94 |
| 1,19 |
| 1,06 |
| 1,43 |
| 1,21 |
| 1,24 |
| 0,98 |
| 0,99 |
| 0,97 |
| 1,02 |
| 1,06 |

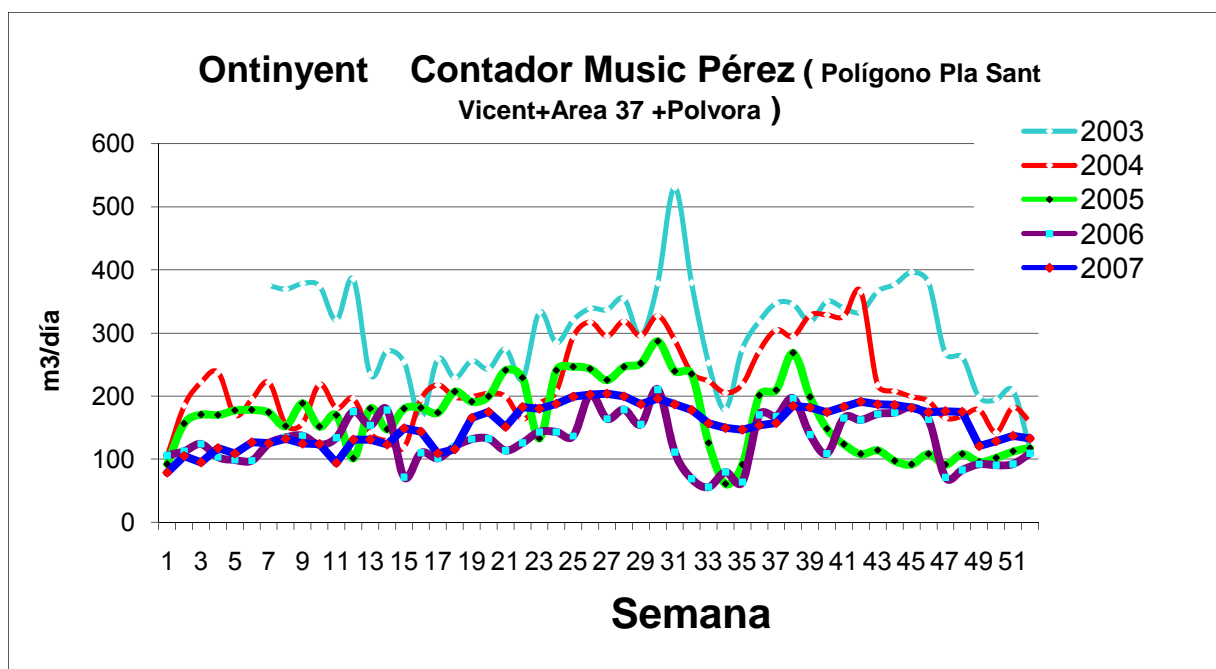


2,9 Nivel moderado de fugas

| |
|--------------------|
| Resultado Análisis |
| Possible Fuga |
| Ausencia de Fuga |

En función del valor de los indicadores nuevamente calculada, el resultado obtenido ha sido **AUSENCIA DE FUGA**

Una vez se ha realizado una primera auditoría del estado de la red y se ha podido calcular el rendimiento en este sector y el mismo es lo suficientemente bueno, se dispone de un patrón a partir del cual comparar demandas futuras, así en la gráfica siguiente se puede observar la evolución del caudal demandado en este sector.



En definitiva, este estudio nos ha llevado a reducir el caudal mínimo diario de un valor de 144,45 a 57,33 litros/minuto, es decir un ahorro de agua de:

$$87,12 \text{ litros/minuto} = 5,23 \text{ m}^3/\text{hora} = 125 \text{ m}^3/\text{día} = 45.790 \text{ m}^3/\text{año}$$

O lo que es lo mismo, una reducción de la producción de un 1,5 % del ejercicio.

5.3.4.- Regulación horaria / Regulación por demanda

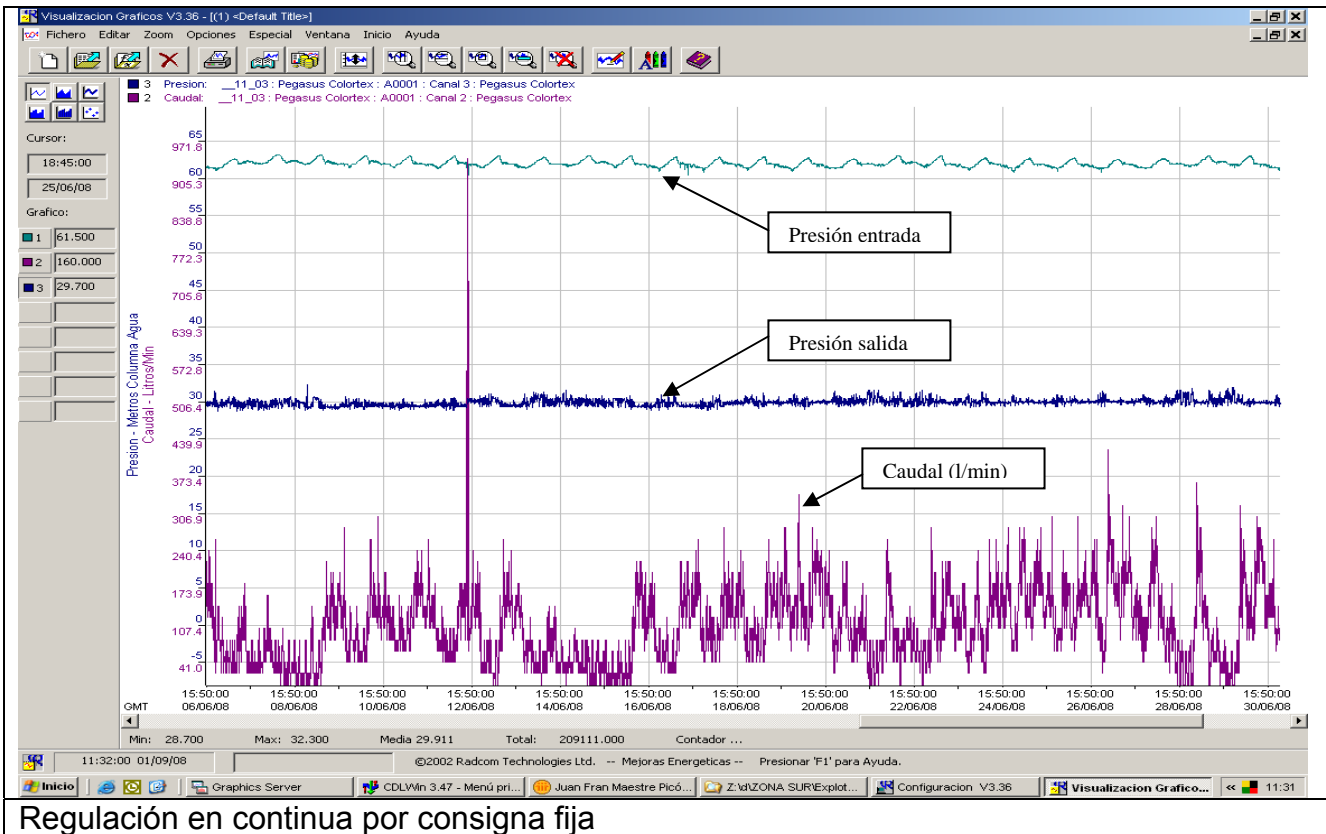
Una virtud adicional que podemos encontrar en la sectorización, al haber limitado el número de entradas del sector, es la posibilidad de proceder, en caso de necesidad, a realizar una regulación de presiones.

En caso de que fuese necesaria una regulación de la presión, sería el caso del ejemplo analizado anteriormente al tener una presión media de 7 kg/cm², podemos optar por varios tipos de regulación, cada una de las cuales nos aporta ventajas adicionales sobre la anterior:

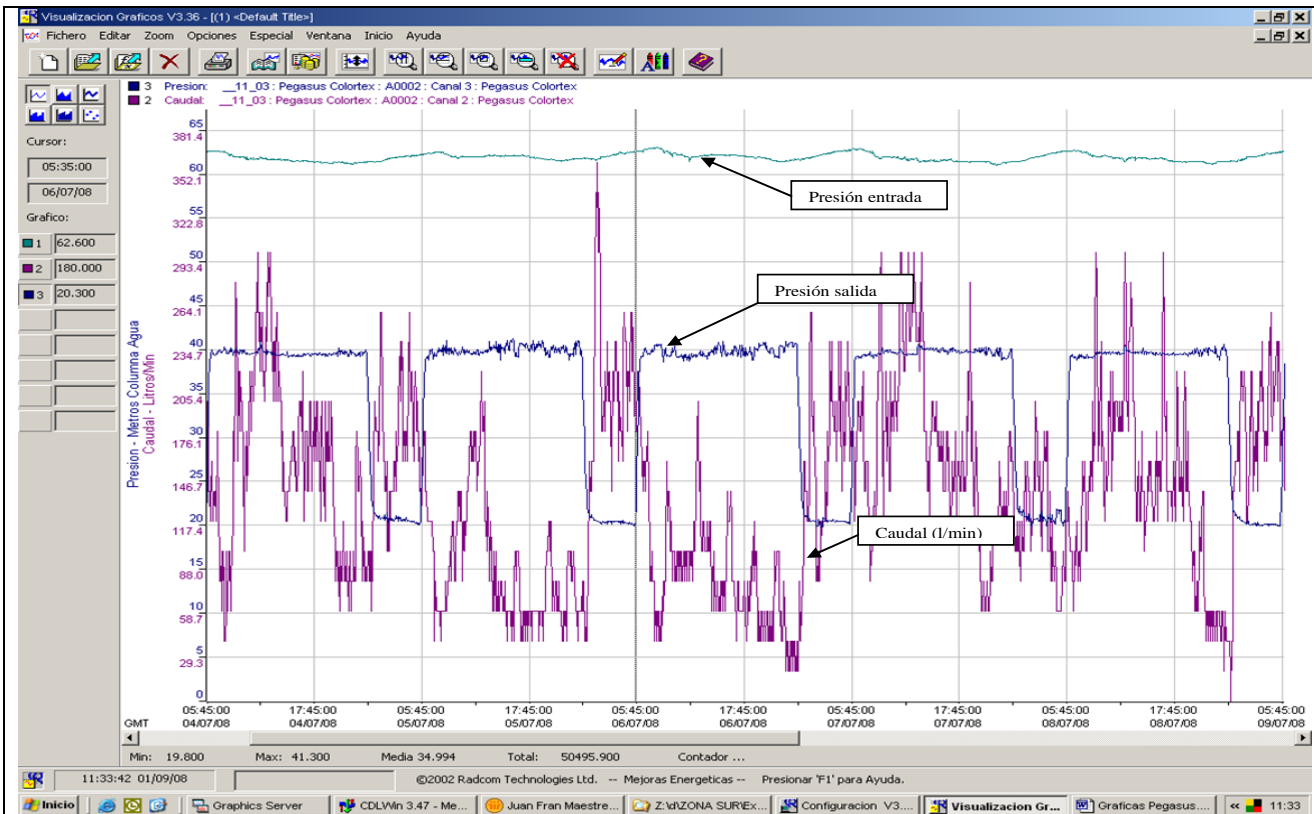
- Regulación de presión continua
- Regulación de presión con modulación horaria
- Regulación de presión en función de la demanda

La regulación tradicional, consiste en la instalación de una válvula reguladora, normalmente hidráulica, tal que de forma independiente a la demanda soportada, mantiene una presión constante aguas abajo de la reguladora.

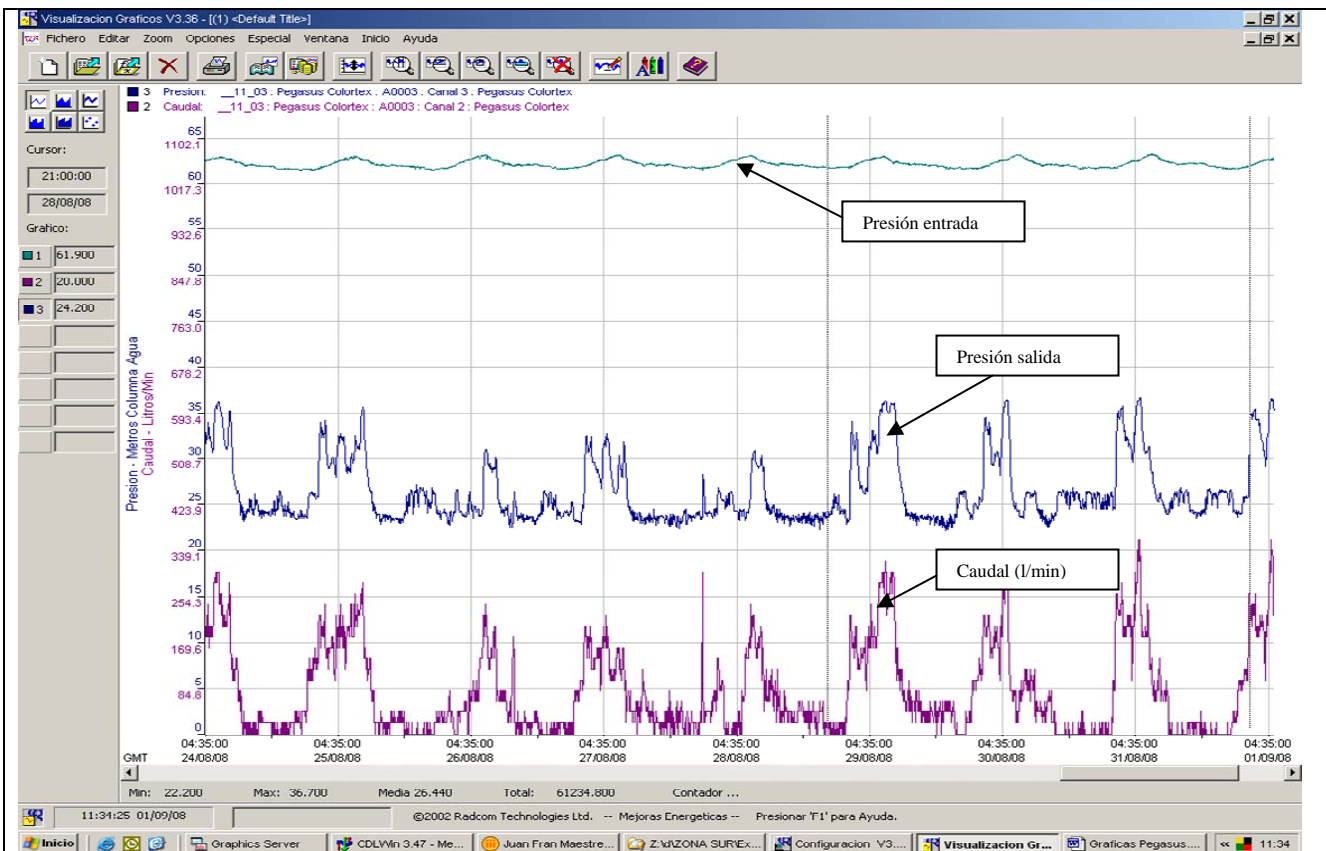
En las siguientes gráficas, se reflejan ejemplos de las regulaciones anteriormente descritas, de forma que podamos observar tanto la evolución de la presión servida como la demanda de agua.



Regulación en continua por consigna fija



Regulación horaria (Día / Noche)



Regulación en función de la demanda

Sin duda alguna, en todas las modalidades de regulación los resultados son positivos, al obtener cuanto menos una presión estable, bien de forma continuada, bien en tramos horarios, que empíricamente se pueden ajustar aproximadamente a la demanda, estableciendo una presión máxima de consigna, que en ninguna de las tres modalidades es superada. De esta forma se consigue o bien una presión estable o bien una presión que responde, de la mejor manera posible, a la demanda realiza, con lo que se consigue satisfacer la demanda con la mejor calidad de servicio así como preservar el recurso en aquellos momentos en que la demanda es más baja o nula.

En cuanto a la reducción de pérdidas viene del hecho que cuando no existe consumo la presión de servicio es mínima, situación contraria al estado natural sin regulación, en el que el valor de presión es máxima. De esta forma, en caso de existencia de averías, el caudal fugado es menor, al estar relacionado el caudal con la presión. Del mismo modo, el estrés al que se mantiene las instalaciones se reduce al minimizar los valores de presiones en aquello tramos horarios donde no es necesario al no existir demanda de agua.

5.4.- Tecnología para detección de averías

Si bien la detección de averías puede acometerse desde diversos protocolos de trabajo, a continuación describiremos las herramientas y protocolos de trabajo que han llevado a una mejora de la eficiencia en la detección de averías en función de la tecnología disponible en estos momentos.

La tecnología descrita a continuación, puede ser utilizada de forma independiente y autónoma, si bien la experiencia lo que nos ha indicado es que la mayor productividad se obtiene a través de su utilización integrada y estableciendo de protocolos de trabajo claros y precisos, siempre con el objetivo de optimizar los recursos, partiendo sin ninguna duda de una adecuada sectorización de la red de distribución.

5.4.1.- Prelocalización.

Sin duda alguna, el primer paso a acometer, en tanto en cuanto no se tengan indicios de la existencia y localización exacta de una avería, son los trabajos que recogemos bajo el epígrafe de prelocalización.

La herramienta utilizada son los prelocalizadores de fugas, que son equipos capaces de indicar la existencia o no de fuga alrededor de dichos equipos, no así la ubicación exacta de la avería.

Mediante estos equipos determinamos los tramos de conducción factibles de existencia de averías y desechamos aquellos en los que no existe probabilidad de fuga, con lo que se acota el tamaño del problema.

Evidentemente, si estos trabajos se desarrollan en función de la información que se obtiene con la sectorización, la eficiencia del trabajo y de los equipos es exponencial, ya que únicamente se dirigen los recursos a aquellas zonas del abastecimiento en la que existen los problemas de averías, no dedicando esfuerzos vanos en zonas donde no existen averías, por lo que la productividad se incrementa notablemente.

Es decir, mediante la sectorización, acotamos el problema inicialmente a uno o varios sectores de la población y posteriormente mediante la prelocalización, acotamos el problema a una serie de conducciones pertenecientes a cada uno de los sectores, desechando el resto del abastecimiento.

Los equipos de prelocalización están compuestos por dos elementos, el sensor medidor de datos que incorpora un módulo transmisor de radio, que es el elemento que se instala sobre elementos de la red de distribución y una unidad receptora de radio encargada de recibir y almacenar la información transmitida por los diversos sensores instalados.

Los equipos instalados sobre la red de distribución son los encargados de detectar de forma automática y autónoma la aparición de averías, transmitiendo la información registrada, nivel de ruido y dispersión del mismo, al equipo receptor.

La utilización de estos equipos es independiente de la tipología de red de agua instalada (tamaño, morfología, materiales constructivos, etc), siendo un sistema no invasivo, es decir, no requiere actuaciones a realizar sobre la red de distribución, sino que simplemente se coloca, a través de un imán, sobre un elemento metálico de la red de agua potable (válvula de seccionamiento, válvula de acometida o cualquier otro elemento).

Sin duda alguna, es una herramienta basada en la gestión de la demanda, cuya función es la detección en tiempo real, tan pronto se produce la avería, con tal de disponer de la información y proceder a su determinación exacta y reparación, con lo que la vida útil de las averías se reduce drásticamente. Esta situación puede conllevar, en abastecimientos no optimizados, a una reducción en la necesidad de oferta de agua, lo que sin duda permite reducir las necesidades de incrementar la oferta, como son nuevas captaciones, bombeos, depósitos de almacenamiento, renovación y ampliación de redes de distribución, y por tanto a una reducción de los costes de inversión junto con un mayor conocimiento de la gestión del abastecimiento.

Así mismo, permite la revisión de grandes tramos de red de distribución con una alta frecuencia, pudiendo llegarse a realizar prelocalizaciones de averías de forma diaria, punto a partir del cual se continuará trabajando sobre las zonas con prelocalizadores en fuga y se descartará aquellas en las que no existe probabilidad de averías.

Una gran ventaja de esta tecnología es que realiza la recogida de información de la red de distribución en las horas nocturnas (de forma predefinida), que es el horario propicio para la determinación de averías en la red de distribución al ser mínimo el consumo en dicho horario y además mínimo el ruido externo.

Protocolo de trabajo mediante prelocalizadores

La utilización de equipos de prelocalización es relativamente fácil si bien siempre es necesaria una adecuada profesionalidad del personal que desempeña este cometido.

Se pueden utilizar dos metodologías de trabajo, en tanto en cuanto los prelocalizadores se encuentren fijos en la red distribución o bien sean móviles, es decir, periódicamente sean retirados de un ámbito de actuación y colocados en otro. De una u otra forma, el protocolo a realizar será el mismo, salvo la colocación y retirada periódica en el segundo caso, necesitando por tanto un mayor volumen de mano de obra, pero a su favor tiene una reducción en la inversión necesaria.

En función de que exista o no sectorización en el abastecimiento, se puede valorar la idoneidad de la formulación de trabajo e inversión a acometer.

