

APLICABILIDAD DE AGUAS REGENERADAS EN UNA ZONA COSTERA DE ALTA PLUVIOSIDAD

Javier Temprano González, Sandra García Montes, Begoña Suárez Sánchez, José Luis Gil Díaz e Iñaki Tejero Monzón

Resumen:

Al inicio de las obras de ampliación de la red de saneamiento de Santander se planteó la posibilidad del empleo de aguas regeneradas en el entorno de dicha ciudad. La principal novedad con respecto a otras iniciativas similares españolas consiste en el hecho de que la precipitación media anual en Santander es de dos o tres veces superior a la de las zonas en donde se emplean aguas regeneradas en España. A esto hay que añadir el hecho de que se trata de una zona costera, con menor exigencia de tratamiento de vertidos de aguas residuales que las generadas en el interior. Para evaluar la viabilidad del proyecto se siguieron cuatro etapas: determinación de usos, establecimiento de la calidad necesaria de las aguas a regenerar, tratamiento para alcanzar dicha calidad y estimación de costos. Como resultado de estas fases se determinó que el principal uso de las aguas regeneradas sería el industrial. Para el análisis de costos se comparó la regeneración con la construcción de una presa. Como conclusión cabe reseñar el ahorro de 120 L/s de agua potable que podría obtenerse en el caso de usar aguas regeneradas; por otra parte podrían llegar a emplearse 40 L/s de agua regenerada en el riego. A corto plazo el uso de aguas regeneradas permitiría el ahorro de agua potable pero no es una solución para garantizar, a largo plazo, el abastecimiento de agua potable a Santander.

Palabras clave: Regeneración, reutilización, aguas residuales, alta pluviosidad, EDAR alta carga.

INTRODUCCIÓN

Según Mujeriego (1996), la reutilización planificada de agua residual se puede definir como: “El aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte hasta el punto de uso a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua”.

Tras un tratamiento adecuado, las aguas residuales pueden emplearse en usos como el riego de cultivos y jardines, actividades recreativas, aplicaciones industriales y recarga de acuíferos. Las aguas residuales tratadas para satisfacer las anteriores demandas se denominan aguas regeneradas.

En zonas con insuficiente abastecimiento de aguas potables, el empleo de aguas regeneradas es una forma de ahorrar agua. Por otra parte, el hecho

de no verter al medio receptor una cierta cantidad de agua residual supone una mejora en la calidad de dichos medios.

El agua potable de la red de abastecimiento se emplea para diferentes usos. Son destacables los siguientes:

- Doméstico. Precisa de las máximas garantías sanitarias.
- Industrial. Es muy variable y depende del tipo de industria. En el caso de estar relacionada, por ejemplo, con la elaboración de alimentos también deberá emplearse agua potable, pero si esa agua es para la refrigeración de algún proceso industrial, no sería necesaria tal calidad.
- Riego agrícola o de espacios verdes. No es necesario emplear agua potable.

Universidad de Cantabria. Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. E. U. I. T. de Minas-Ingeniería Ambiental de Torrelavega. Tanos, 254, E-39316. España.

Artículo recibido el 30 de agosto de 2000, recibido en forma revisada el 17 de octubre de 2001 y 10 de abril de 2002 y aceptado para su publicación el 16 de noviembre de 2002. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las “Instrucciones para autores”. En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

Por tanto, existen varios usos que no precisan una calidad del agua tan elevada como la destinada al uso doméstico. Además, muchos de estos usos demandan un gran volumen de agua. Ante esta situación surge la posibilidad de que el agua usada que llega a la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) sea tratada hasta un grado que permita su posterior empleo en aquellos usos que no precisan la más alta calidad. En definitiva, mediante una adecuada regeneración de las aguas cada usuario podrá emplear aquella que se adapte a sus necesidades, originando un ahorro para él y un ahorro de agua en origen.

Sin embargo, la reutilización tiene un costo. El efluente de un tratamiento secundario de una EDAR convencional no está, en general, suficientemente depurado como para ser aplicado a los usos que implican un cierto contacto entre personas y agua. Es preciso, por tanto, recurrir a tratamientos avanzados que permitan alcanzar los niveles de depuración adecuados. Esto supone un incremento de los costos de inversión y explotación del sistema global de depuración. Además, el agua regenerada suele ser almacenada para adecuarse a las variaciones de consumo y transportada hasta el usuario, lo que implica la construcción de una red específica de suministro de esas aguas.

Coincidiendo con la mejora de la red de saneamiento de la ciudad de Santander (España), la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Regional de Cantabria propuso al Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria un estudio sobre la aplicabilidad de la reutilización de aguas residuales (Temprano et al., 1998) en el ámbito de influencia de dicha obra: la ciudad de Santander y el arco occidental de la bahía. Las obras de mejora de la red de saneamiento consisten, básicamente, en la construcción de un colector interceptor, de varios depósitos de tormenta, de estaciones de bombeo, la ampliación de la actual EDAR y la construcción de un emisario submarino que llevará el efluente al mar Cantábrico, fuera de la bahía de Santander.

En España existen varias infraestructuras dedicadas a la regeneración de agua residual urbana. La mayoría de estas instalaciones se sitúan en la zona costera mediterránea, por ejemplo, en la Costa del Sol (Sierra y Peñalver, 1989), Mazarrón (Griñán y Guardino, 1997), Campo de Dalías (Fariñas, 1997), campo de golf de Mas Nou (Mujeriego y Sala, 1991); aunque también existen en el interior de la península, por ejemplo, en Vitoria (López et al., 1997) y Puertollano (Brieva y Monteoliva, 1997); y

en el valle de San Lorenzo, en el archipiélago canario (Aguiar y Marrero, 1996) y Plá de Sant Jordi, en el balear (Terrasa, 1995). Catalinas y Ortega (1999) hicieron una recopilación de infraestructuras dedicadas a la reutilización en España. Por el contrario, en la cornisa norte no conocemos obras de este tipo aunque existe un estudio sobre la capacidad de la EDAR del Alto Ibaizabal (Koldo, 1992), situada en el País Vasco, para la regeneración de aguas para uso industrial y de regadío.

La precipitación media anual, en Santander, es de 1268 mm (MOPTMA, 1995), siendo este volumen de lluvia frecuente en la zona norte. Esta cifra es bastante superior a las que se obtienen en el resto de la península (Madrid 456 mm, Alicante 357 mm, Valencia 464 mm, Gerona 746 mm, Salamanca 591 mm, por citar algunos ejemplos). Santander no tiene escasez de recursos de agua excepto en los meses más calurosos de los veranos de algunos años especialmente secos. La ciudad se abastece de las captaciones sin regulación existentes en el río Pas y de varios pozos.

En los países del norte de Europa, en los que el agua es abundante, la reutilización directa no se plantea. Si acaso, algunas industrias, debido al alto costo del agua, han mejorado sus procesos de recirculación de agua y de refrigeración. En otros países con altas precipitaciones como Irlanda o Suiza la reutilización no es una alternativa considerada. En Alemania, Holanda o el Reino Unido hay ciertas aplicaciones como la recarga de acuíferos, el riego de campos de golf o la refrigeración industrial pero, globalmente, representan un pequeño porcentaje de sus recursos hídricos (Angelakis y Bontoux, 2001).

Con objeto de conseguir un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles surge la pregunta de si sería rentable reutilizar agua residual en una zona húmeda como Santander. Para responder a este interrogante se planteó el presente estudio que se dividió en las fases siguientes:

1. Determinación de los posibles usuarios de agua regenerada.
2. Recopilación de las principales normativas existentes sobre reutilización de agua.
3. Definición del grado necesario de tratamiento de las aguas residuales.
4. Estimación de los costos del agua regenerada.

POSIBLES USUARIOS DE AGUA REGENERADA

La instalación de una red de suministro de agua residual regenerada que conduzca las aguas ya depuradas desde la EDAR hasta los pequeños usuarios urbanos supone unos costes sólo justificables ante una demanda suficiente, preferentemente agrupada en grandes consumidores, puesto que el establecimiento de una nueva red de distribución paralela a la ya existente de abastecimiento sería económicamente muy costoso. Este es el motivo por el que en una zona de elevada pluviosidad como el entorno de la bahía de Santander no tenga sentido la consideración de posibles usos agrícolas o domésticos que requieran de una red de conducciones muy densa y ramificada. Los campos de aplicabilidad de agua regenerada considerados en esta zona fueron los siguientes.

Uso industrial: Es el que mejor responde a las exigencias básicas que impone la reutilización de aguas en el entorno de la bahía, ya que es el que presenta la mayor demanda estimada, organizada espacialmente en grupos de grandes consumidores (polígonos industriales) y con unas exigencias de calidad que, si bien varían con el tipo de actividad y proceso considerado, permanecen en muchos casos por debajo de los niveles exigidos para el consumo doméstico. En este estudio se realizaron encuestas a ciertas industrias que por su consumo de agua, su ocupación y su situación geográfica pudieran en un futuro contemplar la alternativa del uso de aguas regeneradas en sus circuitos de producción

Uso recreativo-paisajístico: Se refiere este uso al empleo de agua regenerada para abastecer nuevos estanques ornamentales o a la sustitución del suministro de otros existentes, a láminas de agua en parques naturales, zonas de interés paisajístico y áreas degradadas cuya remodelación se contemple en el planeamiento urbanístico actual, prestando especial atención a las previsiones del Plan General de Ordenación Urbana de Santander.

Riego: A pesar de la elevada pluviometría característica de los municipios que conforman el entorno de la Bahía de Santander, en los meses estivales se registra un déficit de agua de lluvia en los parques y jardines públicos que se cubre en la actualidad mediante riego con aguas potables procedentes de la red de abastecimiento municipal. La coincidencia de esta demanda extraordinaria con el período de mayor escasez del recurso hace posible sustituir estas aguas por otras regeneradas que cumplan con los criterios de calidad exigibles para el agua de riego.

Otros usos: Las aguas regeneradas permitirían satisfacer pequeñas demandas de agua como la de la propia EDAR, así como la correspondiente a la limpieza viaria realizada con la ayuda de camiones cisterna.