De una u otra manera, a partir de la disponibilidad de estos equipos, el protocolo de trabajo a desarrollar queda descrito a continuación:

- 1) Instalación de los prelocalizadores
 - a. Una vez en el caso de prelocalizadores fijos
 - b. De forma periódica con prelocalizadores móviles



2) Generación de base de datos con la ubicación exacta

| Serial | LocNum | Address1 | Address2_or_alternative | Deployed | Received | Most_recent | Most_recent |
|---------|--------------|--------------|-------------------------|----------|----------|-------------|-------------|
| 6062844 | AA 8363 8363 | DELS DIABLES | L ORDIM | | | | |
| 6062843 | AA 8363 8363 | DELS DIABLES | L ORDIM | | | | |
| 6062842 | AA 8363 8363 | DELS TELERS | L ORDIM-C.I.- | | | | |
| 6062841 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | L ORDIM | | | | |
| 6062845 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | -ROBERTO TEROL- | | | | |
| 6062846 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | DE LES FLASSADES | | | | |
| 6062847 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | -SERCO- | | | | |
| 6062848 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | -TENDA MANTEROL- | | | | |
| 6062849 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | -ESTAMPADOS SANCHIS- | | | | |
| 6062850 | AA 8363 8363 | AV TEXTIL | -CAMP FUTBOL- | | | | |

3) Registro de niveles de ruido y dispersión en la conducción durante varias jornadas

- 4) Patrulla vía radio
 - a. Carga de la base de datos en el patrullador
 - b. Patrulla



5) Descarga de la base de datos con la información recogida

| Serial | LocNum | Address1 | Address2_or_alternative | Deployed | Received | Most_recent | Most_recent | Most_recent_level | Most_recent_spread | |
|---------|--------------|--------------|-------------------------|-----------|----------|-------------|-------------|-------------------|--------------------|--|
| 6062844 | SV 8363 8363 | DELS DIABLES | L ORDIM | 01-ene-70 | 9:57:20 | 06/10/2006 | F | 47 | 17 | |
| 6062843 | SV 8363 8363 | DELS DIABLES | L ORDIM | 01-ene-70 | 9:56:57 | 06/10/2006 | F | 34 | 9 | |
| 6062842 | SV 8363 8363 | DELS TELERS | L ORDIM-C.I.- | 01-ene-70 | 9:57:21 | 06/10/2006 | N | 22 | 7 | |
| 6062841 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | L ORDIM | 01-ene-70 | 9:58:31 | 06/10/2006 | F | 35 | 4 | |
| 6062845 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | -ROBERTO TEROL- | 01-ene-70 | 9:58:41 | 06/10/2006 | F | 37 | 8 | |
| 6062846 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | DE LES FLASSADES | 01-ene-70 | | | | 0 | 0 | |
| 6062847 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | -SERCO- | 01-ene-70 | 10:02:47 | 06/10/2006 | F | 35 | 14 | |
| 6062848 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | -TENDA MANTEROL- | 01-ene-70 | | | | 0 | 0 | |
| 6062849 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | -ESTAMPADOS SANCHIS- | 01-ene-70 | 9:59:11 | 06/10/2006 | N | 26 | 19 | |
| 6062850 | SV 8363 8363 | AV TEXTIL | -CAMP FUTBOL- | 01-ene-70 | 9:40:12 | 06/10/2006 | N | 20 | 16 | |

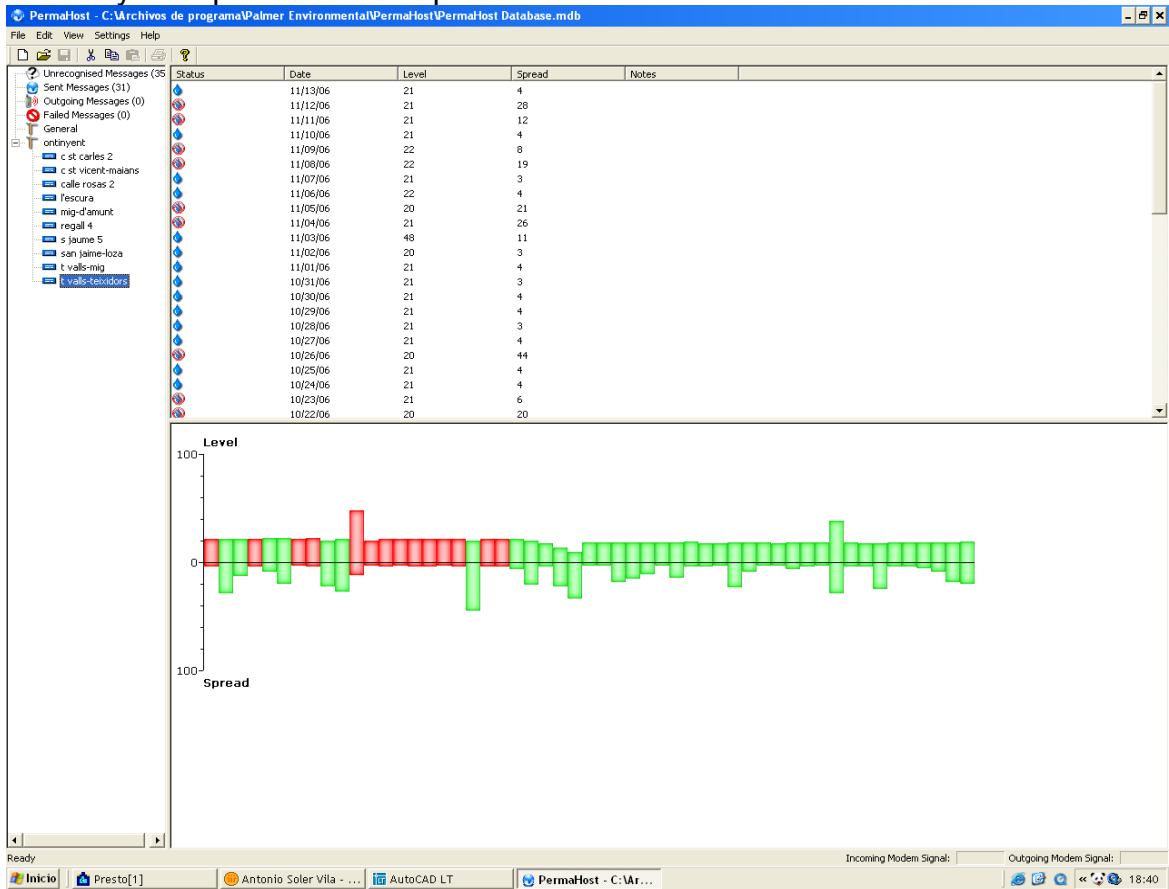
La información recogida de cada sensor (registro) es el nivel de ruido y su dispersión, traduciendo el sistema de forma automática dichos niveles a un valor de Fuga (F) o no Fuga (N), de forma que facilita la labor de interpretación de datos.

6) Determinación de los tramos de red con posible fuga

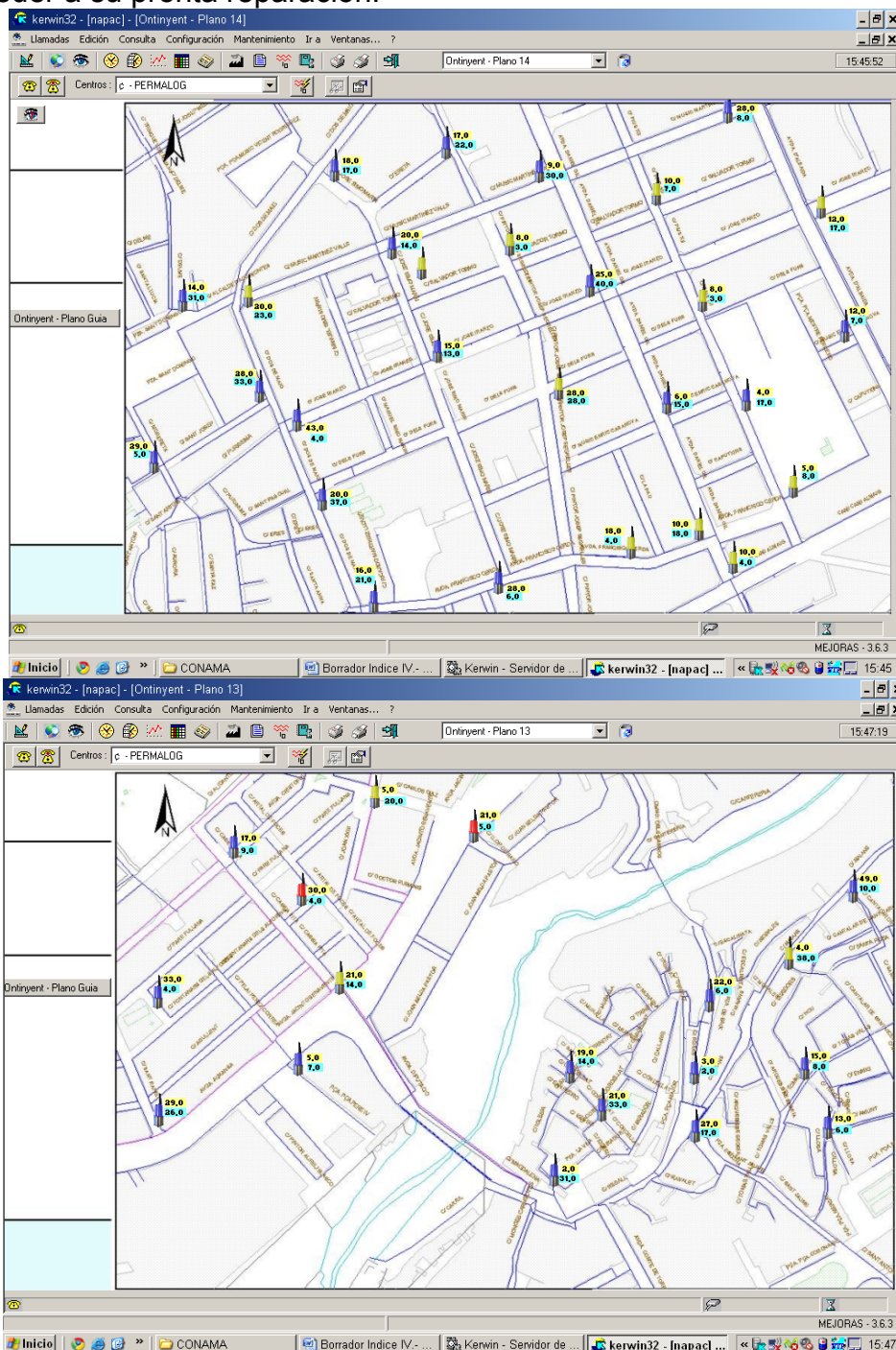
Así mismo, siempre y cuando un sensor se encuentre instalado en el mismo punto, se puede obtener un registro histórico de la evolución de valores de ruido y dispersión en dicho punto, y por tanto, del estado de fuga o no fuga.

En el gráfico siguiente, cada barra represente en el eje x cada una de las medidas realizadas (en la izquierda los registros más recientes) y en el eje y positivo el valor del ruido medido y en el negativo el valor de dispersión.

En función de los valores registrados (ruido y dispersión) se indica en color rojo la presencia de fuga y en verde de no fuga, al representar de esta forma los diversos registros obtenidos, podemos observar la evolución de la aparición de averías y su reparación en un punto determinado de la red de distribución.



Si por su parte representamos el resultado de cada uno de los sensores instalados en un abastecimiento de un determinado momento de tiempo, obtenemos una representación de las zonas en las que existe una elevada de posibilidad de existencia de averías en la red de distribución, zonas sobre las que deberemos continuar nuestro trabajo hasta la ubicación exacta de la avería y proceder a su pronta reparación.



En este segundo ejemplo podemos observar dos prelocalizadores en estado de fuga, representado en color rojo, lo que nos indica la zona de la población en la que hemos de incidir en la búsqueda de averías.

5.4.2.- Correlación multipunto.

La utilización de la correlación multipunto puede ser realizada bien a partir de indicaciones de un consumo elevado en un sector (normalmente a través del análisis de los caudales mínimos) y/o tras la realización de trabajos de prelocalización que nos ha indicado una zona en la que posiblemente pueda existir una avería.

También pueden ser utilizados de forma directa, si no se dispone de información previa, aunque sin duda la eficiencia en la detección de averías se reduce, al poder estar revisando tramos de red de distribución sin avería.

De una u otra forma, el principio de funcionamiento de esta tecnología es similar a la descrita anteriormente, en cuanto a su protocolo de trabajo. Inicialmente se debe determinar la zona de actuación, sobre la cual se procederá a la instalación de sensores sobre elementos metálicos de la red. Este grupo de sensores, deben ser previamente programados, indicándoles el horario en el que deben registrar la información, la duración de los registros y el número de repeticiones a realizar.

Por ejemplo, se podría establecer que los sensores tomen información a las 0:00, 2:00, 4:00 y 6:00 con una duración de 10 segundos. En estos horarios, cada sensor registrará la información durante el tiempo preestablecido.

Además del trabajo nocturno, el más recomendable y a mi parecer indispensable, estos equipos pueden ser utilizados de forma diurna y de forma reiterada acortando el intervalo entre mediciones, lo que permite la revisión de grandes tramos de red de distribución en un reducido espacio de tiempo.

Normalmente se trabaja con 8 sensores sobre la red de distribución, si bien el número de sensores puede ser mayor o menor, aunque siempre mayor a dos.

Una vez ha finalizado el almacenamiento de la información, en nuestro ejemplo sería a partir de las 6:00:11, los equipos deben ser instalados para volcar la información registrada por cada uno de ellos a un pc, proceso algo más laborioso al descrito para los prelocalizadores.

Una vez se ha transferido la información registrada al pc, es cuando comienza la fase de análisis y correlación, de forma diferida, ya que la información se ha almacenado con anterioridad.

Con el software disponible, además de la información registrada en campo, hay que introducir una información básica de la red de distribución sobre la que han estado instalados, como son distancias entre sensores, material constructivo de la conducción y diámetro de la misma.

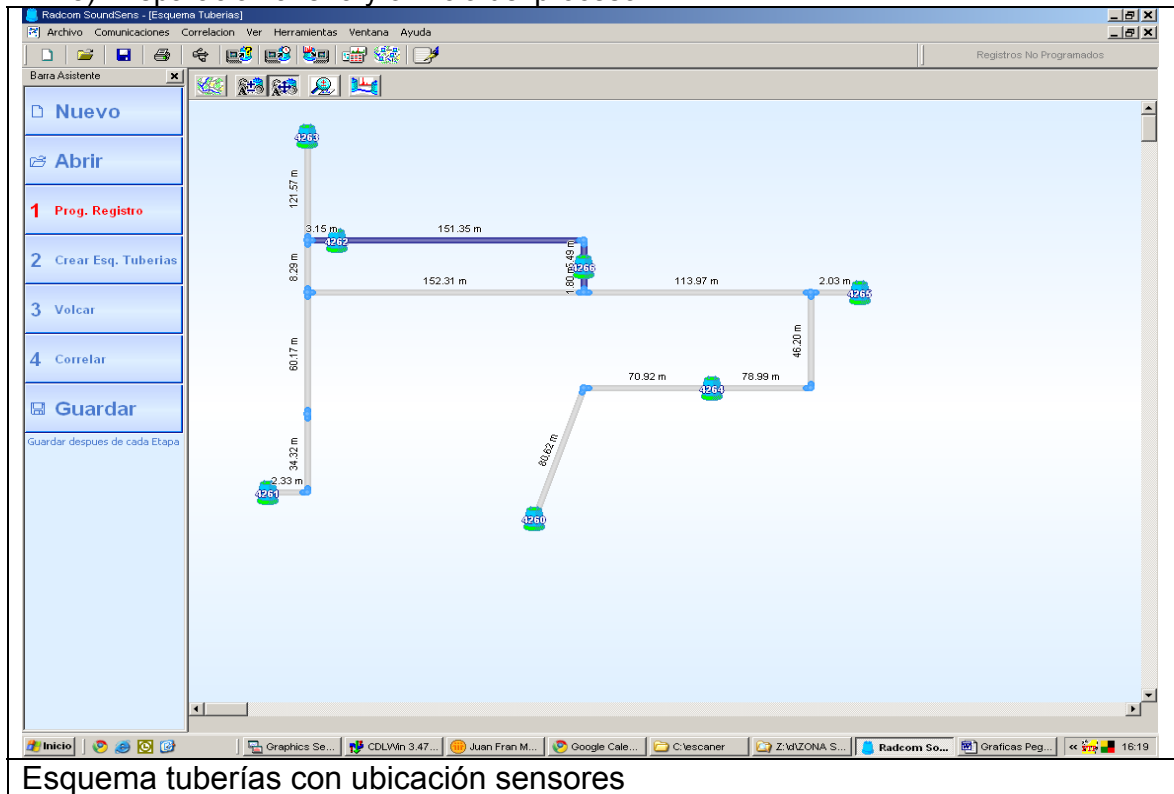
A partir de esta información, el software realiza todas las posibles correlaciones entre sensores y automáticamente compara y clasifica los resultados mostrando las áreas de interés sobre el diagrama esquemático previamente realizado.

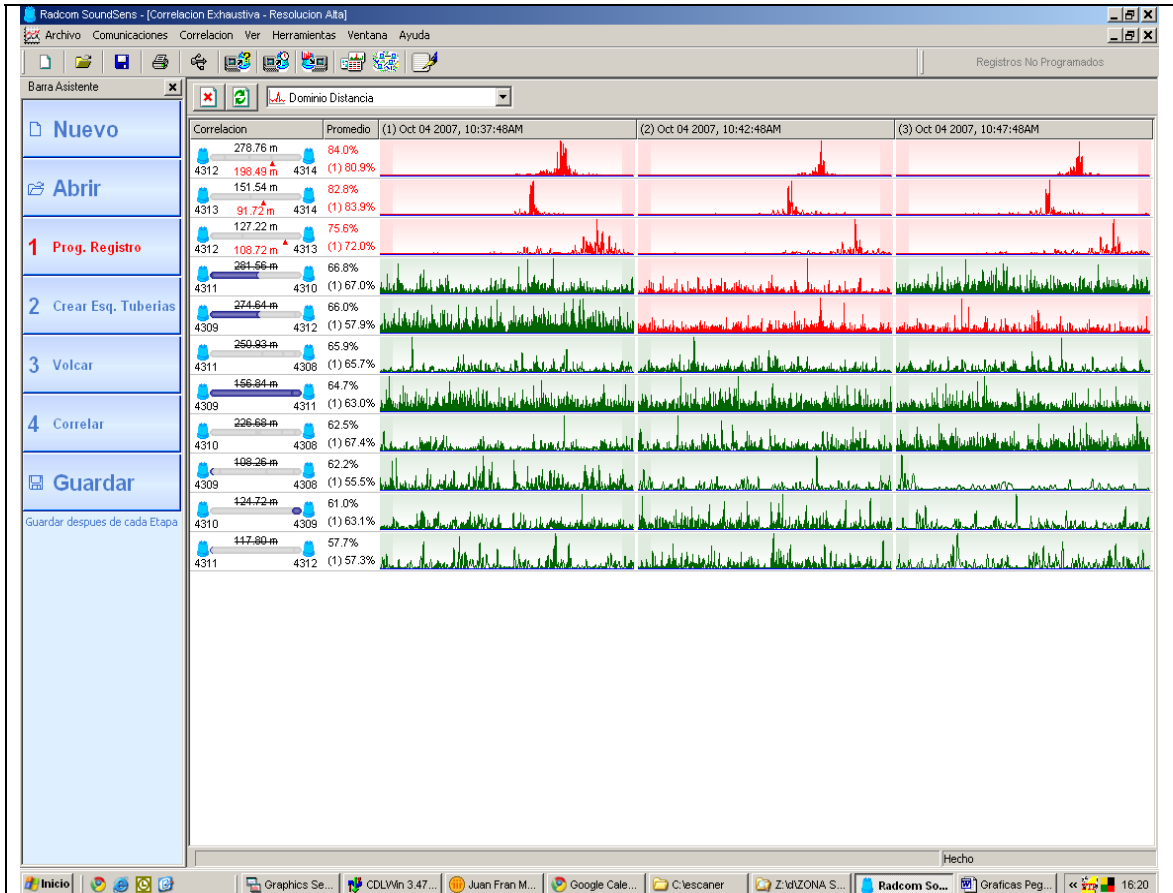
Estos equipos tienen una gran precisión debido a que no sólo realiza correlaciones entre cada dos equipos con conexión directa, sino que además realizan tantas repeticiones como registros horarios se han tomado. Así en el ejemplo anterior, tendremos las correlaciones entre cada dos sensores a las 0:00, 2:00, 4:00 y 6:00, siendo esta la forma ideal de poder diferenciar entre lo que son consumos de los que son averías, ya que esta se visualiza como una punta de ruido que se repite en todos los registros.

A diferencia de los equipos de prelocalización, en los que el resultado obtenido es la existencia o no de fuga en una zona determinada, mediante esta tecnología se precisa el punto exacto en el que se encuentra la avería, indicándonos la distancia a la que se encuentra de cada uno de los sensores.

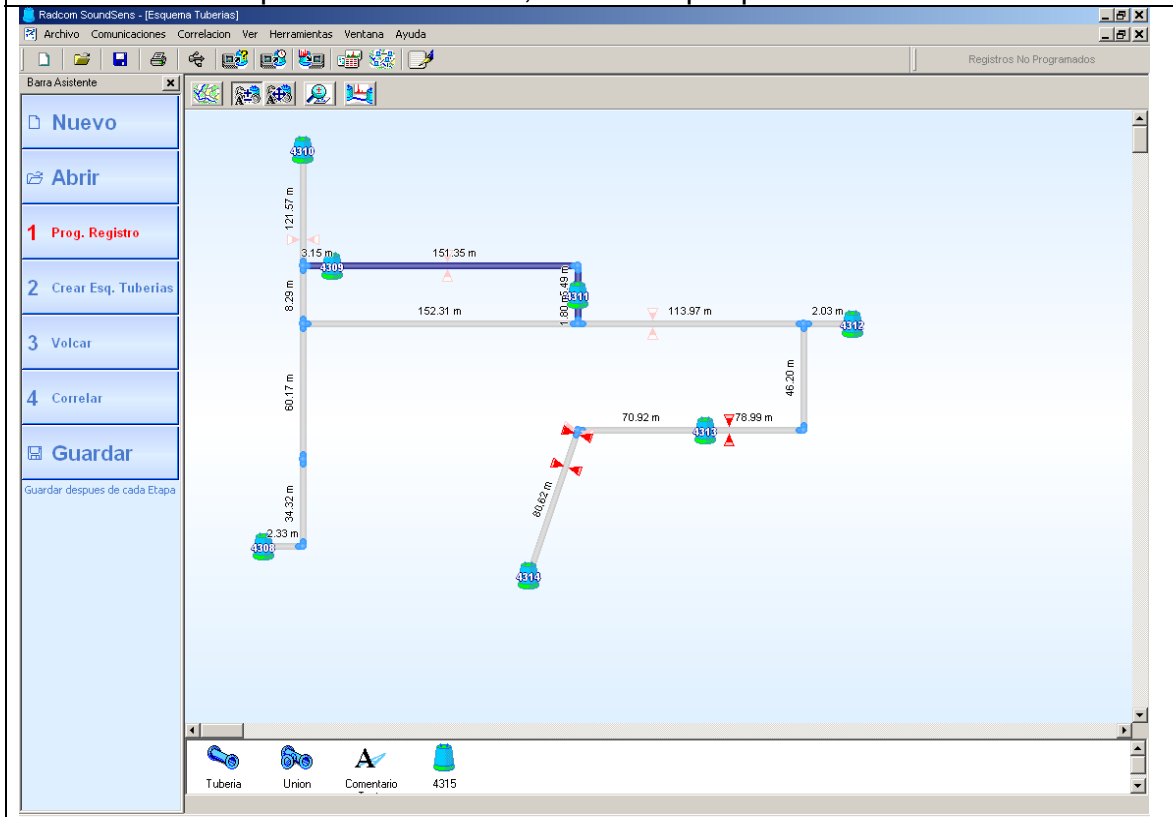
Protocolo de trabajo

- 1) Programación de los sensores
 - a. Horario inicio y duración de la adquisición de datos
 - b. Número e intervalo de repeticiones
 - c. Ejemplo: Adquirir información a las 0:00 durante 5 minutos, repetir 4 veces cada dos horas.
- 2) Instalación de los sensores (idem prelocalizadores)
- 3) Adquisición de datos en función de la programación
- 4) Retirada de los sensores
- 5) Volcado a pc
- 6) Crear esquema de tuberías con ubicación de los sensores
 - a. Distancia entre sensores
 - b. Material constructivo y diámetro de la conducción
- 7) Correlación múltiple y análisis de información
- 8) Reparación avería y/o inicio del proceso

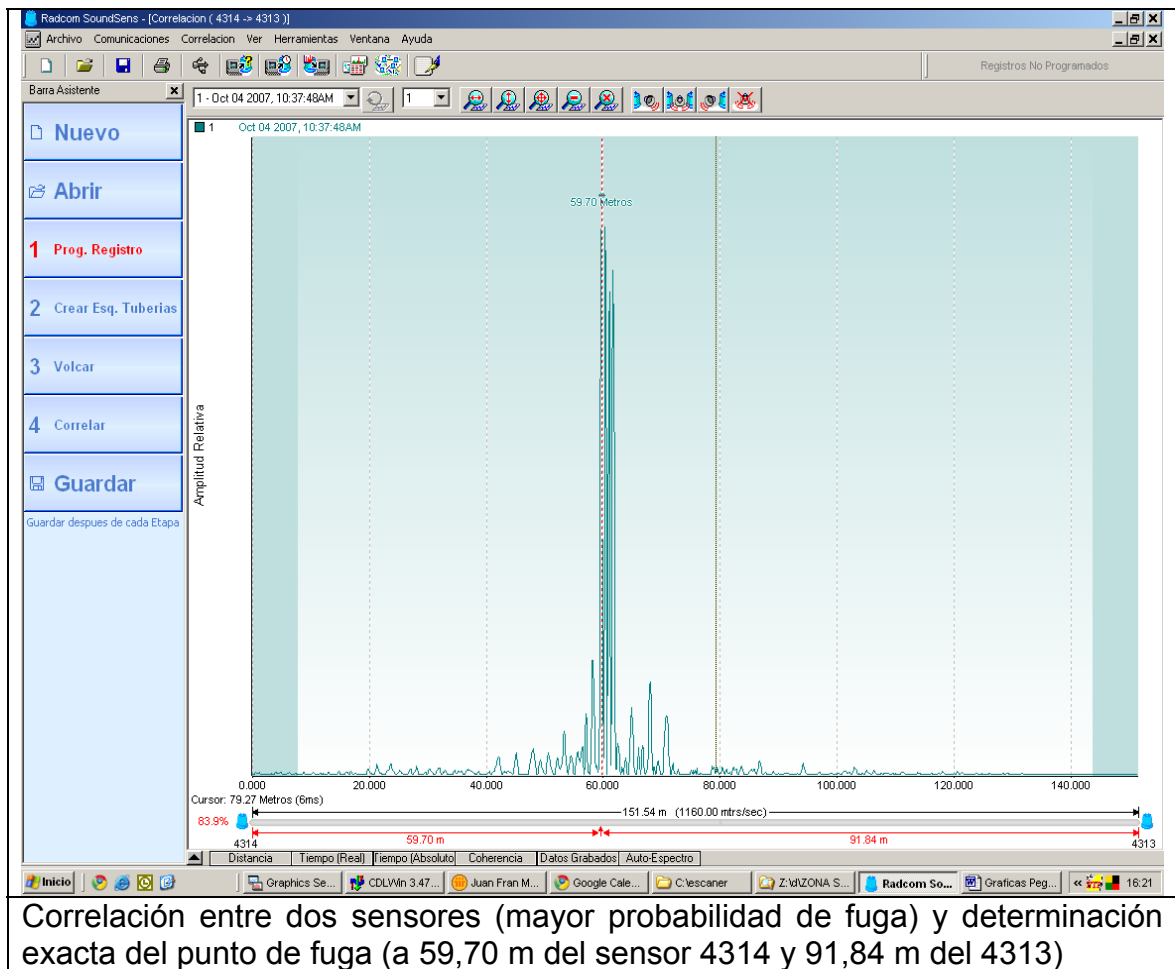




Correlación múltiple entre sensores, ordenado por probabilidad de avería



Ubicación de las diferentes marcas de fugas obtenidas



Correlación entre dos sensores (mayor probabilidad de fuga) y determinación exacta del punto de fuga (a 59,70 m del sensor 4314 y 91,84 m del 4313)

5.4.3.- Correlación acústica.

A partir de cualquier de los estadios anteriores, desde la información facilitada por la sectorización, del resultado obtenido con la prelocalización (sensores en fuga o en no fuga) o bien con la información de detalle conseguida con la correlación multipunto, podemos pasar como punto final en la detección de averías a utilizar la correlación acústica, que hoy en día podemos ya considerarla como una herramienta tradicional de trabajo, no por ello obsoleta.

Una correlación es un proceso matemático donde dos funciones se comparan para obtener el grado de similitud entre ambas. En la aplicación que nos ocupa se determinará la posición de una fuga comparando el ruido de fuga que llega a los sensores situados a ambos lados de la fuga. El correlador analiza la señal recibida de los sensores, la cual debe asegurar repetición y precisión.

Analizando el sonido captado por cada sensor, la unidad central calcula el tiempo de retardo, que es la diferencia existente entre el tiempo que tarda en llegar el sonido a uno y otro sensor. Conociendo la distancia entre los dos sensores y la velocidad de propagación a través del material del que está compuesta la tubería, se calcula la posición de la fuga.

La fórmula utilizada a tal efecto es:

$$\text{POSICIÓN DE LA FUGA} = (D \pm V * T_d) / 2$$

donde:

D es la separación entre sensores.

V es la velocidad a la que se propaga el sonido por la tubería.

T_d es el tiempo de retardo calculado (relativo al centro de la tubería).

Para realizar una correlación correcta y obtener la posición de la fuga lo más exacta posible es importante introducir correctamente los datos de longitud y velocidad.

Asumiendo que el usuario sospecha que hay una fuga en un tramo de tubería determinado, una correlación de prueba arrojará datos más concretos sobre la existencia o no de la fuga.

Los parámetros introducidos para realizar la correlación de prueba deberán ser lo más aproximados a la realidad, tanto en lo que se refiere a la longitud de tubería, como al material de ésta, etc.

El lugar donde se van a colocar los sensores deberá estar limpio para así asegurar un buen contacto con la tubería. El cuerpo del sensor no deberá estar en contacto con ningún cuerpo extraño, aparte de la tubería, para así evitar recoger ruidos no deseados.

Cuando los sensores se conectan a los transmisores, automáticamente se ponen en funcionamiento, y empiezan a transmitir.

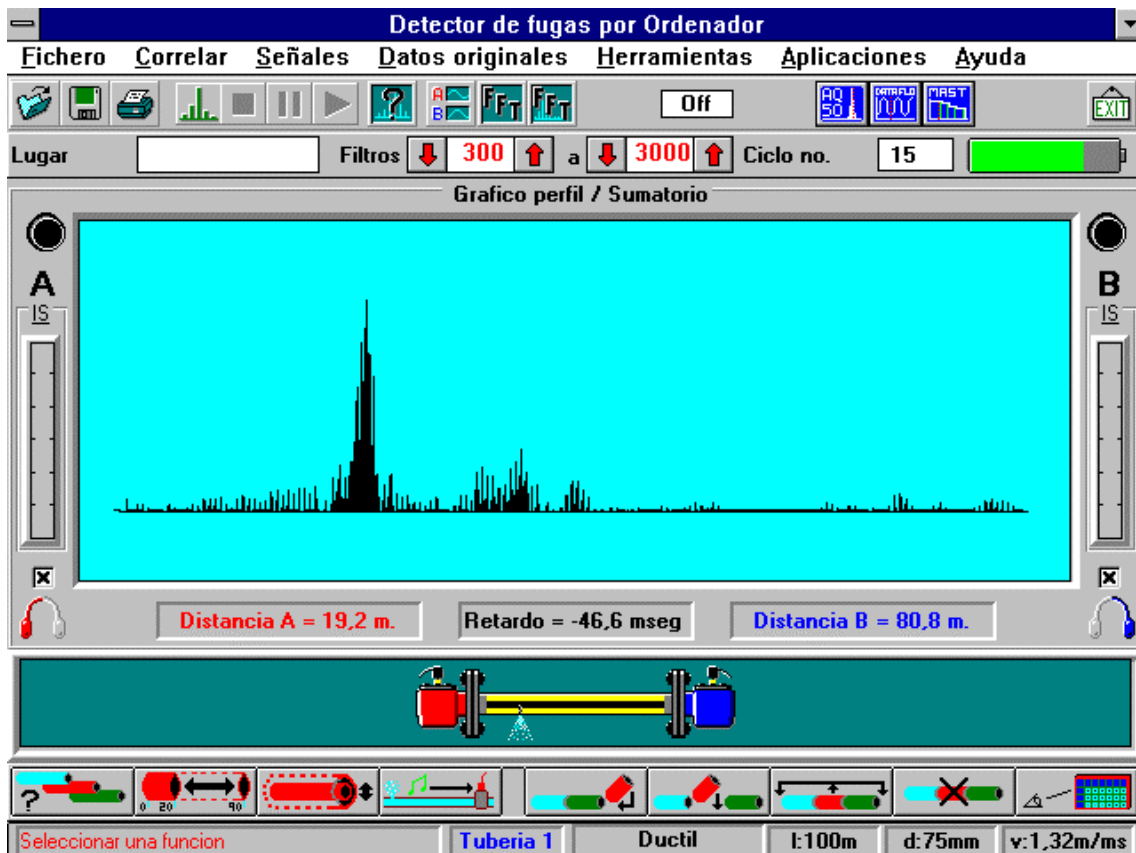
La información recogida por los sensores es remitida en tiempo real y de forma continua al pc encargado de recogerla, siendo viable la utilización de una PDA, con tal mejorar la manejabilidad en campo. Aquí radica la gran diferencia respecto a los sistemas analizados anteriormente, en los que la información era registrada y almacenada en una franja horaria y analizado en otra, es decir, se trabaja sobre un histórico de información, no sobre lo que está ocurriendo en tiempo real, lo que implica determinadas consecuencias tanto positivas como negativas en ambos casos, pero eso sí, complementarias.



Otra diferencia respecto a la correlación multipunto es que en este equipo únicamente se dispone de dos sensores frente a múltiples como era el caso anterior.

La información y forma de trabajo es similar a la correlación múltiple con la salvedad de una mayor sencillez al tener que trabajar con dos sensores, teniendo como inconveniente que la zona que se analiza en un mismo instante es mucho más reducida, por lo que estos equipos se vienen utilizando para afinar la detección de averías cuando ya somos conocedores de la existencia de la misma.

Así, una vez recibida la información en el sistema de procesamiento, obtenemos una gráfica similar a la recogida a continuación:



Podemos observar una gran similitud entre la presente gráfica y las representadas anteriormente, ya que en definitiva el objetivo de ambos equipos es la detección de la avería y la tecnología aplicada básicamente la misma, diferenciándose la concepción y metodología de trabajo.

Analizando la gráfica anterior se concluye que la avería se encuentra a 19,2 metros del sensor A (rojo) y a 80,8 metros del sensor B (azul).

Sin duda alguna, si el proceso se lleva a cabo utilizando en cascada los equipos desarrollados hasta ahora, aumente la eficiencia y la eficacia en la detección de averías, ya que los equipos se utilizarán de menor a mayor grado de complejidad y a su vez se irá reduciendo el área de trabajo.

5.4.4.- Geófono

La última herramienta que se utiliza para la detección de averías es la que históricamente ha estado disponible, tanto por ser la más económica como haber sido la primera en ser desarrollado.



El principio básico es de lo más sencillo, simplemente se trata de ampliar el ruido que se detecta a través de un sensor, el cual se coloca sobre la tubería (normalmente en acera). Sin duda alguna siempre ha sido necesario una gran experiencia en la manipulación de estos equipos para ser capaz de distinguir entre cualquier tipo de ruido y el ruido de fuga.

Con la evolución de la electrónica se han ido mejorando estos equipos, introduciendo pantallas LCD que permiten observar gráficamente el nivel de ruido e incluso poder filtrar la señal recibida con tal de eliminar ruidos exógenos a la señal facilitada por la conducción que se está analizando.



Si bien históricamente, hasta hace pocos años e incluso en algunos casos también en la actualidad, ha sido el sistema más utilizado por no decir el único, la tendencia actual en abastecimientos tecnológicamente desarrollados, es utilizarlo de forma accesoria y únicamente como apoyo a los sistemas anteriores, nunca se utiliza de forma directa, ya que comporta un gran volumen de trabajo para

resultados muy reducidos si no somos conocedores de antemano de la existencia de una avería y lo que intentamos con este equipo es ubicarla o salir de dudas, antes de proceder a la apertura para su reparación.

5.4.5.- Metodología de trabajo: de la sectorización a la reparación

Tradicionalmente la detección de averías ha venido realizándose en lo que se ha denominado habitualmente 'campañas de detección de fugas', tratándose la detección de las averías como algo extraordinario, que se realiza de una forma más o menos periódica pero en ningún caso continua.

En función de los recursos de la población y/o de la escasez de agua, estas campañas podían desde ser bastante periódicas a tan ni siquiera realizarse.

Además, los equipos utilizados en estas campañas han sido los equipos más específicos de detección de averías, es decir, los correladores acústicos y los geófonos, que si bien permiten la detección exacta de las averías, se debe analizar la totalidad de la red de distribución, no pudiendo distinguir a priori entre las zonas en las que se puede descartar la existencia de averías de aquellas en la que se sospecha existan, con lo que la eficiencia de esta metodología viene siendo bastante reducida.

Básicamente la metodología seguida hasta tiempos recientes, ha sido analizar mediante los sensores de ruido (correladores y geófonos) cada tramo de la red, lo que conlleva un volumen elevado de trabajo, con un resultado positivo pero poco eficiente.

Actualmente, debido a que se dispone de más equipos disponibles para acometer estos trabajos, se ha dado un vuelco a la metodología tradicional, incrementando tanto la eficacia como la eficiencia, reduciéndose el volumen de trabajo para la detección de averías y siendo viable la detección de una avería en un menor de tiempo desde su aparición.

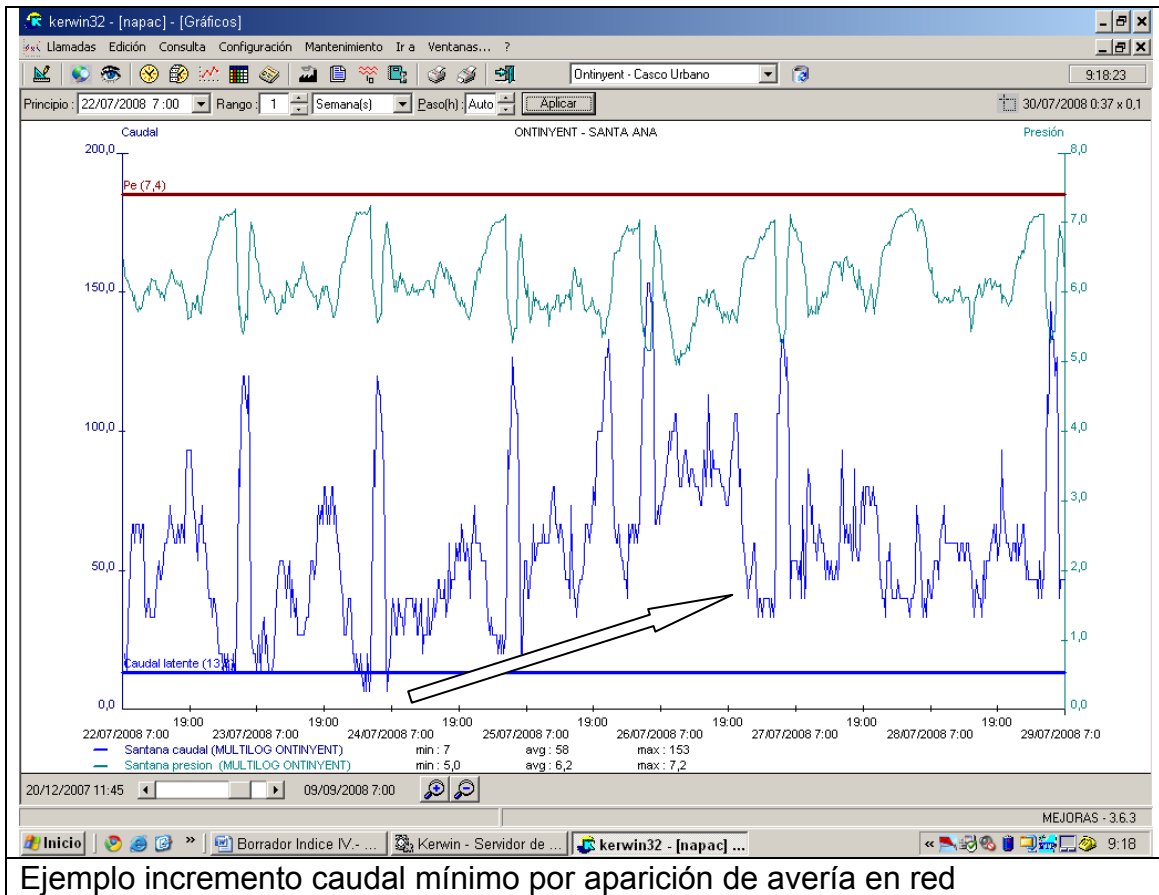
El objetivo final de la metodología para la detección de averías es minimizar el tiempo entre que se produce una avería y la misma se repara.

Sin lugar a dudas, se debe proceder desde niveles tecnológicos más generales hasta los más específicos posibles, de forma que se vaya acotando la zona en la que es susceptible la existencia de una avería y no actuar con medios tecnológicos específicos hasta que se conozca un tramo reducido donde la probabilidad de existencia de la averías sea alta y lo que pretendamos sea su localización exacta.