Por otra parte, la satisfacción simultánea de todos estos usos obliga a la construcción de estanques o depósitos reguladores en lugares estratégicos que, además de albergar las reservas de agua para riego y usos recreativos, aseguren la continuidad de la aportación de agua regenerada a las industrias, incluso durante las demandas punta, y constituyan las posibles cabeceras de futuros ramales secundarios de conducción de agua residual regenerada a nuevos usuarios. La Tabla 1 muestra los caudales de agua que podrían ser reutilizados en los diferentes usos existentes en el área de estudio.

NORMATIVA EXISTENTE

Numerosos países disponen de normativa sobre la aplicación de agua regenerada: Argentina, Brasil, Chile, Chipre, India, Israel, Japón, Kuwait, México, China, Perú, Africa del Sur, Arabia Saudí, Singapur, Omán, Túnez, Emiratos Árabes Unidos y EE. UU (EPA, 1992; Angelakis et al, 1999; Angelakis y Bontoux, 2001; Abu-Rizaiza, 1999; Hussain y Al-Saati, 1999; Peng et al, 1995; Chang et al, 1996). Varias comunidades autónomas españolas

Tabla 1.- Caudales totales de agua residual susceptibles de ser reutilizados en Santander.

Uso	Caudal a regenerar (L/s)
Riego de zonas verdes y limpieza viaria	5
Uso interno de la EDAR	5
Creación de láminas de agua	30
Reutilización industrial	120
TOTAL	160

disponen de normativa sobre el agua regenerada, como Baleares, Andalucía y Cataluña (Salgot y Pascual, 1996); además existe un proyecto de Real Decreto (González y Hontoria, 2001) por el que se establecen las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales depuradas. Por otra parte, Martín (1996) propone pautas para el diseño de la legislación sobre aguas regeneradas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) también tiene unas directrices sobre este uso del agua (OMS, 1989). Estas recomendaciones junto con las directrices de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA, 1992), y las del

Estado de California (1978) son las más referenciadas internacionalmente. Angelakis et al. (1999) recopilan las diferentes normativas existentes en el entorno mediterráneo. La Tabla 2 muestra un resumen de los diferentes parámetros analíticos utilizados en las legislaciones consideradas en este estudio, en función del uso al que se destinan las aguas regeneradas. El proyecto de Real Decreto (González y Hontoria, 2001) establece la posibilidad del empleo de agua regenerada en el ámbito domiciliario (riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, calefacción, etc.)

Tabla 2.- Requisitos y tratamientos propuestos según los usos a los que se destine el agua regenerada .

NORMATIVA O RECOMEN- DACIONES		RIEGO DE ZONAS VERDES		ESTANQUES		REUTILIZACIÓN INDUSTRIAL
		Contacto directo	Acceso restringido	Recreativo (Contacto directo)	Ornamental (Cont. restringido)	Refrigeración
P. R. Decreto González y Hontoria (2001)	Requisitos	Huevos de Nematodos intestinales < 1/L SS < 20 mg/L Turbidez < 5 NTU E.coli<200ufc/100mL	Huevos de Nematodos intestinales < 1/L SS < 35 mg/L	No se permite el baño. Huevos de Nematodos intestinales < 1/L SS < 35 mg/L E.coli<200ufc/100mL	Se impide el contacto. SS < 35 mg/L	No aplicable a la industria alimentaria SS < 35 mg/L E.coli<10000ufc /100mL Legionella pneumo- phila < 1 ufc/100 mL
EPA (1992)	Requisitos	pH=6-9 DBO ₅ ≤ 10 ppm Turbidez ≤ 2 NTU CF: No detectables/100mL Cl ₂ residual ≥ 1 ppm	pH=6-9 DBO ₅ ≤ 30 ppm SS ≤ 30 ppm CF ≤ 200 ufc/100 mL Cl ₂ residual ≥ 1 ppm	pH=6-9 DBO ₅ ≤ 10 ppm Turbidez ≤ 2 NTU CF: No detectables/100mL Cl ₂ residual ≥ 1 ppm	DBO ₅ ≤ 30 ppm SS ≤ 30 ppm CF ≤ 200 ufc/100mL Cl ₂ residual ≥ 1 ppm	Requisitos variables según grado de recirculación.
	Tratamientos	Secundario Filtración Desinfección	Secundario Desinfección	Secundario Filtración Desinfección	Secundario Desinfección	Secundario Desinfección Puede necesitar: Coagulación más Filtración
Estado de California (1978)	Requisitos	CT ≤ 2,2 ufc/100mL (máx. 23/100 mL)	CT ≤ 23 ufc/100 mL	CT ≤ 2,2 ufc/100 mL (máx. 23 ufc/100mL)	CT ≤ 2,2 ufc/100mL(**) CT ≤ 23 ufc/100 mL (***)	Uso no contemplado
	Tratamientos	Oxidación Coagulación Decantación Filtración (*) y Desinfección	Oxidación Desinfección	Oxidación Coagulación Decantación Filtración (*) y Desinfección	Oxidación Desinfección	

(*) Turbidez ≤ 2 NTU, como media durante un periodo de 24 horas; (**) Contacto restringido; (***) Uso ornamental sin contacto; E. coli= Escherichia coli; CF= Coliformes fecales; CT= Coliformes totales.