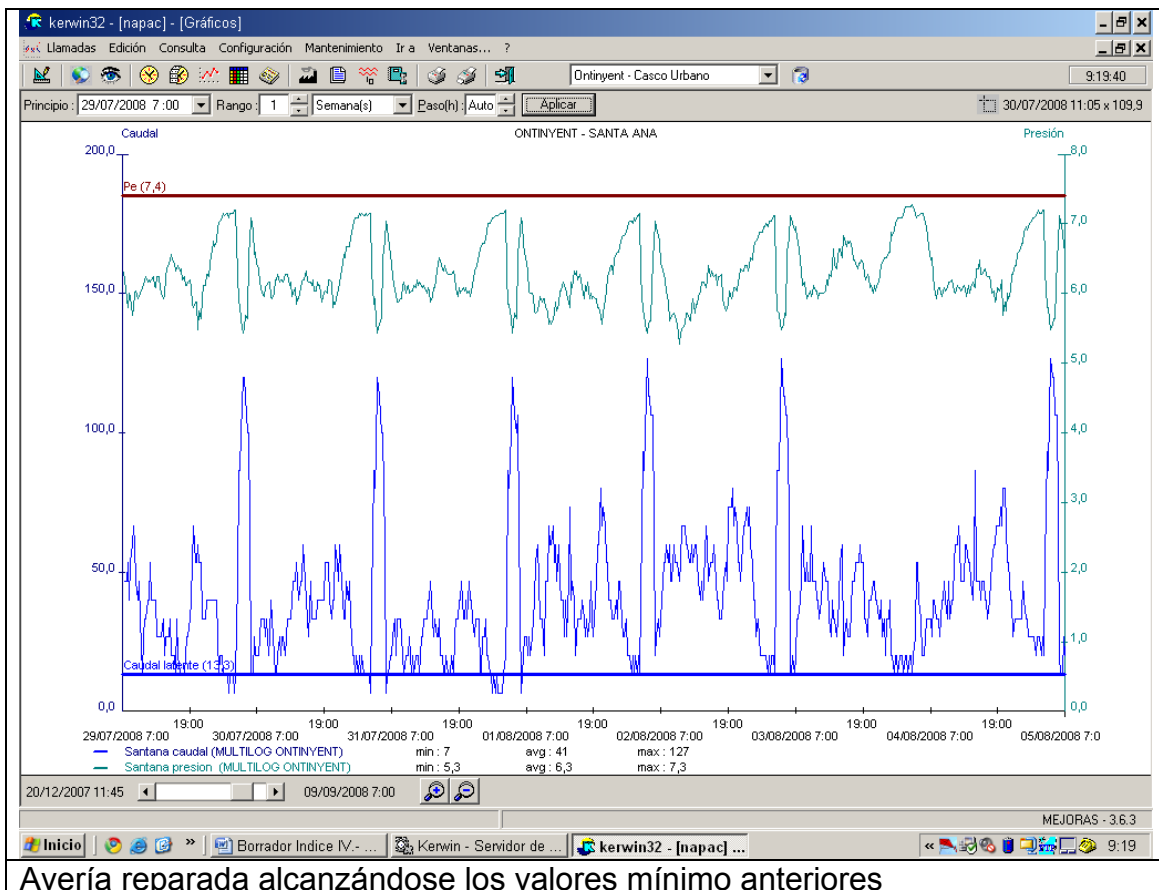
De esta forma el punto de arranque en la detección de averías se encuentra en el nivel cero de tecnología, siendo esta la sectorización. Mediante la sectorización somos conocedores del caudal inyectado en el sector y del valor de presión.

A través de la sectorización es viable la detección de averías mediante varias tipologías de anomalías en las curvas y valores de caudal y/o presión:

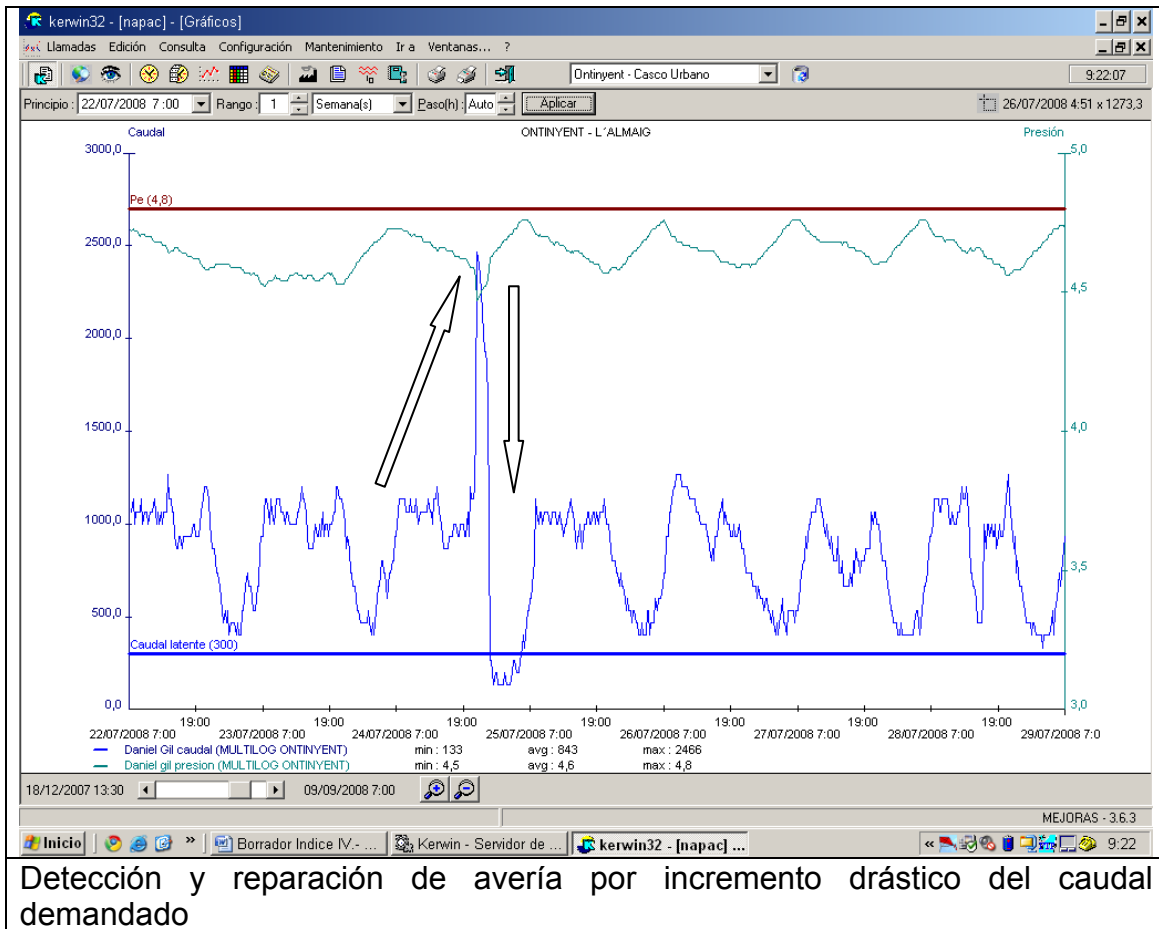
1. Incremento del volumen inyectado
2. Incremento del caudal mínimo diario
3. Descenso en el valor medio y/o máximo de presión (vinculado a los puntos anteriores)



Ejemplo incremento caudal mínimo por aparición de avería en red



Avería reparada alcanzándose los valores mínimo anteriores



Una vez se conoce el sector/es en fuga a través del análisis de las gráficas de consumo, como las mostradas anteriormente, o ante cualquier evento de alarma que se haya podido generar en función de la información disponible de la sectorización, se actuaría en función de la gravedad observada.

A partir de aquí, ya hemos acotado el problema de toda una población a los sectores en fuga, por lo que vamos a incrementar notablemente la eficiencia de los equipos de detección de fugas a utilizar y sobre todo el tiempo de permanencia de la avería, que es nuestro objetivo último.

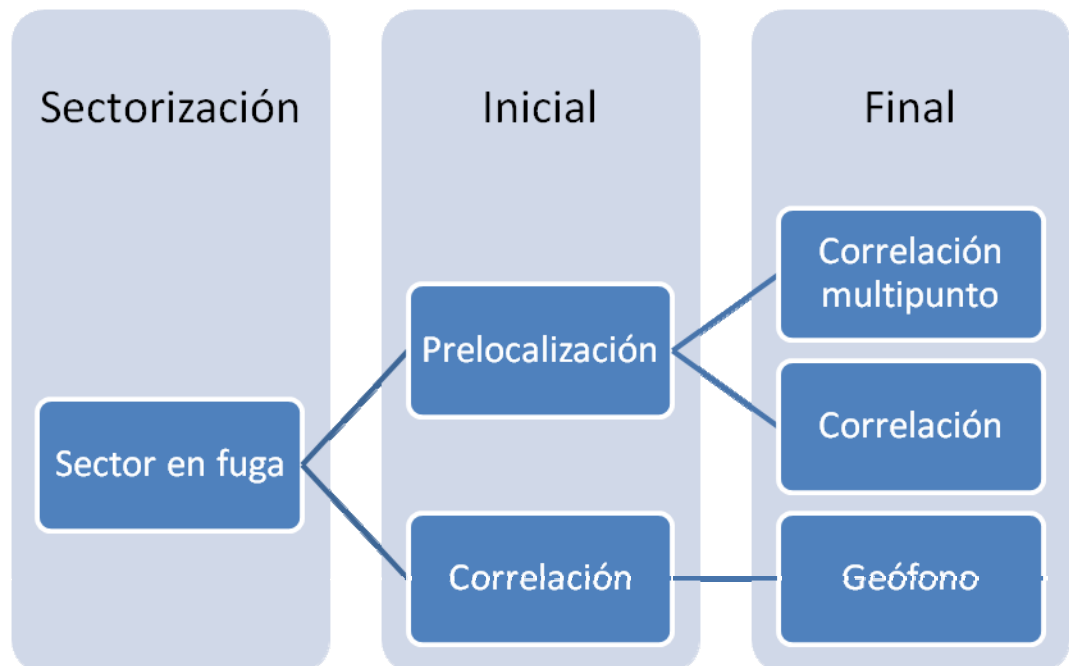
Conocido el sector en fuga, pasaremos a la utilización de los equipos de detección de averías de menor grado de especificidad y que nos aporta una información más rápida con un menor volumen de trabajo, es decir, utilizaremos a ser posible los equipos de prelocalización. Mediante esta tecnología se permitirá acotar dentro del sector los tramos de tuberías susceptibles de existencia de avería y se descartará aquellos en los que no se observa ningún valor anómalo en la información adquirida. Lo ideal es disponer de estos equipos de forma fija, tal que a través de una patrulla rápida se puede obtener el valor de ruido y dispersión (fuga / no fuga) de cada uno de ellos y proseguir al siguiente escalón tecnológico.

Una vez obtenido el resultado con la prelocalización, procederemos a la correlación multipunto, que nos permitirá de una vez analizar todas las conducciones alrededor de los sensores de prelocalización que nos han

indicado la existencia de una posible avería. Mediante esta tecnología determinaremos, si existe, el punto exacto de la avería, tal y como se analizado anteriormente, pudiendo utilizar el geófono y/o la correlación acústica para corroborar el resultado antes de proceder a los trabajos necesarios para su reparación.

En caso de no disponer de los equipos de correlación multipunto, se procedería a la correlación acústica y/o geófono en aquellos tramos de red de distribución alrededor de los puntos en los que los prelocalizadores nos han informado de la existencia de una posible avería.

Resumiendo, la metodología sería:



La gran ventaja de esta metodología es que nos permite actuar sólo en aquellas zonas de la población en la que hemos detectado un incremento anómalo en la demanda de agua y descartamos el resto. De esta forma además de incrementar exponencialmente la eficiencia de los equipos reducimos el tiempo de vida de la avería, siendo en algunos casos capaces de que no sea más allá de unas pocas horas.

5.5.- Telegestión aplicada a la optimización

5.5.1.- Descripción

Los sistemas de telegestión han venido siendo utilizados en las grandes poblaciones que requieren un control en continuo de la situación de las diversas variables que componen el sistema de distribución.

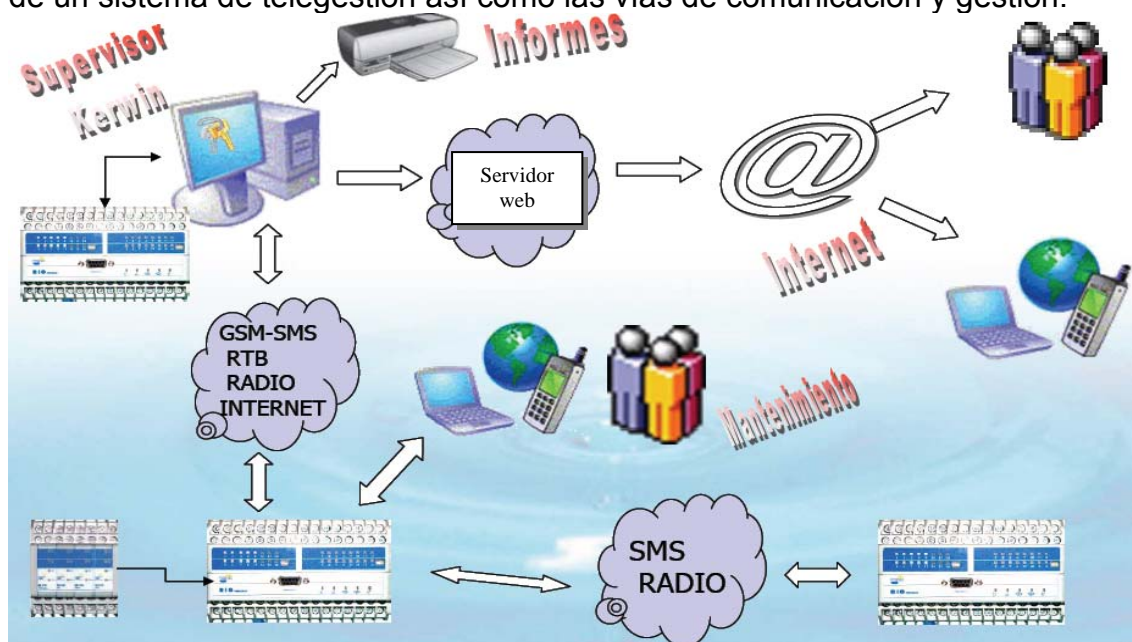
Conforme la tecnología ha sido más asequible, se han venido utilizando en poblaciones de menor entidad y podemos afirmar que en la actualidad es viable telegestionar cualquier entidad de población, mas si se integran dentro de un conjunto de abastecimientos, tal que las economías de escalas favorezcan estos desarrollos tecnológicos.

Básicamente, la telegestión consiste en la adquisición de la información de las diferentes variables que componen el sistema (caudal, presión, niveles de depósitos, piezométricos, variables climatológicas, estados equipos, etc), analizarlas y actuar en función de los objetivos establecidos, de una manera más o menos automatizada.

No es objeto de profundizar en los sistemas de telegestión, sino de analizar la parte de ellos que es aplicable a la optimización de las redes de distribución y que en definitiva viene asociado a la sectorización de las redes de distribución, punto de partida para la detección activa y eficiente de las averías en las redes de distribución.

Reducido el sistema de telegestión a su aplicación a la optimización de las redes de distribución, los parámetros básicos a analizar será el caudal y la presión, y de los mayores puntos de la red posibles, para lo cual se debe proceder a la sectorización, puntos en los cuales se determinará el caudal y presión instantáneo que serán remitidos periódicamente al sistema de telegestión de forma automatizada, encargado de analizar la información, agregarla, compararla, generar eventos, etc, tal que nos permita discernir en el menor tiempo posible cuales son las zonas de población sobre las que debes actuar.

En el esquema adjunto podemos observar resumidamente la estructura de un sistema de telegestión así como las vías de comunicación y gestión.



Resalta que el sistema de telegestión es totalmente autónomo en cuanto a la adquisición y gestión de la información, siendo la misma visible tanto en el propio servidor de datos como desde cualquier equipo remoto a través de una conexión web, lo que permite que la información esté disponible para multitud de usuarios.

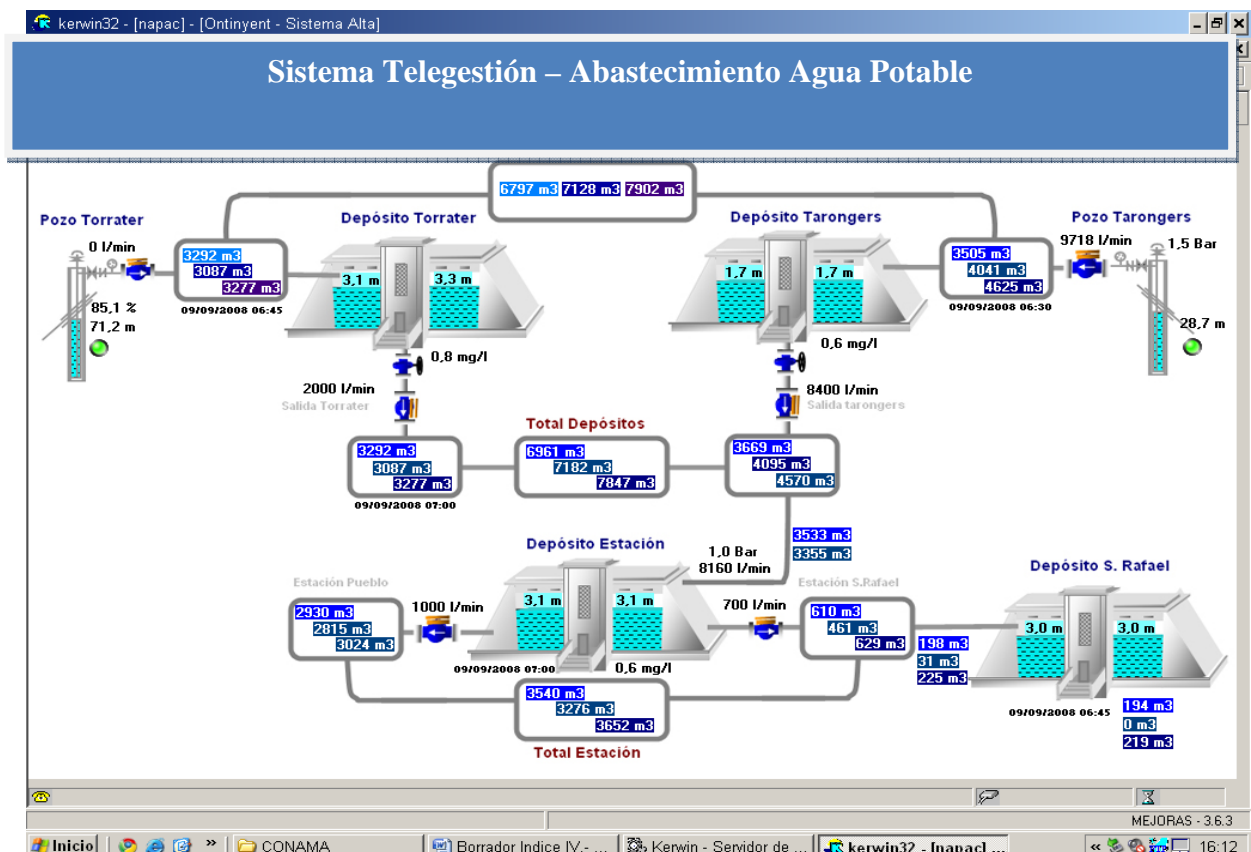
5.2.- Gestión de la Información

Una vez hemos sido capaces de sectorizar la red de distribución, adquirir la información generada en cada uno de los sectores, transmitir y almacenar en un servidor de datos remotos y tratarla de forma adecuada, entramos en la etapa de gestión de la información, que nos deberá aportar la herramienta necesaria para poder diagnosticar en tiempo real el estado de cada uno de nuestros sectores y actuar en consecuencia.

De esta forma, la información podrá ser tratada de forma gráfica para cada uno de los sectores además de realizar las operaciones necesarias en cada uno de ellos, en caso de que existan entradas y salidas a los sectores. Mediante la simple visualización de gráficas de forma periódica, seremos capaces de observar aquellos sectores que se desvían de una situación de normalidad, indicándonos aquellas zonas sobre las que debemos actuar, además de ser conocedores de la evolución del sector.

Así mismo, es posible determinar el estado global de un abastecimiento a través de sencillos esquemas que permitan visualizar de forma rápida como nos encontramos antes de entrar en más detalle.

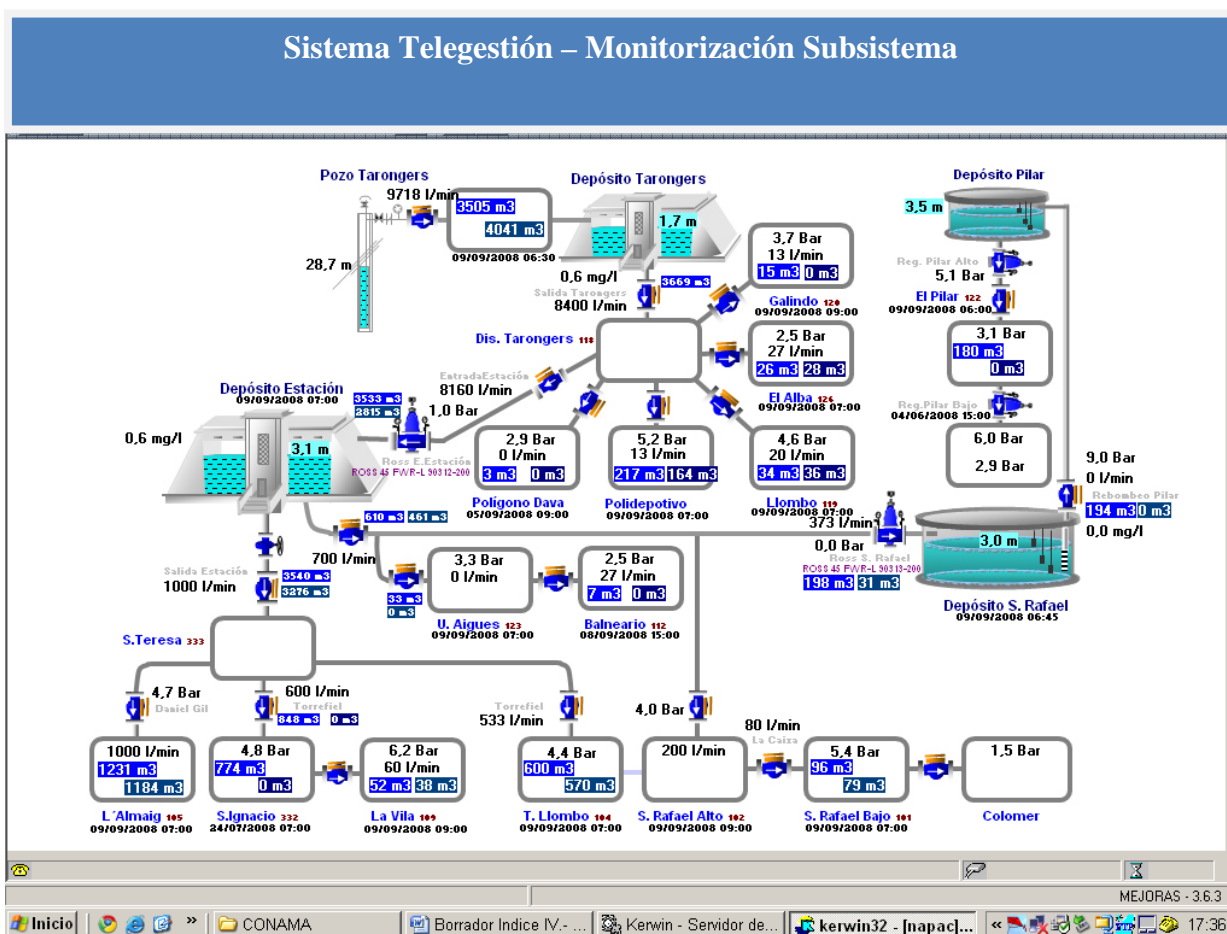
A modo de ejemplo se recoge el esquema resumen de una población, en la que se puede observar en líneas general el estado del abastecimiento:



En el gráfico anterior se monitoriza el estado global del abastecimiento con valores registrados en el día de hoy, ayer y tal día como hoy de hace una semana, que nos permite evaluar rápidamente su estado. Así mismo tenemos valores del estado de cada instalación y cualquier variable registrada.

Si únicamente con una monitorización global del abastecimiento, no somos capaces de diagnosticar su estado, se hace aconsejable utilizar la sectorización y dividir nuestro abastecimiento de forma que podamos conocer su estado en cada sector, situación a partir de la cual incidir individualmente en lo que está ocurriendo en cada uno de ellos.

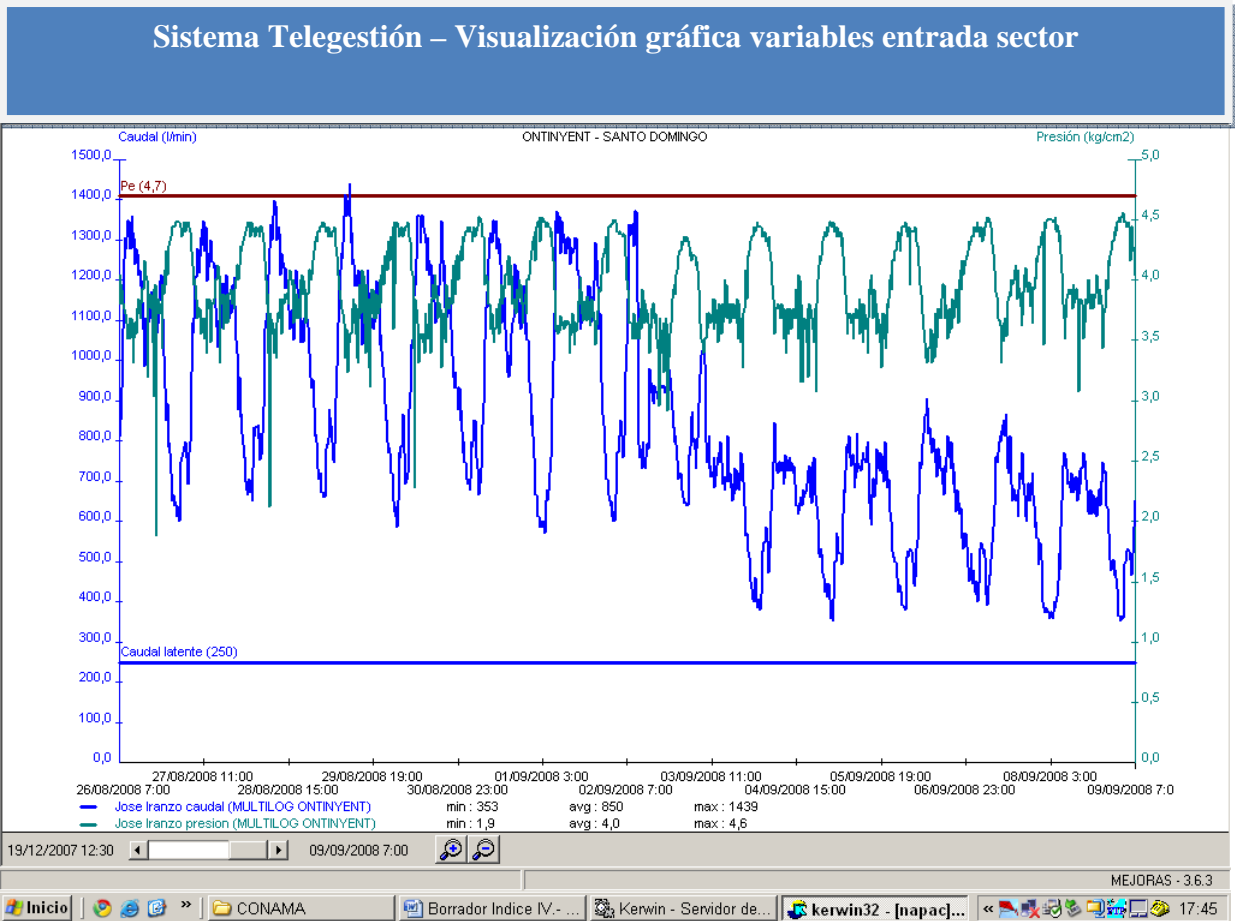
En la imagen siguiente se representa un subsistema hijo de la imagen anterior, en cual entramos en mayor detalle, conociendo el estado de cada uno de los sectores que componen el subsistema.



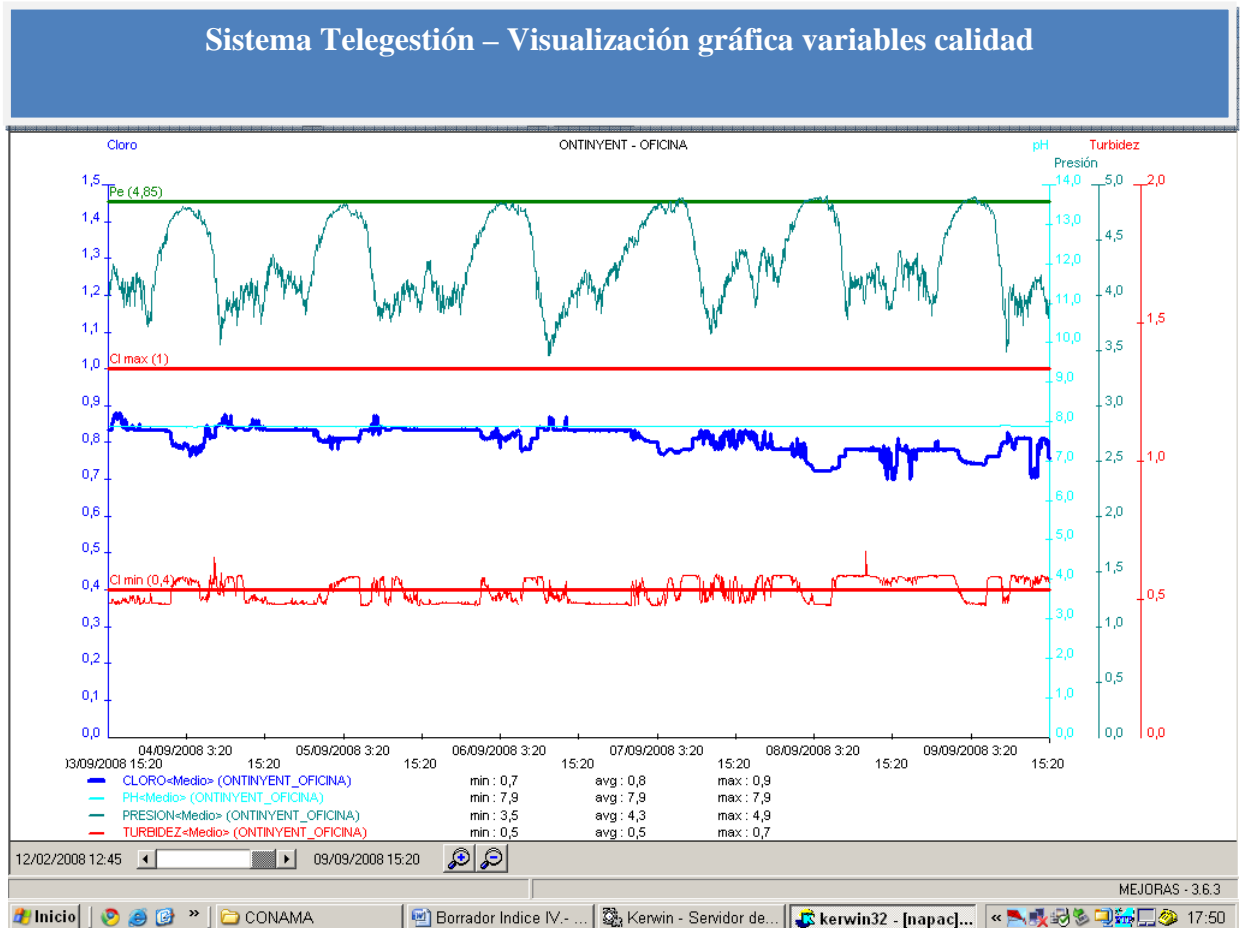
A partir de la monitorización podemos analizar los sectores de forma individual, bien gráficamente bien numéricamente.

Gráficamente podemos obtener la evolución de las variables seleccionadas, siendo un método válido para un rápido análisis visual muy clarificador de la situación, siempre y cuando se disponga de suficiente experiencia y conocimiento del sistema analizado.

En la gráfica siguiente se representa las variables adquiridas en la entrada de un sector, habiéndose establecido unos objetivos tanto de caudal mínimo como presión estática deseables de alcanzar, como indicativo de mejora del estado hidráulico del sector.



No únicamente es viable analizar variables básicas de caudal y presión sino todo tipo de parámetro físico que pueda ser registrado, así a continuación representamos los valores de presión, pH, cloro libre y turbidez, tomados en un punto significativo de la red de distribución, lo que permite conocer en tiempo real el estado y evolución de la calidad del agua suministrada.



Tal y como se ha apuntado anteriormente, la información también puede ser recogida numéricamente agregado en función de la necesidad. Así en la imagen siguiente se recoge de varios sectores valores de caudal y volumen agregados con una periodicidad diaria.

Sistema Telegestión – Informe caudales sectoriales por día

| | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE | AF |
|----|------------------|--------|--------|---------|---------|--------------|--------|--------|---------|---------|------------|--------|--------|---------|---------|
| 2 | Torrefiel-Llombo | | | | | Santa Teresa | | | | | Sector 109 | | | | |
| 3 | Medio | Máximo | Mínimo | Min.Med | Volumen | Medio | Máximo | Mínimo | Min.Med | Volumen | Medio | Máximo | Mínimo | Min.Med | Volumen |
| 4 | 496 | 933 | 133 | 0,27 | 715 | 893 | 867 | 467 | 0,52 | 1286 | 49 | 107 | 20 | 0,41 | |
| 5 | 465 | 1000 | 133 | 0,29 | 670 | 939 | 1362 | 467 | 0,50 | 1352 | 47 | 93 | 20 | 0,43 | |
| 6 | 407 | 667 | 133 | 0,33 | 586 | 847 | 1200 | 467 | 0,55 | 1220 | 44 | 73 | 20 | 0,45 | |
| 7 | 452 | 733 | 133 | 0,29 | 651 | 884 | 1200 | 467 | 0,53 | 1273 | 45 | 93 | 20 | 0,44 | |
| 8 | 457 | 800 | 133 | 0,29 | 658 | 942 | 1134 | 467 | 0,50 | 1357 | 49 | 100 | 20 | 0,41 | |
| 9 | 449 | 1000 | 133 | 0,30 | 647 | 935 | 867 | 467 | 0,50 | 1346 | 49 | 87 | 20 | 0,41 | |
| 10 | 476 | 1000 | 200 | 0,42 | 685 | 906 | 1033 | 400 | 0,44 | 1305 | 21 | 80 | 0 | 0,00 | |
| 11 | 465 | 1067 | 133 | 0,29 | 670 | 914 | 1337 | 467 | 0,51 | 1317 | 50 | 100 | 7 | 0,13 | |
| 12 | 457 | 800 | 200 | 0,44 | 658 | 896 | 1627 | 400 | 0,45 | 1290 | 53 | 80 | 27 | 0,50 | |
| 13 | 397 | 667 | 133 | 0,34 | 572 | 809 | 1267 | 533 | 0,66 | 1165 | 55 | 73 | 33 | 0,60 | |
| 14 | 498 | 933 | 200 | 0,40 | 717 | 863 | 934 | 400 | 0,46 | 1242 | 54 | 113 | 20 | 0,37 | |
| 15 | 459 | 933 | 133 | 0,29 | 661 | 887 | 934 | 467 | 0,53 | 1278 | 49 | 107 | 13 | 0,27 | |
| 16 | 408 | 933 | 133 | 0,33 | 587 | 819 | 1097 | 467 | 0,57 | 1179 | 36 | 87 | 7 | 0,19 | |
| 17 | 413 | 933 | 133 | 0,32 | 595 | 889 | 934 | 467 | 0,52 | 1281 | 39 | 87 | 7 | 0,17 | |
| 18 | 408 | 733 | 200 | 0,49 | 588 | 883 | 1134 | 400 | 0,45 | 1272 | 43 | 73 | 20 | 0,47 | |
| 19 | 431 | 933 | 133 | 0,31 | 621 | 898 | 867 | 523 | 0,58 | 1293 | 43 | 87 | 7 | 0,15 | |
| 20 | 379 | 667 | 133 | 0,35 | 546 | 834 | 1200 | 467 | 0,56 | 1201 | 38 | 73 | 13 | 0,35 | |
| 21 | 533 | 533 | 533 | 1,00 | 768 | 824 | 1267 | 67 | 0,08 | 1187 | 36 | 67 | 13 | 0,35 | |
| 22 | 438 | 867 | 133 | 0,30 | 631 | 942 | 1527 | 416 | 0,44 | 1356 | 44 | 100 | 7 | 0,15 | |
| 23 | 396 | 667 | 133 | 0,34 | 570 | 846 | 1000 | 467 | 0,55 | 1218 | 39 | 67 | 13 | 0,34 | |
| 24 | 427 | 667 | 133 | 0,31 | 615 | 875 | 1694 | 467 | 0,53 | 1260 | 44 | 87 | 13 | 0,30 | |
| 25 | 401 | 667 | 133 | 0,33 | 578 | 813 | 867 | 467 | 0,57 | 1170 | 41 | 73 | 13 | 0,33 | |
| 26 | 403 | 667 | 133 | 0,33 | 581 | 772 | 1000 | 467 | 0,60 | 1111 | 40 | 87 | 13 | 0,33 | |
| 27 | 404 | 667 | 133 | 0,33 | 582 | 769 | 1134 | 467 | 0,61 | 1107 | 41 | 73 | 7 | 0,16 | |
| 28 | 414 | 800 | 200 | 0,48 | 596 | 774 | 1000 | 400 | 0,52 | 1115 | 39 | 73 | 7 | 0,17 | |
| 29 | 421 | 733 | 133 | 0,32 | 607 | 824 | 1067 | 467 | 0,57 | 1187 | 37 | 67 | 13 | 0,36 | |
| 30 | 392 | 800 | 133 | 0,34 | 565 | 842 | 1000 | 533 | 0,63 | 1212 | 37 | 67 | 7 | 0,18 | |
| 31 | 392 | 600 | 133 | 0,34 | 565 | 823 | 1267 | 467 | 0,57 | 1185 | 35 | 67 | 7 | 0,19 | |

Ya que disponemos de la información recogida en cada uno de los sectores, podemos utilizar la misma para realizar cualquier tipo de análisis, así por ejemplo podemos realizar un análisis sectorial de forma continuada de todo un abastecimiento, de forma totalmente automatizada, ya que realizarlo manualmente requiere de un gran volumen de trabajo.

Mediante este análisis sectorial, seremos capaces de obtener automáticamente cuales son los sectores que en función del consumo podemos determinar si existe o no fuga, y en caso de existencia de fuga el nivel de probabilidad.

Sistema Telegestión – Análisis sectorial

| T27 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|---|---------------------|-------------|----------------|------------|------------|--|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | Q(l/min) | 26/08/2008 | | | | | | | | | | Q(l/min) | 26/08/2008 | |
| 3 | Hora | D.Barranc | J.Sorolla | Canaleta | Z.Nueva | B.Ibañez | B.Medieval | Z.Antigua | | Hora | D.Rambla | Nones | E.Teulars | Noguera | |
| 4 | 00 | 376 | 200 | 24 | 152 | 33 | 48 | 118 | | 00 | 420 | 0 | 113 | | |
| 5 | 01 | 333 | 200 | 26 | 107 | 20 | 38 | 142 | | 01 | 257 | 0 | 0 | | |
| 6 | 02 | 333 | 150 | 27 | 156 | 17 | 33 | 100 | | 02 | 228 | 0 | 7 | | |
| 7 | 03 | 333 | 133 | 13 | 187 | 13 | 32 | 88 | | 03 | 398 | 0 | 197 | | |
| 8 | 04 | 276 | 117 | 12 | 147 | 12 | 35 | 70 | | 04 | 167 | 0 | 3 | | |
| 9 | 05 | 174 | 100 | 15 | 59 | 15 | 37 | 48 | | 05 | 270 | 0 | 117 | | |
| 10 | 06 | 201 | 133 | 18 | 50 | 22 | 48 | 63 | | 06 | 213 | 0 | 10 | | |
| 11 | 07 | 333 | 183 | 32 | 118 | 40 | 77 | 67 | | 07 | 363 | 0 | 115 | | |
| 12 | 08 | 505 | 300 | 54 | 151 | 50 | 100 | 150 | | 08 | 348 | 0 | 8 | | |
| 13 | 09 | 667 | 383 | 87 | 196 | 73 | 125 | 185 | | 09 | 538 | 0 | 77 | | |
| 14 | 10 | 982 | 500 | 63 | 419 | 60 | 117 | 323 | | 10 | 507 | 0 | 182 | | |
| 15 | 11 | 826 | 450 | 72 | 304 | 73 | 135 | 242 | | 11 | 483 | 0 | 182 | | |
| 16 | 12 | 826 | 500 | 58 | 268 | 68 | 102 | 330 | | 12 | 425 | 0 | 110 | | |
| 17 | 13 | 903 | 433 | 56 | 414 | 53 | 88 | 292 | | 13 | 437 | 0 | 0 | | |
| 18 | 14 | 749 | 367 | 53 | 329 | 55 | 92 | 220 | | 14 | 458 | 0 | 82 | | |
| 19 | 15 | 759 | 383 | 42 | 333 | 47 | 103 | 233 | | 15 | 462 | 0 | 98 | | |
| 20 | 16 | 667 | 350 | 42 | 275 | 37 | 90 | 223 | | 16 | 457 | 0 | 108 | | |
| 21 | 17 | 667 | 317 | 46 | 304 | 47 | 82 | 188 | | 17 | 428 | 0 | 123 | | |
| 22 | 18 | 667 | 350 | 42 | 275 | 45 | 95 | 210 | | 18 | 507 | 0 | 38 | | |
| 23 | 19 | 667 | 367 | 79 | 221 | 43 | 85 | 238 | | 19 | 463 | 0 | 175 | | |
| 24 | 20 | 667 | 333 | 77 | 257 | 52 | 90 | 192 | | 20 | 478 | 0 | 118 | | |
| 25 | 21 | 667 | 367 | 52 | 248 | 53 | 82 | 232 | | 21 | 465 | 0 | 175 | | |
| 26 | 22 | 667 | 350 | 30 | 287 | 45 | 72 | 233 | | 22 | 443 | 0 | 178 | | |
| 27 | 23 | 667 | 283 | 28 | 355 | 35 | 62 | 187 | | 23 | 477 | 0 | 145 | | |
| 28 | Total | 580 | 302 | 44 | 234 | 42 | 78 | 182 | | Total | 404 | 0 | 98 | | |
| 29 | Posible Fuga | IIO | IIO | IIO | IIO | IIO | SI | IIO | | Posible Fuga | SI | #DIV/0! | IIO | S | |
| 30 | Nivel Fuga | | | | | | Bajo | | | Nivel Fuga | Bajo | #DIV/0! | | Ba | |
| 31 | CT (m3/dia) | 835 | 435 | 63 | 337 | 60 | 112 | 263 | | CT (m3/dia) | 582 | 0 | 142 | | |
| 32 | CHM (m3/h) | 59 | 30 | 5 | 25 | 4 | 8 | 20 | | CHM (m3/h) | 32 | 0 | 12 | | |
| 33 | CMN (m3/h) | 10 | 6 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | | CMN (m3/h) | 10 | 0 | 0 | | |