GRADO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Aunque en una misma zona el agua regenerada se aplique a diferentes usos y, por tanto, conlleve diferentes grados de tratamiento, es habitual que el tratamiento se adecue al uso más exigente y el mismo tipo de agua se emplee para todos los usos previstos. Esto facilita la explotación de la EDAR y reduce los costos de suministro al emplearse una única red de distribución de agua residual regenerada (Mujeriego, 1996).

Para la mayoría de los usos del agua regenerada, la EPA (1992) sugiere un tratamiento secundario seguido de filtración y desinfección (ver Tabla 2), si bien en algún caso se prescinde de la filtración. En cualquier caso, el tratamiento debe ser aquél que permita cumplir con los criterios de calidad expuestos en la normativa correspondiente. Sin embargo, el sistema de regeneración de agua no sólo necesita una EDAR con tratamiento avanzado, sino que se precisan controles e infraestructuras adicionales. La obtención de un agua de riego de zonas públicas, sin ninguna limitación en cuanto a exposición y contacto del público con el agua regenerada, de acuerdo con las directrices de la EPA (1992) requiere un sistema de regeneración con los siguientes componentes (Mujeriego, 1996):

1. Un control de vertidos a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan impedir la reutilización de agua regenerada.

2. Un tratamiento biológico secundario capaz de producir un efluente con un contenido de materia en suspensión inferior a 10-20 mg/L y valores similares de DBO₅.

3. Un tratamiento terciario destinado a eliminar la materia en suspensión del efluente secundario, mediante filtración directa, y una desinfección que consiga concentraciones no detectables de Coliformes fecales en el efluente.

4. Un depósito regulador de los caudales de agua regenerada, a fin de adecuar la producción de la planta a la demanda de uso y asegurar una cierta reserva de agua regenerada.

Si se establecieran distintos tratamientos para cada uso, habría que definir diferentes sistemas de distribución para cada uno de ellos, lo que aumentaría los costes de implantación y explotación hasta

valores excesivos, pudiendo hacer inviable el proyecto. Por este motivo el presente estudio adoptó un único tratamiento para todos los usos, coincidente con el propuesto por la EPA (1992) para riego con contacto directo; de esta manera se asegura la calidad de las aguas para el uso más exigente y se consigue una calidad más que suficiente para usos menos restrictivos, como la reutilización industrial. Ante la inexistencia de una normativa nacional se adoptó el tratamiento propuesto por la EPA (1992), ya que es más exigente que otras legislaciones, asegura un umbral superior de calidad y se viene aplicando con éxito en muchas zonas de Estados Unidos. No obstante, hay autores (Shuval y Fattal, 1999) cuya opinión es que el “riesgo cero” de las normas de la EPA no es justificable, ya que hay una amplia evidencia epidemiológica de que los tratamientos propuestos por la OMS proporcionan una protección de la salud a un costo aceptable.

El tratamiento terciario sugerido está compuesto por: coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección. La Tabla 3 resume los parámetros de calidad considerados para comprobar que las aguas regeneradas son óptimas para los usos previstos.

Tabla 3. Niveles de calidad adoptados para las aguas regeneradas en Santander.

Parámetro	Valor
pH	6-9
DBO ₅ (mg/L)	≤10
Turbidez (NTU)	≤ 2
Cl ₂ residual (mg/L)	≥ 1
Coliformes fecales/100 mL	No detectables

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Además de estimar los costos de inversión, explotación y mantenimiento de la regeneración del agua, se ha comparado esta alternativa con la hipótesis de construcción de una presa dedicada al abastecimiento y situada en el río Pas. Esta hipótesis se basa en el proyecto existente para la ampliación del abastecimiento de Santander. Esta comparación ha tenido en cuenta diferentes factores como: 1) la ampliación de la actual Estación de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) de Camargo para el tratamiento del mayor volumen de aguas que llegarían de la presa, 2) la construcción de una ETAP en un pequeño embalse, explotado en régimen de concesión por una de las industrias de la zo-

na (GSW), situado en la cercana localidad de Heras, 3) la construcción de los tratamientos secundarios y terciarios de la EDAR de Santander y 4) los costos de las conducciones específicas para el agua regenerada.

La Figura 1 muestra un esquema de la situación actual del abastecimiento y saneamiento de Santander. Las fuentes de agua potable proceden de los ríos Pas y Pisueña, varios manantiales y captaciones subterráneas. El embalse de Heras (0,4 hm³ y 550 m³/h de caudal máximo) se abastece del río Miera y del río Cudón, y sus aguas son empleadas por la empresa Global Steel Wire (GSW) para la refrigeración de circuitos. La EDAR de Santander dispondrá de un sistema de tratamiento consistente en un pretratamiento seguido de fangos activos de alta carga y decantación secundaria. Esta solución no permite alcanzar la calidad que se obtendría en el efluente de un secundario convencional, por lo que en el caso de regenerar aguas habrá que construir, a continuación, un proceso de fangos activos convencional seguido de terciario.

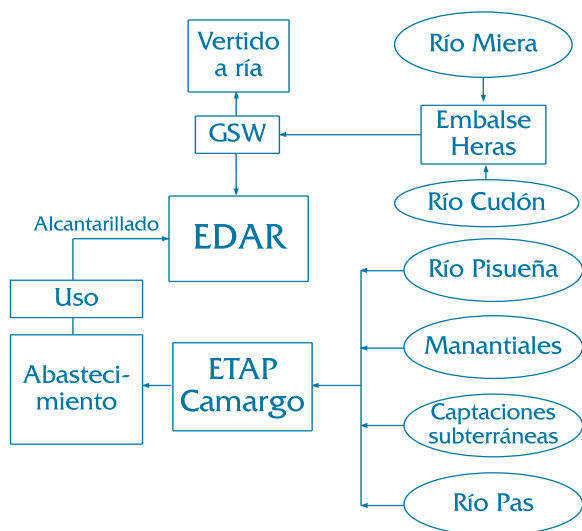


Figura 1.- Esquema de la situación actual del abastecimiento y saneamiento en Santander.

La figura 2 muestra la situación del abastecimiento y saneamiento de Santander en el caso de construirse la presa del Pas. El volumen de este embalse sería de unos 15 hm³, obteniendo un caudal continuo regulado de 1,33 m³/s (Confederación Hidrográfica del Norte, 1995). En este caso el desagüe de la presa serviría para la producción de energía con la ayuda de una minicentral que habría que construir. Por otra parte habría que ampliar la actual ETAP de Camargo para que pudiera dar servicio al

aporte suplementario del agua procedente de la presa del Pas.

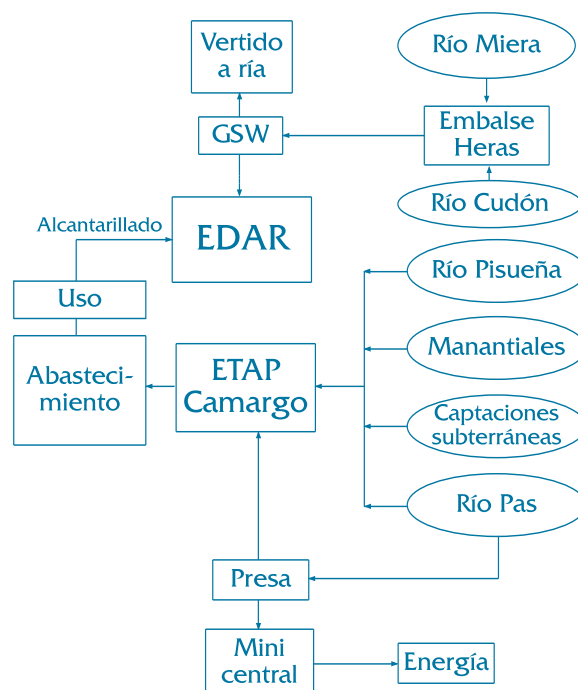


Figura 2.- Esquema de la situación del abastecimiento y saneamiento en Santander en el caso de construirse la presa del Pas.

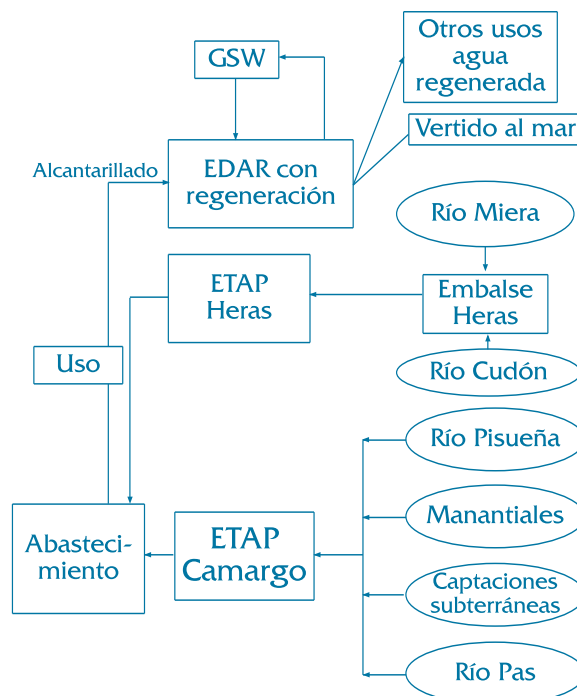


Figura 3.- Esquema de la situación del abastecimiento y saneamiento en Santander en el caso de emplearse agua regenerada.

En el caso de optar por la alternativa consistente en regenerar aguas, la empresa GSW podría emplearlas para la refrigeración. En esta situación

el embalse de Heras se usaría para abastecer con agua potable, previa construcción de una nueva ETAP, parte de la demanda de Santander. La EDAR de Santander debería ampliar sus procesos para poder obtener agua regenerada con la calidad deseada. La Figura 3 muestra un esquema de esta alternativa.

La Tabla 4 muestra los costos de inversión y de explotación de las alternativas indicadas. La estimación de costos de las alternativas de conducción de aguas regeneradas es aproximada y sólo puede considerarse válida para un nivel de anteproyecto.