← → Datos ▾ Bocairent ▾ D.Barranc ▾ J.Sorolla ▾ Canaleta ▾ Z.Nueva ▾ B.Ibañez ▾ B.Medieval ▾ Z.Antigua ▾ D.Rambla ▾ E.Teulars ▾ Noguera ▾ Collado ▾

MEJORAS - 3.6.3

En aquellos sectores en los que tengamos probabilidad de existencia de averías, podemos conocer su evolución temporal:

| Sistema Telegestión – Análisis sectorial – Evolución Sector | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|------|-----------|---|---|---|
| C2 26/8/2008 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 1 | Oml(m/min) | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Hora | 26/08/08 | 25/08/08 | 24/08/08 | 23/08/08 | 22/08/08 | 21/08/08 | 20/08/08 | Promedio | Mes | C.M. | P(kg/cm2) | | | |
| 3 | 00 | 48 | 55 | 57 | 57 | 43 | 55 | 42 | 51 | 77 | 0,7 | 4,9 | | | |
| 4 | 01 | 38 | 47 | 40 | 40 | 37 | 42 | 35 | 40 | 67 | 0,5 | 4,9 | | | |
| 5 | 02 | 33 | 33 | 38 | 37 | 38 | 36 | 33 | 36 | 63 | 0,5 | 4,9 | | | |
| 6 | 03 | 32 | 30 | 33 | 37 | 35 | 35 | 32 | 33 | 60 | 0,5 | 4,9 | | | |
| 7 | 04 | 35 | 33 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 60 | 0,5 | 5,0 | | | |
| 8 | 05 | 37 | 33 | 37 | 42 | 35 | 37 | 35 | 36 | 63 | 0,5 | 5,0 | | | |
| 9 | 06 | 48 | 48 | 37 | 42 | 43 | 47 | 40 | 44 | 82 | 0,6 | 5,0 | | | |
| 10 | 07 | 77 | 83 | 52 | 47 | 67 | 68 | 67 | 66 | 92 | 0,9 | 5,0 | | | |
| 11 | 08 | 100 | 100 | 82 | 63 | 92 | 105 | 108 | 93 | 117 | 1,3 | 5,0 | | | |
| 12 | 09 | 125 | 120 | 102 | 90 | 97 | 108 | 103 | 106 | 102 | 1,4 | 4,9 | | | |
| 13 | 10 | 117 | 140 | 113 | 92 | 103 | 107 | 103 | 111 | 108 | 1,5 | 4,9 | | | |
| 14 | 11 | 135 | 125 | 113 | 97 | 92 | 95 | 95 | 107 | 112 | 1,5 | 4,9 | | | |
| 15 | 12 | 102 | 100 | 108 | 97 | 107 | 100 | 90 | 100 | 102 | 1,4 | 4,9 | | | |
| 16 | 13 | 88 | 93 | 88 | 97 | 105 | 98 | 75 | 92 | 107 | 1,3 | 4,9 | | | |
| 17 | 14 | 92 | 92 | 78 | 88 | 98 | 90 | 95 | 90 | 122 | 1,2 | 4,9 | | | |
| 18 | 15 | 103 | 80 | 75 | 87 | 105 | 80 | 83 | 88 | 102 | 1,2 | 4,9 | | | |
| 19 | 16 | 90 | 67 | 73 | 68 | 97 | 83 | 77 | 79 | 87 | 1,1 | 4,9 | | | |
| 20 | 17 | 82 | 95 | 80 | 78 | 107 | 88 | 90 | 89 | 100 | 1,2 | 4,9 | | | |
| 21 | 18 | 95 | 75 | 82 | 75 | 108 | 73 | 92 | 86 | 133 | 1,2 | 4,9 | | | |
| 22 | 19 | 85 | 72 | 92 | 80 | 82 | 87 | 90 | 84 | 108 | 1,1 | 4,9 | | | |
| 23 | 20 | 90 | 87 | 98 | 78 | 63 | 90 | 100 | 87 | 105 | 1,2 | 4,8 | | | |
| 24 | 21 | 82 | 80 | 78 | 80 | 78 | 77 | 82 | 80 | 95 | 1,1 | 4,8 | | | |
| 25 | 22 | 72 | 68 | 72 | 72 | 73 | 65 | 78 | 71 | 95 | 1,0 | 4,9 | | | |
| 26 | 23 | 62 | 57 | 65 | 65 | 72 | 52 | 73 | 64 | 100 | 0,9 | 4,9 | | | |
| 27 | Total | 78 | 76 | 72 | 68 | 75 | 73 | 73 | 74 | 94 | 0,5 | 4,9 | | | |
| 28 | Possible Fuga | SI | HO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | | | | | |
| 29 | Nivel Fuga | Bajo | | Bajo | Medio | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Medio | | | | | |
| 30 | CT (m3/dia) | 112 | 109 | 104 | 98 | 109 | 105 | 105 | 106 | 135 | | | | | |
| 31 | CHM (m3/h) | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | | | | | |
| 32 | CMN (m3/h) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | | | | | |
| 33 | CHP (m3/h) | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 6 | | | | | |

En definitiva, a partir de la información registrada en nuestro sistema hidráulico, registrada y procesada en nuestro equipos de telegestión y analizada por un equipo humano cualificado, seremos capaces de dirigir los trabajos posteriores con tal de optimizar la red de distribución con el objetivo inicial y final de minimizar las pérdidas de agua y mejorar la calidad del servicio.

En la imagen anterior se observa el cálculo automatizado del protocolo de 'Análisis Sectorial', de forma que diariamente se puede analizar cada uno de los sectores de nuestro abastecimiento sin ningún esfuerzo.

5.6.- Sistemas de información geográfica (GIS) aplicada en sectorización

Un Sistema de Información Geográfica es un sistema que integra un grupo de subsistemas esenciales para su correcto funcionamiento, como:

- Sistema informático
- Información georeferenciada de los elementos de la red
- Atributos descriptivos
- Conexión con otros sistemas
 - Sistema de telegestión
 - Sistema de gestión de abonados

En definitiva un GIS es una herramienta analítica con la que se gestiona la información, pudiendo realizar operaciones espaciales o geográficas, basadas en conceptos matemáticos, además de identificar elementos de los mapas mediante relaciones espaciales.

Sin entrar en más detalle, en un GIS de una red de distribución representaremos y georeferenciaremos la red de distribución con los diferentes atributos necesarios para una gestión de la misma, es decir, se definirán las características de la red de distribución:

- Materiales y diámetros
- Distancias
- Elementos de la red (válvulas, hidrantes, ventosas, caudalímetros de sector,...)
- Ubicación de cada abono
- Etc.

A partir de la información del GIS más la que hemos sido capaces de gestionar a través del sistema de telegestión, tendremos la totalidad de información a partir de la cual se podrá realizar los cálculos de indicadores y cada uno de nuestros sectores, que nos permitirá evaluar el estado de nuestra red.

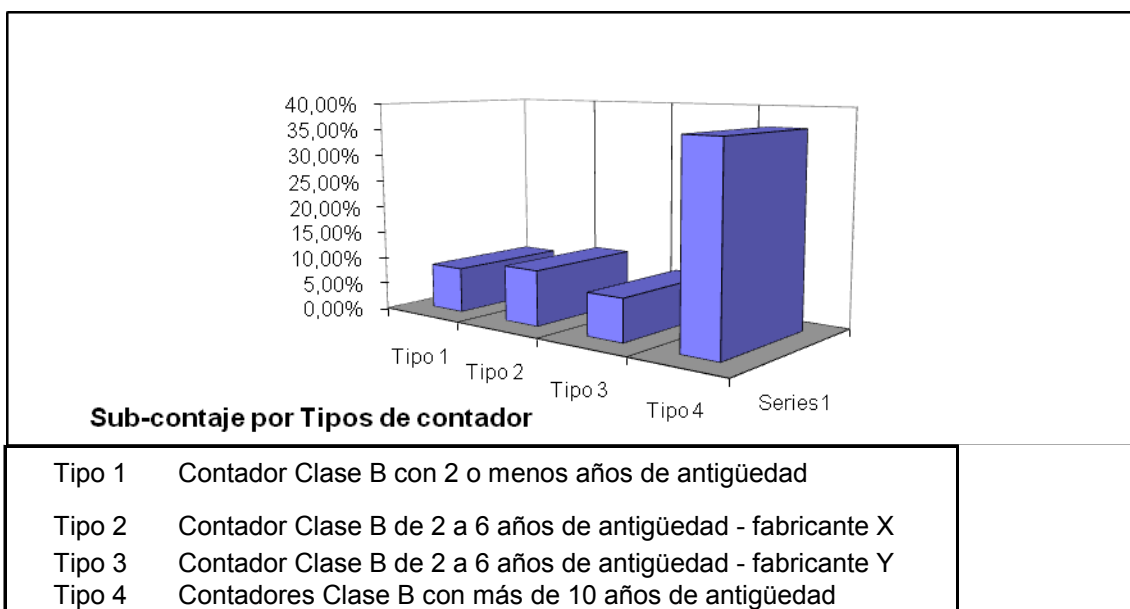
5.7.- Modernización de parque de contadores

Un punto clave en la optimización de las redes de distribución es registrar adecuadamente la demanda de agua en la totalidad de los suministros. Nos encontramos por un lado, que hay que medir todos los puntos de suministros, aunque los mismos sean gratuitos, y por otra debemos registrar de la forma más fiable los consumos. A partir de un buen registro de la demanda y de la oferta (sectorización) empezaremos a ser capaces de poder realizar una correcta gestión de las redes de distribución, localizando averías, tomas ilegales, etc. En definitiva tendremos la información de partida capaz de discernir el agua registrada de la no registrada, y dentro de la no registrada el agua consumida y no registrada y el agua realmente perdida.

Sin duda alguna, los contadores de agua no tienen una eficiencia total en su registro sino que por el contrario tienen un error de medida, como todo instrumento de medida. Nuestro objetivo será reducir el error de medida mediante una correcta gestión del parque de contadores.

Existen multitud de estudios tanto teóricos como empíricos que demuestran o al menos muestran, que los contadores cuanto peor es su calidad metrológica y cuanto mayor es su antigüedad, mayor es el error en la medición, aunque dicho error tiene una componente importante en la tipología de consumo, es decir, en consumos con bajos caudales se detecta un mayor nivel de error que en aquellos puntos de consumo en los que el contador funciona cerca de su punto de caudal nominal.

Así, en un estudio empírico realizado sobre un parque de contadores 'antiguo' se obtuvieron resultados clarificadores de la calidad metrológica que se estaba efectuando:



Se observa claramente que existe un subcontaje para toda la tipología y antigüedad de contadores instalados, al ser estos clase B (mínima exigible) y con una elevada antigüedad.

Proyectando los resultados obtenidos al resto del parque de contadores, se obtuvo un subcontaje medio del 24%, debiendo resaltar que no existe

únicamente subcontaje sino que también puede existir sobrecontaje en determinadas zonas de la curva del contador.

Este tipo de análisis conduce a la necesidad de proceder a la renovación del parque de contadores, manteniendo un parque de antigüedad máxima de 10 años, con una metrología mínima clase C en lugar de clase B.

Habitualmente en nuestro país, se han instalado contadores de velocidad mientras que en países anglosajones, ha sido más habitual la utilización de contadores volumétricos. Una posible razón es la dureza de nuestra agua así como una baja calidad del agua suministrada (impurezas, arrastres, intrusiones, etc). Si bien la dureza del agua continua en nuestros días, la calidad en el servicio se ha incrementado notablemente, habiéndose reducido cualquier elemento exógeno a la propia agua. Esto nos conduce a una posible utilización de contadores volumétricos, basados en un metodología diferente a los contadores de velocidad y quizás más exacta.

Nuevamente, en estudios empíricos realizados, instalando en puntos de consumo reales tanto un contador de velocidad clase C como un contador volumétrico clase C enseriados, se ha demostrado una mejora en el registro de agua realizado por este último, cuantificándose en un 3% de valor medio. Además, un factor que debe ser conocido es que los contadores de velocidad únicamente mantienen su calidad metrológica cuando son instalados totalmente en horizontal, cuando por el contrario se instalan con un ángulo de inclinación superior al recomendado por el fabricante, se pierde la clase metrológica, registrando el caudal de agua de una forma inadecuada.

Una revisión del parque de contadores nos aportaría una información de gran valor, ya que observaríamos con una elevada probabilidad que pocos contadores han sido instalados de forma totalmente adecuada, con lo que se está empeorando la calidad de los registros, sobre todo para tener cierta comodidad a la hora de registrar la lectura visual del contador. Sin embargo, la utilización de contadores volumétricos eliminaría este inconveniente, asegurándose una determinada clase metrológica para cualquier tipología de instalación del contador.

En definitiva, los diversos estudios empíricos así como la experiencia diaria, apuntan a la necesidad de mantener un parque de contadores joven y de la máxima calidad metrológica posible, con el objetivo de registrar el mayor porcentaje de agua demandado, nunca será el 100%, tal que permita generar información fiable a la hora de analizar nuestra red de distribución, ya que nuestro objetivo es optimizarla.

Hasta aquí hemos analizado, resumidamente, aspectos de la calidad de los contadores a utilizar en nuestra red de distribución, pero además hemos de valorar como debemos 'leer' dichos contadores, persiguiendo con el mismo objetivo.

No hace falta explicar, que habitualmente los contadores son leídos de forma manual, presentándose un operario en cada uno de los puntos de suministro y tomando nota de la lectura que aparece en el propio contador. Esta tarea comporta un gran volumen de trabajo y además se generan errores humanos que pueden desvirtuar la calidad de los registros.

Hemos de acudir una vez más a la evolución de la tecnología para mejorar la calidad de los registros y eliminar cualquier fuente de error, así como poder incrementar la frecuencia de los registros, con tal de obtener información de nuestro sistema.

Actualmente, la tecnología disponible permite realizar lecturas a distancia de los contadores individuales de cada punto de consumo y a una velocidad increíblemente superior a la lectura manual.

Existe varias tipologías de tecnologías, que pueden ser más o menos adecuadas en función de la densidad de los puntos de consumo (centros urbanos con edificación vertical, urbanizaciones horizontales, viviendas unifamiliares aisladas, zonas suburbanas, etc), teniendo cada una de ellas sus ventajas e inconvenientes. Es por ello, que en función de la necesidad se deberá estudiar la mejor solución tecnológica y económica, que resuelva nuestro problema de registro de la demanda.

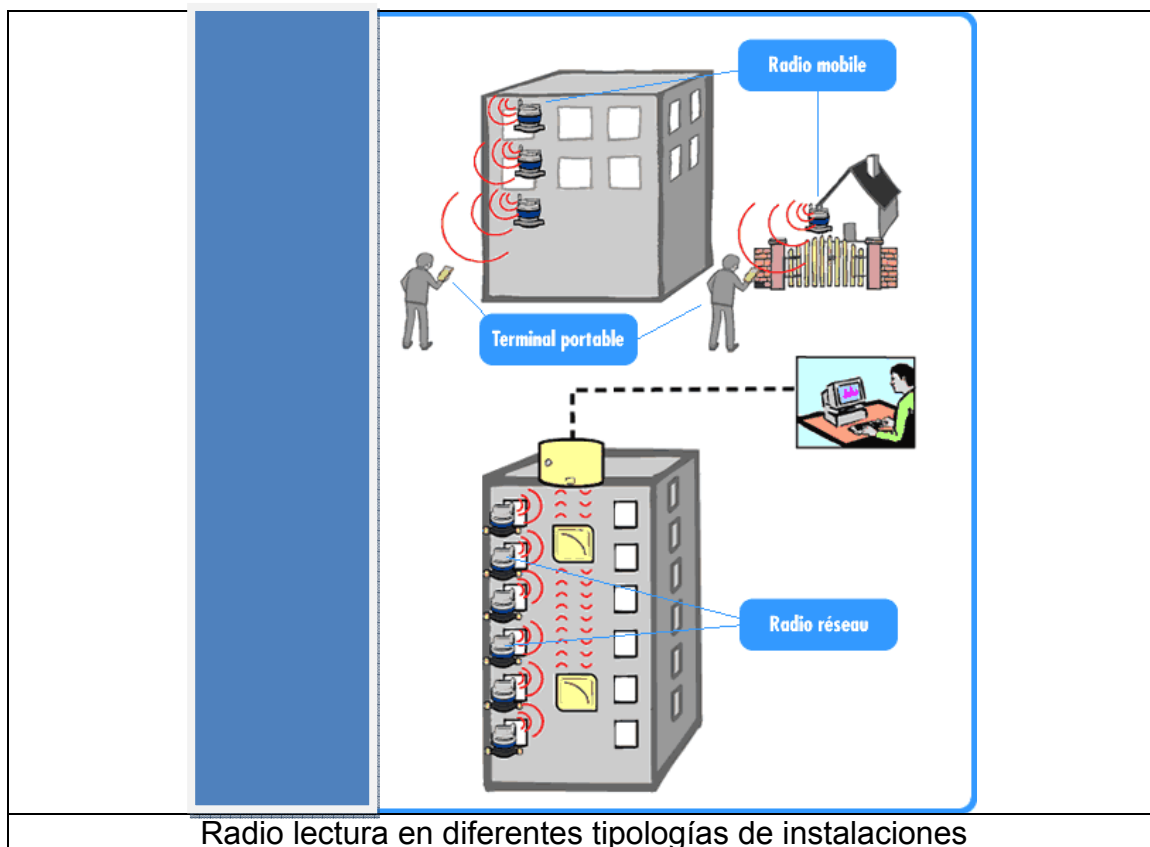
Sin embargo, los contadores de agua equipados con radiofrecuencia que puede ser recibida de forma itinerante, son un primer escalón que resuelve cualquiera de las tipologías descritas anteriormente, aunque no sea la solución más satisfactoria para cada una de ellas en particular, pero se convierte en la solución ideal de forma globalizada para un abastecimiento.

Esta tecnología consiste en un contador de agua al que se le acopla un módulo emisor de radio, que nos emite la información registrada por el contador:

- 1) Lectura del contador en la fecha de registro
- 2) Lectura del contador el día 1 del mes en curso (u otra fecha programable)
- 3) Fuga en la instalación interior
- 4) Fraude mecánico y magnético
- 5) Flujo inverso
- 6) Contador parado

Podemos afirmar que mediante esta tecnología, se ha dado un salto cualitativo importantísimo, ya que por un parte se reduce el tiempo necesario para la lectura de un contador (segundos), se elimina cualquier fuente humana de error, y en lugar de obtener una única información (lectura acumulada) obtenemos todas la información indicada anteriormente.





Una vez más, la tecnología nos permite mejorar la calidad de nuestra información. Para poder analizar correctamente nuestra red de distribución debemos disponer de la demanda de agua de cada punto de consumo. Esto hasta la fecha ha sido prácticamente imposible, ya que un determinado volumen de puntos de registro son inaccesibles, no pudiendo registrar físicamente el 100% del parque de contadores, por lo que en multitud de casos no se conoce el consumo y por tanto es inviable discernir entre el agua demandada y el agua perdida. Pero acabamos de resolver este problema, ya que con la presente tecnología, independientemente de la ubicación del punto de registro, obtendremos el registro del consumo realizado y por lo tanto seremos capaces de registrar el 100% de los consumos y conocer exactamente el estado de nuestra red distribución, punto de partida para su optimización.

Volviendo a estudios empíricos, realizados sobre una muestra de 6.223 abonos reales, analizando el consumo habido en cada punto de suministro antes y después de la renovación del contador, instalando nuevos contadores con radio lectura se obtuvo el siguiente resultado:

| Valores | | | |
|----------------------|------------------|------------------|-----------|
| Rótulos de fila | Suma de Antes | Suma de Después | Variación |
| CC-RE | 17.011 | 17.819 | 5% |
| CC-RV | 255.126 | 256.579 | 1% |
| EE-RE | 832.907 | 879.203 | 6% |
| EE-RV | 723.988 | 780.945 | 8% |
| Total general | 1.829.032 | 1.934.545 | 6% |

Se observa una mejora del volumen registrado de un 6%, partiendo de la base de la existencia de un parque de contadores con una antigüedad máxima de 10 años.