Los costos de inversión correspondientes a la presa del Pas proceden de la Confederación Hidrográfica del Norte (1995). Los costos de inversión del tratamiento terciario y de las ETAP se han calculado relacionando el caudal medio de varias ETAP reales con su costo. De esta forma se ha extrapolado un valor aproximado. Los costos de inversión de las conducciones se han calculado directamente mediante los correspondientes cuadros de precios.

Los costos anuales de explotación y mantenimiento de una ETAP oscilan, en general, entre un 8% y un 12% del costo de inversión, siendo las partidas de consumos y explotación a las que se dedica un mayor importe (AEAS, 1996). En este estudio se ha tomado un valor del 11% para los gastos de explotación de cada ETAP y del tratamiento terciario.

Según Arranz (1990) los valores medios de amortización para estaciones de tratamiento o de depuración son del 6% para equipos, del 4% para

obra civil y del 4,5% para equipos e instalaciones. En este estudio se ha considerado un valor medio del 4,5% lo que supone la amortización en 22 años. Para el caso de la presa del Pas se ha adoptado un período de amortización de 50 años (2%) y para las conducciones de 20 años.

Como puede apreciarse en la Tabla 4:

1. El costo de inversión de la presa del Pas es muy superior al de la alternativa de regeneración de aguas residuales. No obstante, la presa permite obtener un mayor caudal de aguas potables, especialmente en el año horizonte (2012).

2. La incorporación de una minicentral hace que el costo de explotación de la presa del Pas pueda cubrirse con la energía generada e incluso puedan obtenerse beneficios.

3. El costo de la ampliación de la ETAP de Camargo se ha incluido para tener en cuenta todos los costos originados por dicha solución, a pesar de que en su momento se realizó una inversión que ha aumentado la capacidad de tratamiento hasta 1500 L/s, suficiente para admitir el caudal adicionalmente aportado por la presa.

4. La regeneración de aguas residuales no puede considerarse una solución a largo plazo, ya que la demanda de agua potable del área de estudio es superior a la capacidad de uso de agua regenerada en dicha zona. A corto plazo, y mediante el uso de las aguas tratadas del embalse de Heras, podría representar una solución económica frente a la presa.

Tabla 4.- Resumen de costos de inversión, explotación y amortización de las alternativas correspondientes a la presa del Pas y a la regeneración de aguas residuales (Temprano et al., 1998).

Alternativa	Proceso	Costo de inversión (millones pts)	Costo de explotación (millones pts)	Costo anual de amortización (millones pts)	Costo anual. Explotación más amortización
Presa Pas	Presa Pas (con central)	6740	-80	135	55
	ETAP Camargo (ampliación)	1127	124	51	175
	Suma	7867	44	186	230
Regeneración	Tratamiento secundario EDAR San Román	145	14	6	20
	Tratamiento terciario EDAR San Román	368	40	17	57
	ETAP de Heras	276	30	12	42
	Conducciones	161	16	8	24
	Suma	950	100	43	143

5. El inconveniente principal de la alternativa de regeneración de aguas residuales es su costo de explotación, más del doble del de la presa; el inconveniente principal de la presa del Pas es su alto costo de inversión, unas ocho veces superior al de la regeneración de aguas.

6. Los costes de amortización de la presa, son unas cuatro veces superiores a los de la regeneración de aguas. La suma de los costos de explotación y de amortización de la presa es un 60% superior a los de la regeneración de aguas.

El importe anual de los costos de explotación y de amortización permite obtener una estimación del costo del metro cúbico de agua obtenida por cada alternativa: presa del Pas y regeneración de agua. Para ello es necesario establecer una serie de hipótesis sobre el consumo de agua a lo largo del año:

Hipótesis 1. La diferencia entre la demanda para el año 2002, que es de 1136 L/s, y la demanda servida por las fuentes actuales, 795 L/s, en estiaje severo se suple por la presa en los meses de julio y agosto. El resto del año la presa no abastece agua.

Hipótesis 2. Igual que en la hipótesis anterior, pero el resto del año la presa abastece una cantidad de agua inferior (100 L/s).

Hipótesis 3. La diferencia entre la demanda para el año 2002 y la demanda servida por las fuentes actuales, menos la proporcionada por las captaciones subterráneas y otros recursos municipales en estiaje severo ($795 \text{ L/s} - 405 \text{ L/s} = 390 \text{ L/s}$), se suple con agua de la presa en los meses de julio y agosto. El resto del año la presa no abastece agua.

Hipótesis 4. Igual que en el caso anterior, pero el resto del año la presa abastece una cantidad de agua inferior (100 L/s).

Hipótesis 5. El caudal anual de agua regenerada es sólo el correspondiente al uso industrial (120 L/s).

Hipótesis 6. Igual que la hipótesis 5, más el correspondiente al uso interno de la EDAR y la limpieza viaria (127 L/s)

Hipótesis 7. Igual que la hipótesis 6, más el agua regenerada utilizada para abastecer las láminas de agua (157 L/s).

Las cuatro primeras hipótesis corresponden a la utilización del agua de la presa y las tres últimas a la utilización de agua regenerada. La Tabla 5 muestra los volúmenes tratados anualmente en cada una de las siete hipótesis consideradas. Los costes de explotación y mantenimiento mostrados en la Tabla 4 permiten calcular el precio del metro cúbico de agua obtenida en cada hipótesis.

Tabla 5.- Volúmenes anuales y costo por metro cúbico del agua suministrada por la presa del Pas y por la regeneración en cada hipótesis para Santander.

Hipótesis	Volumen (hm ³)	Costo (pts/m ³)
1	1,8	128
2	4,4	52
3	3,9	59
4	6,5	35
5	3,8	38
6	4,0	36
7	4,9	29

Del análisis de los datos anteriores se pueden obtener las conclusiones siguientes:

1. El costo del metro cúbico de agua regenerada oscila entre 30 y 40 pesetas.

2. El costo del metro cúbico de agua abastecida por la presa en las situaciones correspondientes a las hipótesis 1 y 2 es muy elevado. Por tanto, la construcción de la presa no debería plantearse para satisfacer exclusivamente el déficit de 341 L/s previsto para el año horizonte.

3. El costo del metro cúbico de agua suministrada por la presa en los primeros años de su explotación (hipótesis 3) es superior ($20 - 30 \text{ pts/m}^3$) al correspondiente al agua regenerada.

4. El precio del metro cúbico de agua suministrada por la presa en la hipótesis 4 es equivalente al proporcionado por la regeneración de aguas.

5. A largo plazo, cuando la demanda de agua será mayor, el costo por metro cúbico del agua abastecida por la presa es más económico que el del agua regenerada.

CONCLUSIONES

1. El empleo de aguas regeneradas en una ciudad como Santander, cuya pluviometría es alta en

comparación con otras ciudades españolas pero que en los meses de estiaje severo puede tener problemas de abastecimiento, se muestra como una alternativa posible pero condicionada a los posibles usos.

2. Se considera que el nivel de calidad requerido para el agua regenerada debe ser el establecido por la EPA para el uso más exigente, es decir, el riego sin restricción en el que se permite el contacto directo de las personas con el agua.

3. La posibilidad de utilizar aguas residuales regeneradas para uso industrial permite el ahorro de un caudal medio de 120 L/s de agua potable. Para ello es necesario que el embalse de Heras, cuya concesión es de una industria que podría utilizar aguas regeneradas, pueda dedicarse al abastecimiento de la población del área de estudio, aunque sus aguas deban tratarse adecuadamente para hacerlas potables.

4. Es posible emplear unos 40 L/s de agua regenerada en usos diversos, como el riego de zonas verdes, estanques ornamentales, limpieza viaria y usos internos de la EDAR.

5. En los meses de verano puede regarse con agua regenerada buena parte de los jardines, parques y zonas verdes en general que, en la actualidad, se secan. Esta solución supondría un costo económico, fundamentalmente de distribución, pero no mermaría los recursos de agua potable.

6. En el caso de los estanques y, debido al problema estético y ambiental que la eutrofización de los mismos supondría, se recomienda la eliminación de nutrientes (nitrógeno y/o fósforo) en la EDAR de Santander, hasta el nivel máximo compatible con la tecnología adoptada.

7. La solución propuesta para la EDAR de Santander consiste en un sistema de fangos activos de alta carga para un caudal doble del caudal medio de tiempo seco y la inclusión de decantadores para las aguas de lluvia. Esta solución se completaría con un emisario submarino. La regeneración de agua requerirá, a continuación del proceso biológico anterior, un proceso convencional de fangos activos (constituyendo así un proceso A+B o de doble etapa) dimensionado para un caudal de 160 L/s, seguido de un tratamiento terciario de la misma capacidad.

8. La regeneración de un caudal de 160 L/s de aguas residuales es más económica, a corto plazo, que la alternativa de la presa del Pas. Sin embargo,

el ahorro de agua potable producido por el empleo de aguas regeneradas no es suficiente, a largo plazo, para garantizar el abastecimiento de agua potable con las fuentes de suministro actuales; incluso si se aumentasen los posibles beneficiarios de agua regenerada, ya que el área de estudio no tiene grandes industrias consumidoras de agua o grandes zonas susceptibles de ser regadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo pudo realizarse gracias a la financiación de la Diputación Regional de Cantabria. Los autores también agradecen a las siguientes industrias su colaboración al cumplimentar las encuestas: Global Steel Wire, S. A., Edscha España, S. A., Steel Beton Española, S. A., Astilleros de Santander, S. A., Tejerías la Covadonga, S. A., Funditubo, S. A., Talleres Martínez, S. A., E. Lostal y Cía., Ecrimesa, Ferroatlántica, S. A., Hispanamer, S. A., Teka Industrial, S. A., Equipos Nucleares, S. A. y Cántabra de Matricería, S. A.

También expresamos nuestro agradecimiento a Pedro Catalinas Montero (CEDEX) por facilitarnos la última propuesta de calidades mínimas para el agua regenerada.