Particularizando el análisis, observamos una mejora de un 5% para la renovación de contadores de velocidad clase C a clase B pero de radio lectura. En este caso particular si bien la clase metrológica es inferior, se acusa una mejora que puede ser achacable a la adquisición real de la lectura en todas los abonos, ya que hemos de incidir en que se trataba de un parque de contadores interiores, de los cuales nunca se toma el 100% de las lecturas.

En el caso de sustitución de contadores de velocidad clase C por volumétricos clase C de radio lectura, la mejora es únicamente del 1%, basada en la adquisición de todas las lecturas no en la mejora de calidad de la lectura.

Para el caso de sustitución de clase B a la misma clase metrológica, se observa también una mejora del 6%, siendo la misma causa.

Por último, la sustitución de contadores de velocidad clase B por volumétricos clase C con radio lectura, nos da una mejora del **8%**. Sin duda aquí se aúnan los dos factores, por una parte la adquisición de todas y cada de las lecturas y además una mejora en la precisión y calidad del registro del consumo

5.8.- Indicadores básicos

El análisis de diferentes indicadores nos ayudará a conocer el estado de nuestro abastecimiento y su evolución temporal, así podríamos tener, para cada uno de los sectores:

Qmin.- Caudal mínimo

Qmed.- Caudal medio

Qmax.- Caudal máximo

Indice de fugas = Q_{min} / Q_{med}

Nivel de fugas latentes = $Q_{min} / (\text{longitud} * \text{tiempo})$

Pmin.- Presión mínima

Pmed.- Presión media

Pmax.- Presión máxima

Fluctuación máxima (%) = $(P_{max} - P_{min}) / P_{min} * 100$

Rendimiento = $\text{Volumen registrado sector} / \text{Volumen inyectado sector}$

Evidentemente estos indicadores deben estar referidos a un período de tiempo concreto, siendo el período ideal el diario. A partir de indicadores diarios se pueden agregar obteniendo valores semanales o mensuales, de forma que posteriormente se puedan comparar históricos.

5.9. Casos prácticos

Al final de este documento se adjuntan dos casos prácticos en formato power-point.

6. HUELLA HÍDRICA

6.1. Introducción a los conceptos de huella hídrica y agua virtual

El estudio de la huella hídrica y del concepto relacionado de agua virtual está aportando nuevos datos y perspectivas que revelan una visión diferente frente a la frecuentemente difundida “crisis de la escasez física del agua”. Algunos datos disponibles confirmarían, en este sentido, que la crisis del agua no es una crisis unidimensional debida a la escasez física de este recurso, sino que esencialmente se trata de un problema de mala gestión (Llamas, 2005). La escasez está socialmente condicionada por un conjunto de factores que van desde una concepción obsoleta de lo que es el agua, la existencia de un marco institucional muchas veces anticuado o una administración pública que hace dejadez de sus competencias y que se inhibe de sus responsabilidades. El desarrollo de una nueva cultura del agua implicaría que no hay gestión del agua sin gestión del territorio y que no es posible gestionar el agua como si fuera un elemento aislado (Aguilera Klink, 2008).

De hecho el concepto de huella hídrica ha sido desarrollado con el fin de diseñar un indicador de uso del agua que pudiese proporcionar información útil sobre patrones de consumo de la misma para la producción de bienes y servicios, que tenga en cuenta las características biogeofísicas del territorio.

Así, el estudio del agua virtual y la huella hídrica contribuyen a una gestión integrada del agua en el sentido más completo del término, teniendo en cuenta conjuntamente no sólo las aguas superficiales y subterráneas, sino también la política de importaciones y exportaciones de alimentos, y cambiando no sólo el concepto de escasez hídrica, en el sentido del que se hablaba antes, sino también el de seguridad alimentaria. Según Brichieri-Colombi (2004) es necesario superar las que el autor califica como “soluciones hidrocéntricas” para resolver los problemas de seguridad alimentaria e hídrica, dado que, por poner un ejemplo, las decisiones de los gobiernos sobre la política de producción o de importación de alimentos en un determinado país pueden tener un impacto mayor en su propia seguridad alimentaria e hídrica que la decisión de construir grandes infraestructuras hidráulicas.

6.1.1. Definiciones

En la terminología de la literatura internacional, las dos tipologías de agua, la superficial y la subterránea, han sido definidas como “agua azul”, en contraposición con el “agua verde”, nombre con el que se designa al agua que, procedente de las precipitaciones, está en la zona superior del suelo y permite la existencia de la mayor parte de la vegetación.

El análisis del papel del agua verde ha conducido al concepto de **agua virtual, que es el volumen de agua necesaria para producir un bien o un servicio** (Allan, 2003). En la Tabla 1 hay una lista de algunos productos y de su contenido en litros de agua, mientras que la Figura 1 representa un ejemplo de agua virtual ligado a la producción de carne.

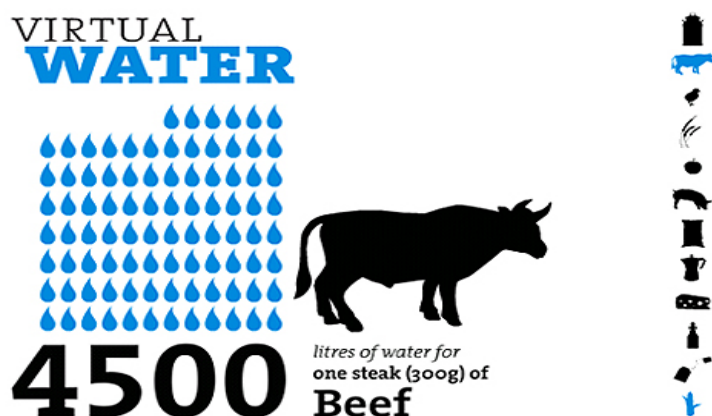
Al principio, el estudio del papel del agua virtual se refirió principalmente a la producción de alimentos, pero progresivamente se ha extendido a la producción de todos los bienes y servicios que requieren el uso de agua (Hoekstra et al, 2002).

El volumen total de agua que se requiere para la producción de los bienes y servicios que utiliza una persona, colectividad o país se denomina “huella

hídrica” y es medido en términos de volúmenes de agua consumidos y/o contaminados (Chapagain y Hoekstra, 2004).

De hecho, la huella hídrica incluye tres componentes: la huella hídrica azul, la verde y la gris. Así, por un lado, la azul y la verde están relacionadas con el volumen de agua azul, o verde, que se ha consumido (evaporado) como consecuencia de su utilización para fines humanos; por otro lado, la huella hídrica gris está relacionada con el volumen de agua contaminada asociada a la producción de bienes y servicios. Este último se calcula como el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes de tal manera que la calidad del agua se mantenga por encima del nivel que marcan las normas de calidad del agua.

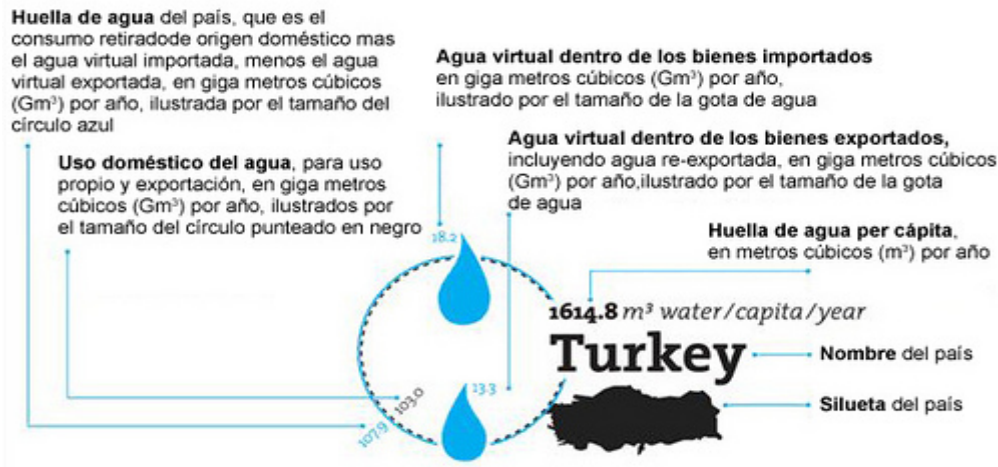
Figura 1 Litros de agua necesarios para la producción de 300g de carne



Fuente Timm Kekeritz, 2007.

Para un país, la huella hídrica es un indicador espacio-temporal, es decir, que no sólo muestra los volúmenes de consumo de agua y la contaminación, sino también explicita un marco espacial y temporal (Figura 2). En este sentido y para el cálculo, hay que tener en cuenta que muchos bienes consumidos por los habitantes de un país se producen en otros países, lo que significa que la verdadera demanda de agua de una población es muy superior a la nacional. Análogamente está el caso de una gran cantidad de productos que se exportan para el consumo en otros lugares.

Figura 2 Ejemplo de huella hídrica de un país



Fuente Timm Kekeritz, 2007.

Si un país exportara un producto que exigiera mucha agua virtual para su producción sería equivalente a que estuviera exportando agua, pues de este modo el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener ese producto, y podría dedicarla a otros fines. De este modo, estos países podrían destinar sus limitados recursos hídricos a otros fines, como pueden ser el turismo, la industria, el abastecimiento urbano o la producción de cosechas de alto valor (Llamas, 2005).

La huella hídrica de una nación puede ser evaluada en dos maneras. Por una parte, el enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up), que consiste en considerar la suma de todos los bienes y servicios consumidos, multiplicado con sus respectivos contenidos de agua virtual, donde el contenido de agua virtual de un bien variará en función del lugar y las condiciones de producción. Por otra parte, el enfoque de arriba hacia abajo (top-down), que es el más utilizado, en el que la huella hídrica de una nación se calcula como el total de los recursos hídricos nacionales utilizados más el flujo de agua virtual que entra en el país menos los flujos de agua virtual que salen del país (Chapagain y Hoekstra, 2004). En este sentido, es importante precisar que el uso total de agua verde y azul que se utiliza en una determinada región por un grupo no es la medida correcta de los recursos hídricos que utiliza ese colectivo. Si hay importación de agua virtual en productos agrarios o industriales esa cantidad debe ser añadida.

Tabla 1 CANTIDADES DE AGUA (LITROS) PARA ALGUNOS BIENES

| Productos | Contenido en agua virtual (litros) |
|------------------------|------------------------------------|
| cerveza (250 ml) | 75 |
| leche (200 ml) | 200 |
| café (125 ml) | 140 |
| té (250 ml) | 35 |
| pan (30g) | 40 |
| patata (100g) | 25 |
| manzana (100 g) | 70 |
| vino (125 ml) | 120 |
| huevo (40g) | 135 |
| zum de naranja (200ml) | 170 |
| hamburguesa (150 g) | 2400 |
| tomate (70 g) | 13 |
| naranja (100g) | 50 |
| zapatos de cuero | 8000 |
| microchip (2 g) | 32 |

Fuente A partir de Chapagain y Hoekstra, 2004.

6.2. Metodología

6.2.1. La huella hídrica nacional

La huella hídrica nacional (WFP, en sus siglas en inglés) tiene dos componentes (Chapagain y Hoekstra, 2004):

$$WFP = IWFP + EWFP$$

La huella hídrica interna (*internal water footprint – IWFP en sus siglas en inglés*) se define como el uso de los recursos hídricos nacionales para producir bienes y servicios consumidos por los habitantes del país. Concretamente, es la suma del volumen total de agua utilizado a partir de los recursos hídricos nacionales menos el volumen de agua virtual utilizado para la producción de bienes destinados a la exportación (VWE_{dom}), que sería:

$$IWFP = AWU + IWW + DWW - VWE_{dom}$$

Los tres primeros componentes representan el volumen total de agua utilizada en la economía nacional: AWU (en sus siglas en inglés) representa la componente del uso agrícola del agua, considerada igual a la demanda de agua por evaporación de los cultivos, y la IWW y DWW (siempre en sus siglas en inglés) son la componente de agua consumida por el sector industrial y el sector doméstico, respectivamente. La parte relacionada con el uso agrícola del agua incluye tanto la lluvia efectiva (la parte de la precipitación total que está disponible para su uso por parte de los cultivos) como la parte del agua de riego utilizada para la producción de cultivos. No se incluyen las pérdidas del riego.

El otro componente de la relación inicial, la huella hídrica externa de un país (*external water footprint EWFP*, en sus siglas en inglés) se define como el volumen anual de los recursos hídricos utilizados en otros países para producir bienes y servicios

consumidos por los habitantes del país estudiado. En otros términos, es igual a la llamada importación nacional de agua virtual (VWI) menos el volumen de agua virtual exportada a otros países como resultado de la re-exportación de productos importados ($VWE_{re-export}$).

Con el fin de hacer comparaciones entre países, es útil calcular la huella de agua *per capita* por país (WFP_{pc}):

$$WFP_{pc} = \frac{WFP}{\text{total población}}$$

6.2.2. El agua virtual

En cuanto a la metodología utilizada para el cálculo del agua virtual contenida en un producto, se tendrá en cuenta el trabajo de Chapagain y Hoekstra (2004). Como ejemplo aquí se incluye el cálculo del contenido de agua virtual en cultivos y animales, reenviando al texto citado para mayor profundización y para otros flujos.

El contenido de agua virtual de un cultivo en un país se calcula como la relación entre el total de agua utilizada para la producción de cultivos y la producción total del mismo cultivo. Así:

$$WWC[c] = \frac{CWU[c]}{\text{Producción}[c]}$$

donde CWU [c] es el volumen del uso del agua en las explotaciones agrícolas para la producción de cultivos en el país y Producción [c], el peso del cultivo producido por año en el país.

En lo que se refiere al contenido de agua virtual de un animal al final de su vida útil, éste se define como el volumen total de agua que ha sido utilizada para el cultivo de la comida y el proceso de su alimentación, así como para beber, limpiar su hogar y otros servicios ligados. Todas estas variables dependen de la raza del animal, el sistema agrícola, el consumo de alimento y las condiciones climáticas del lugar donde el alimento ha sido cultivado.

Por tanto, el cálculo del agua virtual (VWC) de un animal se hace siguiendo la siguiente ecuación:

$$VWC [a] = VWC_{comida} [a] + VWC_{bebida} [a] + VWC_{serv} [a]$$

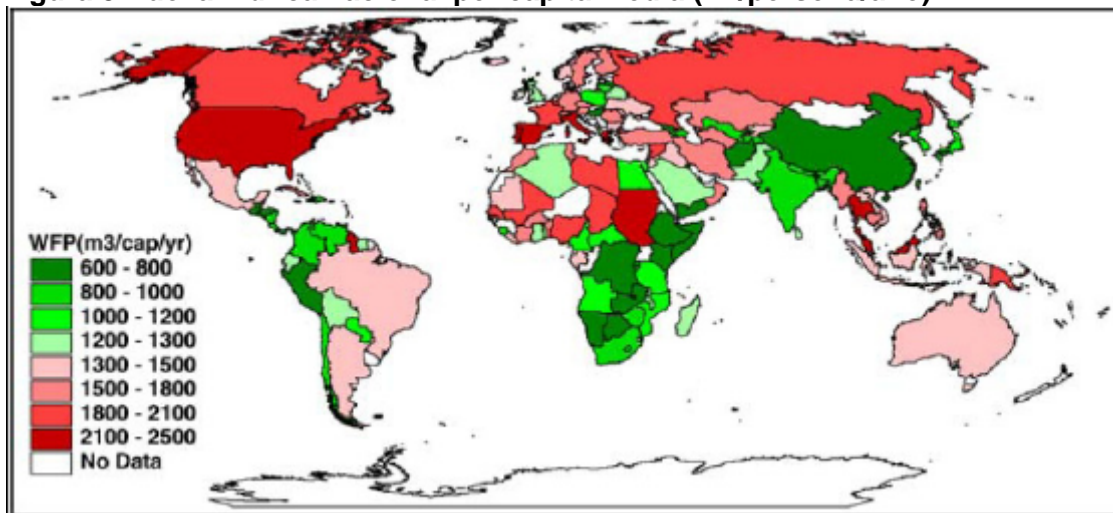
donde $VWC_{comida} [a]$, $VWC_{bebida} [a]$ y $VWC_{serv} [a]$ representan los tres componentes del agua virtual ya indicados, respectivamente. Cada una de las variables tiene un proceso de cálculo descrito pormenorizadamente en Chapagain y Hoekstra (2004).

6.3. La huella hídrica de los países: el caso de España en el panorama internacional

La huella hídrica mundial es 7450 Gm³/año, que corresponde a 1240 m³/persona/año. En términos absolutos, India es el país con la mayor huella en el mundo, con una huella total de 987 Gm³/año. Sin embargo, mientras que la India representa un 17% de la población mundial, su población contribuye con sólo un 13% a la huella hídrica

global. Así, si comparamos el consumo *per capita*, son los EE.UU. los que tienen la mayor huella hídrica, con 2480 m³/año *per capita*, seguido por países del sur de Europa como Grecia, Italia y España (entre 2300-2400 m³/año *per capita*). Altas huellas hídricas pueden encontrarse también en Malasia y Tailandia. Al otro lado de la escala, China tiene un nivel relativamente bajo de la huella con un promedio de 700 m³/año *per capita*. Ver Tabla 2 y Figura 3.

Figura 3 Huella hídrica nacional per capita media (m³/persona/año)



Fuente: Hoekstra y Chapagain, 2007.

Como principales factores que determinan e influyen en la huella hídrica de un país cabe mencionar los siguientes:

- Renta nacional bruta por país (esto explica en parte las altas huellas de agua, por ejemplo, en los EE.UU., Italia y Suiza).
- Hábitos de consumo de los habitantes del país (este factor explica en parte las altas huellas de agua en países como EE.UU., Canadá, Francia, España, Portugal, Italia y Grecia.).
- El clima y, en particular, la evaporación potencial (este factor explica en parte las altas huellas de agua en países como Senegal, Malí, Sudán, Chad, Nigeria y Siria).
- Prácticas agrícolas. Según los estudios sobre consumos hídricos a nivel mundial llevados a cabo por la FAO (2003) es la agricultura la que absorbe la mayor parte de los recursos hídricos disponibles. Se calcula que a nivel mundial, alrededor del 70 % del agua que se obtiene de los ríos, lagos y acuíferos se destina a regadíos. Actualmente entre el 30-40% de los productos agrícolas disponibles en el mundo se obtienen de la superficie agrícola en regadío, que supone alrededor de un 16 % del total agrícola.