REFERENCIAS

- AEAS (1996). "Suministro de agua potable y saneamiento en España (1996)". Asociación española de abastecimientos de agua y saneamientos. s. l.
- Abu-Rizaiza, O. S. (1999). "Modification of the standards of wastewater reuse in Saudi Arabia". *Water Research*. Vol. 33, Nº 11. pp. 2601-2608.
- Aguilar, E. y Marrero, A. (1996). "Riego agrícola con agua regenerada. La experiencia de la isla de Tenerife". XIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo II. Ministerio de Fomento (CEDEX). Madrid.
- Angelakis, A. N.; Marecos do Monte, M. H. F.; Bontoux, L. y Asano, T. (1999). "The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines". *Water Research*. Vol. 33, Nº 10. pp. 2201-2217.
- Angelakis, A. N. y Bontoux, L. (2001). "Wastewater reclamation and reuse in European countries". *Water Policy*. Nº 3, pp. 47-59.
- Arranz, P. (1990). "Análisis de costos". Jornadas de tratamiento y gestión de aguas residuales. Junta de Castilla y León. Salamanca.
- Brieva, C. y Monteoliva, A. (1997). "Sistema de reutilización de aguas del complejo industrial de Puertollano (Ciudad Real)".

- dad Real)". Actas del Congreso "Utilización de aguas residuales y biosólidos". Water Environment Federation. Marbella, España
- Catalinas, P. M. y Ortega, E. (1999). "Situación de la reutilización de las aguas depuradas en España". Tecnología del agua. N° 189, junio. pp. 48-62.
- Confederación Hidrográfica del Norte (1995). "Análisis de alternativas para el abastecimiento de aguas a Santander (Cantabria).
- Chang, A. C.; Page, A. L.; Asano, T. y Hspanhol, I. (1996). "Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater irrigation". Water Science and Technology. Vol. 33. N° 10-11, pp.463-472.
- Environmental Protection Agency. EPA. (1992). Guidelines for Water Reuse. Manual EPA/625/R-92/004. Washington, DC. Estados Unidos.
- Estado de California (1978). Wastewater Reclamation Criteria. California Administrative Code Title 22, Div. 4.
- Fariñas, M. (1997). "Water Treatment Plan and Water Reuse for Campo de Dalías". Actas del Congreso "Utilización de Aguas Residuales y Biosólidos". Water Environment Federation. Marbella, España.
- González, J. y Hontoria, E. (2001). "Condiciones básicas para la reutilización directa (Proyecto Real Decreto)". En "La reutilización de las aguas depuradas: un objetivo de la política ambiental". Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Santander, España.
- Griñan, J. y Guardino, R. (1997). "Reutilización de aguas residuales en agricultura. La EDAR de Mazarrón (Murcia)". Actas del Congreso "Utilización de aguas residuales y biosólidos". Water Environment Federation. Marbella, España.
- Hussain, G. y Al-Saati, A. (1999). "Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia". Desalination. Vol. 123. pp. 241-251.
- Koldo, J. (1992). "Reutilización de aguas residuales. Posibilidades en la estación depuradora del Alto Ibaizabal". Residuos. Vol. 4. pp. 39-43.
- López, J. A.; García, I. y Del Río F. J. (1997). "Reutilización del agua residual. Experiencias prácticas en Vitoria". Actas del Congreso "Utilización de Aguas Residuales y Biosólidos". Water Environment Federation. Marbella, España.
- Martín, R. (1996). "Situación actual y perspectivas futuras de la reutilización de aguas residuales como una fuente de recursos hidráulicos". Ingeniería del Agua. Vol. 3. N° 1. pp. 69-78.
- MOPTMA (1995). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología. "Guía resumida del clima en España. 1961-1990".
- Mujeriego, R. (1996). "Reutilización planificada de efluentes depurados" en Jornada Técnica Sobre Reutilización de Efluentes Depurados. CEDEX. Madrid.
- Mujeriego, R. y Sala, L. (1991). "Golf course irrigation with reclaimed wastewater". Water Science and Technology. Vol. 24. N° 9, pp.161-171.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Mara, D. y Cairncross, S. Ginebra, Suiza.
- Peng, J.; Stevens, D. K. y Yiang, X. (1995). "A pioneer project of wastewater reuse in China". Water Research. Vol. 29, N° 1. pp. 357-363.
- Salgot, M. y Pascual, A. (1996). "Existing guidelines and regulations in Spain on wastewater reclamation and reuse". Water Science and Technology. Vol. 34. N° 11, pp.261-267.
- Shuval, H. y Fattal, B. (1999). "Health and Treatment Requirements for Wastewater Irrigation". En: Reservoirs for Wastewater Storage and Reuse. Juanicó, M. y Dor, I. (Editores). Springer, Alemania; pp. 23-46.
- Sierra, J. y Peñalver, L. (1989). La reutilización de las aguas residuales. Acondicionamiento y uso. Monografías del CEDEX. M.O.P.U.
- Temprano, J.; García, S.; Suárez, B. y Tejero, I. (1998). Estimaciones de costos y conclusiones finales sobre el uso de agua regenerada en el entorno de la Bahía de Santander. Informe nº12. Convenio de colaboración entre la Diputación Regional de Cantabria y la Universidad de Cantabria.
- Terrasa, M. (1995). "Reutilización de aguas residuales en Palma de Mallorca". Tecnología del agua, nº 141. Páginas. 46-51.