Tabla 2 Componentes de la huella hídrica nacional para algunos países

| Países | Población | Uso de recursos acuáticos internos | | | | | Uso de recursos acuáticos externos | | | | Huella hídrica por categoría de consumo | | | | | |
|----------------------|------------|--|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|---|------------------------|---|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Consumo doméstico de agua (Gm ³ /año) | Evapotranspiración cultivo | | Consumo industrial Agua | | Por consumo nacional | | | Huella hídrica | | Huella hídrica interna (m ³ /pers./año) | Bienes agrícolas | | Bienes industriales | |
| | | | Por consumo nacional | Por exportaciones | Por consumo nacional | Por exportaciones | Bienes agrícolas | Bienes industriales | Por exportación de productos importados | Total | Per capita | | Huella hídrica interna | Huella hídrica externa | Huella hídrica interna | Huella hídrica externa |
| | | | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | (Gm ³ /año) | | (m ³ /pers./año) | (m ³ /pers./año) | (m ³ /pers./año) | (m ³ /pers./año) |
| Australia | 19071705 | 6.51 | 14.03 | 68.67 | 1.229 | 0.12 | 0.78 | 4.02 | 4.21 | 26.56 | 393 | 341 | 736 | 41 | 64 | 211 |
| Bangladesh | 129942975 | 2.12 | 109.98 | 1.38 | 0.344 | 0.08 | 3.71 | 0.34 | 0.13 | 116.49 | 896 | 16 | 846 | 29 | 3 | 3 |
| Brasil | 169109675 | 11.76 | 195.29 | 61.01 | 8.666 | 1.63 | 14.76 | 3.11 | 5.20 | 233.59 | 1381 | 70 | 1155 | 87 | 51 | 18 |
| Canadá | 30649675 | 8.55 | 30.22 | 52.34 | 11.211 | 20.36 | 7.74 | 5.07 | 22.62 | 62.80 | 2049 | 279 | 986 | 252 | 366 | 166 |
| China | 1257521250 | 33.32 | 711.10 | 21.558 | 1.531 | 45.73 | 49.99 | 7.45 | 5.69 | 883.39 | 702 | 26 | 565 | 40 | 65 | 6 |
| Egipto | 63375735 | 4.16 | 45.78 | 1.55 | 6.423 | 0.66 | 12.49 | 0.64 | 0.49 | 69.50 | 1097 | 66 | 722 | 197 | 101 | 10 |
| Francia | 58775400 | 6.16 | 47.84 | 34.63 | 15.094 | 12.80 | 30.40 | 10.69 | 31.07 | 110.19 | 1875 | 105 | 814 | 517 | 257 | 182 |
| Alemania | 82169250 | 5.45 | 35.64 | 18.84 | 18.771 | 13.15 | 49.59 | 17.50 | 38.48 | 126.95 | 1545 | 66 | 434 | 604 | 228 | 213 |
| India | 1007369125 | 38.62 | 913.70 | 35.29 | 19.065 | 6.04 | 13.75 | 2.24 | 1.24 | 987.38 | 980 | 38 | 907 | 14 | 19 | 2 |
| Indonesia | 204920450 | 5.67 | 236.22 | 22.62 | 0.404 | 0.06 | 26.09 | 1.58 | 2.74 | 269.96 | 1317 | 28 | 1153 | 127 | 2 | 8 |
| Italia | 57718000 | 7.97 | 47.82 | 12.35 | 10.133 | 5.60 | 59.97 | 8.69 | 20.29 | 134.59 | 2332 | 138 | 829 | 1039 | 176 | 151 |
| Japón | 126741225 | 17.20 | 20.97 | 0.40 | 13.702 | 2.10 | 77.84 | 16.38 | 4.01 | 146.09 | 1153 | 136 | 165 | 614 | 108 | 129 |
| Jordania | 4813708 | 0.21 | 1.45 | 0.07 | 0.035 | 0.00 | 4.37 | 0.21 | 0.22 | 6.27 | 1303 | 44 | 301 | 908 | 7 | 43 |
| México | 97291745 | 13.55 | 81.48 | 12.26 | 2.998 | 1.13 | 35.09 | 7.05 | 7.94 | 140.16 | 1441 | 139 | 837 | 361 | 31 | 2 |
| Holanda | 15865250 | 0.44 | 0.50 | 2.51 | 2.562 | 2.20 | 9.30 | 6.61 | 52.84 | 19.40 | 1223 | 28 | 31 | 586 | 161 | 417 |
| Paquistán | 136475525 | 2.88 | 152.75 | 7.57 | 1.706 | 1.28 | 8.55 | 0.33 | 0.67 | 166.22 | 1218 | 21 | 1119 | 63 | 12 | 2 |
| Rusia | 145878750 | 14.34 | 201.26 | 8.96 | 13.251 | 34.83 | 41.33 | 0.80 | 3.94 | 270.98 | 1858 | 98 | 1380 | 283 | 91 | 5 |
| Sudáfrica | 42387403 | 2.43 | 27.32 | 6.05 | 1.123 | 0.40 | 7.18 | 1.42 | 2.10 | 39.47 | 931 | 57 | 644 | 169 | 26 | 33 |
| Tailandia | 60487800 | 1.83 | 120.17 | 38.49 | 1.239 | 0.55 | 8.73 | 2.49 | 3.90 | 134.46 | 2223 | 30 | 1987 | 144 | 20 | 41 |
| Reino Unido | 58669403 | 2.21 | 12.79 | 3.38 | 6.673 | 1.46 | 34.73 | 16.67 | 12.83 | 73.07 | 1245 | 38 | 218 | 592 | 114 | 284 |
| EE.UU. | 280343325 | 60.80 | 334.24 | 138.96 | 170.777 | 44.72 | 74.91 | 55.29 | 45.62 | 696.01 | 2483 | 217 | 1192 | 267 | 609 | 197 |
| Global total/mediana | 5994251631 | 344 | 5434 | 957 | 476 | 240 | 957 | 240 | 427 | 7452 | 1243 | 57 | 907 | 160 | 79 | 40 |

Fuente: Hoekstra y Chapagain ,2007.

En los países ricos, las personas generalmente consumen más bienes y servicios, que de inmediato se traducen en el aumento de huellas de agua. Pero no es sólo el volumen de consumo el que determina la demanda de agua de las personas sino también la composición de su consumo, porque algunos bienes requieren una gran cantidad de agua (la carne de vacuno, el arroz, por ejemplo). En muchos países pobres son una combinación de condiciones climáticas desfavorables (alta evaporación) y de malas prácticas agrícolas (con una baja productividad del agua) las que contribuyen a una elevada huella hídrica.

También la influencia relativa de los distintos factores varía de país a país. La huella hídrica de los EE.UU., por ejemplo, es alta (2480 m³/persona/año), sobre todo por el gran consumo de carne *per capita* y el alto consumo de los productos industriales. La huella hídrica de Irán es relativamente alta (1624 m³/persona/año) por los bajos rendimientos en la producción de cultivos y por la elevada evapotranspiración.

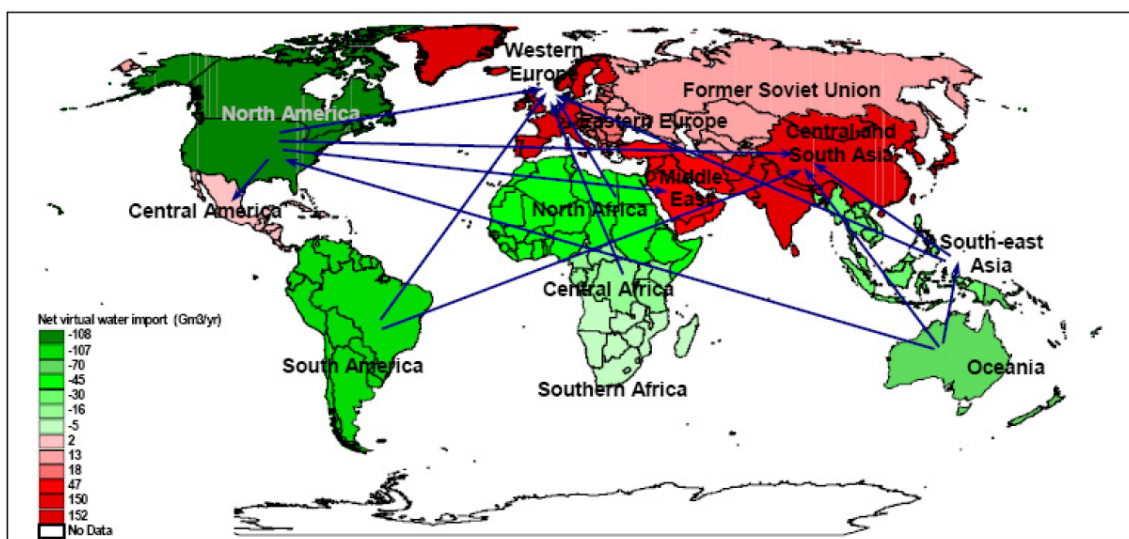
Otro elemento que hay que considerar es la incidencia que, en la huella hídrica total, representa la huella externa que, a nivel agregado, constituyen el 16% del total mundial. Sin embargo, la parte externa de la huella hídrica varía fuertemente de un país a otro. Algunos países africanos, como Sudán, Malí, Nigeria, Etiopía, Malawi y Chad tienen apenas huella hídrica externa, simplemente porque tienen poca importación. Algunos países europeos, por otro lado, como por ejemplo, Italia, Alemania, el Reino Unido y los Países Bajos presentan huellas externas que constituyen un 50-80% del total de la huella hídrica. Por lo que se refiere a los productos agrícolas, los que más contribuyen a las huellas de agua externa de las naciones son: carne bovina, soja, trigo, cacao, arroz, algodón y maíz (ver Tabla 3 y Figura 4).

Tabla 3 Principales países importadores y exportadores de agua virtual (97-01)

| Principales exportadores brutos | | Rango | Principales importadores brutos | |
|---------------------------------|--|-------|---------------------------------|--|
| Países | Exportación bruta (Gm ³ /año) | | Países | Exportación bruta (Gm ³ /año) |
| EE.UU. | 229.3 | 1 | EE.UU. | 175.8 |
| Canadá | 95.3 | 2 | Alemania | 105.6 |
| Francia | 78.5 | 3 | Japón | 98.2 |
| Australia | 73.0 | 4 | Italia | 89.0 |
| China | 73.0 | 5 | Francia | 72.2 |
| Alemania | 70.5 | 6 | Holanda | 68.8 |
| Brasil | 67.8 | 7 | Reino Unido | 64.2 |
| Holanda | 57.6 | 8 | China | 63.1 |
| Argentina | 50.6 | 9 | México | 50.1 |
| Rusia | 47.7 | 10 | Bélgica-Luxemburgo | 47.1 |
| Tailandia | 42.9 | 11 | Rusia | 46.1 |
| India | 42.6 | 12 | España | 45.0 |
| Bélgica-Luxemburgo | 42.2 | 13 | Korea | 39.2 |
| Italia | 38.2 | 14 | Canadá | 35.4 |
| Costa de Marfil | 35.1 | 15 | Indonesia | 30.4 |

Fuente: Chapagain y Hoekstra, 2004.

Figura 4 Flujos de agua virtual en relación al comercio de productos agrícolas



Fuente: Chapagain y Hoekstra , 2004.

Por lo que se refiere a España (Tabla 4) los datos muestran que las necesidades de agua total (verde y azul) en el país son del orden de 100 km³/año, que se reparten del modo aproximado en: un 5% para abastecimiento urbano y doméstico; un 80% para producción de alimentos (de éstos 2/3 son con agua nacional y 1/3 con agua virtual importada); un 15% que se utiliza para productos industriales (de estos algo más de la mitad corresponden a importaciones, es decir, es agua virtual importada). Estos valores no están en contradicción con los valores de usos de agua azul (superficial y subterránea) que figuran en el Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000), en lo que se refiere a los usos urbanos e industriales. Sin embargo, es significativo hacer notar que el Libro Blanco estima que el agua (azul) para usos agrícolas es solamente de unos 25 km³/año, cuando Chapagain y Hoekstra (2004) hablan de 51 y 17 km³/año destinados respectivamente a la producción nacional y a la exportación. Esto se debe, probablemente, a que el Libro Blanco no tiene en cuenta el agua verde (agricultura de secano, pastos naturales, producción de los bosques, etc.). Estas cifras ponen de manifiesto de modo muy claro la importancia que en la política del agua de España, y de cualquier país árido o semiárido, tiene el sector agrícola. Esto tanto para la producción nacional de alimentos como para la exportación e importación (Llamas, 2005).

Tabla 4 Flujos de agua y huella hídrica: valores comparativos entre países

| Valores de los flujos de agua y de la huella hidrológica en España, Italia, EE.UU. y la India (período 1997-2001) | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| | España | Italia | EE.UU. | India |
| Población (10 ⁶) | 40,5 | 57,7 | 280,3 | 1.007,4 |
| Abastecimiento urbano | | | | |
| km ³ /año | 4,2 | 8,0 | 60,8 | 38,6 |
| m ³ /cáp./año | 105,0 | 136,0 | 217,0 | 38,0 |
| Evapotranspiración cosechas | | | | |
| Consumo nacional (km ³ /año) | 50,6 | 47,8 | 334,2 | 913,7 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 1.251,0 | 829,0 | 1.192,0 | 907,0 |
| Para exportación (km ³ /año) (*) | 17,4 | 12,4 | 139,0 | 35,3 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 430,0 | 214,0 | 495,0 | 35,0 |
| Usos industriales | | | | |
| Consumo nacional (km ³ /año) | 5,6 | 10,1 | 170,8 | 19,1 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 138,0 | 176,0 | 609,0 | 14,0 |
| Para exportación (km ³ /año) (*) | 1,7 | 5,6 | 44,7 | 19,1 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 42,0 | 97,0 | 159,0 | 6,0 |
| Agua virtual importada | | | | |
| a) p. Agrícola (km ³ /año) | 27,1 | 60,0 | 74,9 | 13,8 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 671,0 | 1.039,0 | 267,0 | 14,0 |
| b) p. industriales (km ³ /año) | 6,5 | 8,7 | 56,3 | 2,2 |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 1.605,0 | 150,8 | 208,9 | 21,8 |
| Re-exportación de p. importados (*) | | | | |
| Ídem (m ³ /cáp./año) | 11,4 | 20,3 | 45,6 | 1,2 |
| | 281,0 | 351,0 | 163,0 | 1,0 |
| HUELLA HIDROLÓGICA TOTAL | | | | |
| km ³ /año | 94,0 | 134,6 | 896,0 | 987,4 |
| m ³ /cáp./año | 2.300,0 | 2.300,0 | 2.500,0 | 980,0 |

Fuente Llamas, 2005.

Aunque no se incluya en la huella hídrica española, es significativo tener en cuenta que España importa en total 45 km³/año y exporta 31 km³/año, es decir, tiene un balance negativo de 14 km³/año. A título comparativo, según Chapagain & Hoekstra (2004), Japón es el país con mayor déficit de agua virtual (90 km³/año) y Australia el que tiene un balance más excedentario (64 km³/año). De modo más específico, en España se utilizan algo más de 17 km³/año para producir productos agrícolas que se exportan, es decir, no constituyen una necesidad estricta alimenticia para España, aunque sí tienen una notable importancia en la economía nacional. El agua virtual correspondiente a los alimentos importados es del orden de 27 km³/año, es decir, superior al agua virtual exportada por el mismo concepto. Ahora bien, es muy probable que el valor económico de los productos agrícolas exportados - tales como cítricos, hortalizas, aceite de oliva, etc. - sea superior al de los productos agrícolas importados - soja, maíz, etc.- (Llamas, 2005).

En este sentido, cabe señalar que sobre un nivel elevado de huella hídrica se puede actuar de varias maneras. Una primera manera es romper el vínculo aparentemente obvio entre el crecimiento económico y el aumento de la utilización del agua, por ejemplo, a través de la adopción de técnicas de producción que requieren menos agua por unidad de producto. La productividad del agua en la agricultura se puede mejorar mediante la aplicación de técnicas avanzadas de captación de agua de lluvia y riego suplementario. Una segunda, y siempre más importante forma de reducir la huella de agua, sería la de

actuar sobre los patrones de consumo reduciendo, por ejemplo, el consumo de productos que requieran mucha agua, como la carne.

6.3.1. Incipientes trabajos en España a diferentes escalas

Para el conjunto de España, algunos grupos de investigación relacionados con el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), de la Universidad Politécnica de Madrid, están trabajando en estimaciones nacionales. Cabe señalar en este sentido un trabajo de Roberto Rodríguez del 2008 “La huella hidrológica de la agricultura española”. ETSIA, UPM. Se trata de un trabajo de fin de carrera, dirigido por Consuelo Varela.

Desde el punto de vista del comercio de agua virtual español, señalar el interesante artículo “El comercio de agua virtual: hacia la sostenibilidad de la política agrícola común” por Teresa Elola Calderón, de la Universidad de Lieja, Bélgica.

Para Andalucía, Esther Velázquez en el 2007 escribió el artículo “Water trade in Andalusia. Virtual water. An alternative way to manage water use”, disponible en la revista *Ecological Economics*, 63, pp. 201-208. Junto a Cristina Madrid, esta autora ha escrito en el 2008 el artículo “El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España)”, disponible en la Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 8, pp 29-47.

Muy reciente, se está ultimando la publicación de un estudio para la Comunidad de Madrid, realizado por parte de J.M. Naredo, O. Carpintero, J. Frías, y J.M. Gascó, titulado “El agua virtual y la huella hidrológica de la Comunidad de Madrid”, pendiente de ser publicado en Cuadernos de I+D+i, nº 5, del Canal de Isabel II. En este estudio, por primera vez, se incorpora todo el comercio exterior madrileño (internacional e interregional), así como los flujos de agua virtual asociados.

6.4. Conclusiones

La evaluación actual de la huella hídrica de las naciones conlleva una serie de deficiencias, a pesar de una serie de mejoras se han llevado a cabo si se compara con anteriores evaluaciones (Hoekstra and Hung, 2002; Chapagain and Hoekstra, 2003).

Una primera deficiencia importante es que las estimaciones de contenido de agua virtual de cultivos se basan en las necesidades de agua de cultivos, lo que conduce a una sobreestimación en los casos en que la disponibilidad real de agua es inferior a cuanto requerido por parte del cultivo.

Otro aspecto importante para la mejora futura de estos estudios se refiere al tema de la inclusión o exclusión de las pérdidas de riego en la definición de huella hídrica. Los datos sobre las pérdidas de riego no son específicos por cultivo, y eso seguramente constituye un problema a la hora de hacer el cálculo. Así que si por una parte se podría afirmar que no es del todo erróneo excluir a las pérdidas de riego, ya que estas en gran medida retornan al sistema de nuevo, por la otra, existen contra-argumentos en favor de la inclusión de las pérdidas relacionados con el hecho de que una fracción del total de las pérdidas realmente se pierde para su posterior utilización a través de la evaporación, y

que las corrientes de retorno son a menudo contaminadas y no pueden ser reutilizadas sin tratamiento de dilución.

Otra deficiencia en la evaluación actual de las huellas del agua es que está centrada en expresar el impacto de las actividades humanas en el uso cuantitativo de los recursos hídricos. Así cabría ampliar la definición de huella hídrica con el fin de incluir los impactos de las actividades humanas también sobre la calidad del agua. Hasta ahora, por ejemplo, el efecto de la contaminación del agua se contabiliza en una medida limitada mediante y sólo con la consideración de las aguas residuales de los hogares y el sector industrial.

Para concluir, el reto es comenzar a utilizar el concepto de huella hídrica como una herramienta práctica para analizar cómo los patrones de consumo afectan al uso del agua, cómo los futuros cambios en las pautas de consumo podrían tener un impacto sobre el agua, no sólo cuantitativamente sino también cualitativamente, cómo los países puedan externalizar su huella hídrica con el fin de reducir la presión sobre los recursos hídricos nacionales y la forma en que otros países puedan beneficiarse de su abundancia relativa de agua por la exportación de productos básicos ricos en agua. Considerando que hoy en día, el 16% del uso mundial del agua no está ligado al consumo interno sino a la exportación, y que este porcentaje señala una tendencia en aumento, sería importante que en el futuro nacional y regional, estudios sobre política del agua incluyesen también un análisis de los flujos de agua virtual a nivel internacional y/o interregional.

6.5. Bibliografía

Aguilera Klink [F. 2008](#). La nueva economía del agua. Colección Economía crítica y ecologismo social. La catarata y CIP-Ecosocial.

Allan, A. 2003. Virtual Water- the water, food, and trade nexus useful concept or misleading metaphor. *Water International*, 28 (1): 4-11.

Brichieri-Colombi, J. S. 2004. Hydrocentricity: A limited Approach to achieving food and water Security. *Water International*, 29(3): 318-328.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2004. Water footprints of nations. Values of Water- Research Report Series No. 16, UNESCO- IHE.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of Water Research Report Series No. 13, UNESCO-IHE.

FAO-AQUASTAT. 2003. Base de datos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (<ftp://ftp.fao.org/ag/aglw/aquastat/aquastat2003.xls>).

Hoekstra, A.Y. 2008. Water neutral: reducing and offsetting the impacts of waterfootprints. Values of Water- Research Report Series No. 28, UNESCO- IHE.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21(1): 35-48.

Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q. 2002. Virtual Water Trade: A quantification of virtual Water Flows between nations in relation to international food trade, Value of Water Research Report Series, N°. 11, UNESCO-IHE.

[Llamas, M.R. 2005. Los Colores del Agua: El Agua Virtual y los Conflictos Hídricos. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 99\(2\): 369-389.](#)

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). 2000. Libro Blanco del Agua en España.

Timm Kekeritz. 2007. The Virtual Water Poster, basado en Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004): <http://www.traumkrieger.de/virtualwater/>.

Recursos Electronicos:

<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>

<http://www.fao.org/nr/water/promotional.html>

<http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=1&L=0>

<http://www.wem.ctw.utwente.nl/organisatie/medewerkers/medewerkers/hoekstra/Arjen%20Hoekstra/>

http://hispagua.cedex.es/documentacion/especiales/especial_huella_hidrica/introduccion.htm

7. CONCLUSIONES

En la actualidad y “grosso modo” las necesidades de agua en España son del orden de 33.000 millones de metros cúbicos de los cuales 27.000 son para regadío, 5.000 para abastecimiento urbano y 1.000 para la industria.

Tras hacer un repaso a la aplicación de las diferentes técnicas de modernización existentes para el ahorro del recurso agua se constata que existe tecnología suficiente y por tanto factible para ahorrar en un plazo razonable 2.700 millones de metros cúbicos al año en la agricultura, 1.000 en el abastecimiento urbano y 300 en la industria, es decir, 4.000 millones de metros cúbicos al año con lo que nuestras necesidades serían de 29.000 millones de metros cúbicos al año.

Además, se podrían disponer de 1.000 millones más procedentes de la reutilización de las aguas residuales urbanas y otros 1.000 mediante procesos de desalación, es decir, se podrían aportar 2.000 millones de metros cúbicos al año más.

Ahora bien para que lo anterior se pueda llevar a término se deben dar una serie de condiciones de orden social visto que desde el punto de vista técnico es factible.

De ahí que se planteen varias reflexiones:

1º) El recurso agua, cada vez más escaso y sometido a mayores presiones de todo tipo (políticas, las derivadas del cambio climático, la contaminación, etc.) necesita de una política de ESTADO, al margen de coyunturas y vaivenes, en la que se alcancen acuerdos políticos a largo plazo.

2º) En la consecución de estos acuerdos se debe prescindir de fundamentalismos y de prejuicios previos, no debiéndose descartar a priori ninguna alternativa que permita contribuir a la solución de los problemas.

Problemas que se pueden resolver con el esfuerzo y trabajo de todas las partes implicadas utilizando las mejores tecnologías que, como han relatado los expertos del Grupo de Trabajo “Nuevas fuentes de agua”, existen en España.