

Capítulo 19

LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Resumen

Las aguas residuales regeneradas constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los últimos decenios. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologías adecuadas y unos estudios previos detallados. Se revisan las tecnologías correspondientes, así como la legislación respecto a la reutilización de aguas residuales.

Si la evaluamos la reutilización parece presentar unas ciertas ventajas para su uso como agua de riego, aunque se requieren cálculos y herramientas de toma de decisión adaptados a cada circunstancia.

Palabras clave: agua residual, recursos hídricos, recursos no convencionales, reutilización.

Introducción

El desarrollo económico suele implicar la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales para poder llevar a cabo las nuevas actividades industriales o agrícolas, o para abastecer la demanda correspondiente a las actividades domésticas, turísticas y de ocio. Por otra parte, este desarrollo suele implicar un aumento de población, lo que aún incrementa aún más la demanda de agua.

Estas circunstancias suelen conducir en muchos lugares de clima árido o semiárido a la escasez de recursos hídricos, tanto temporal como estructural, lo que conlleva diversas disfunciones y en general una disminución de la calidad del agua. Incluso en determinados lugares con lluvia suficiente, climas no áridos, la acumulación de la demanda en el tiempo y el espacio crea deficiencias. En uno y otro casos, las situaciones de sequía hacen más grave la escasez.

Las consecuencias de la escasez son variadas, y tienen repercusiones sociales, lo que hace que los caudales de agua destinados a determinados usos, como los considerados suntuarios, sean objeto de controversia. Esta discusión se está extendiendo en los últimos años a otros usos tradicionales, como algunos riegos agrícolas o determinados usos industriales; sin que por el momento se estén discutiendo los usos urbanos.

En Europa, y más concretamente en España, dependiendo de las actividades económicas de la zona y de la escasez relativa de recursos, así como de presiones de tipo político-social, se intenta reducir o incluso negar caudales a campos de deporte, zonas verdes o determinados cultivos, por ejemplo.

En la vertiente mediterránea de España, por ejemplo, las discusiones suscitadas por el PHN y las actividades de puesta en regadío de grandes extensiones han contribuido a exacerbar posturas y a no considerar determinados aspectos técnicos y tecnológicos que podrían aplicarse sin excesivas dificultades a la gestión de los recursos hídricos, reduciendo las demandas y aumentando los recursos disponibles. Esto no implica que las grandes infraestructuras de transporte de agua no sean necesarias, sino que se puede disponer de más tiempo para pensarlas y planificarlas detenidamente y llegar a acuerdos más globales y consensuados.

Pueden discutirse “a priori” varias alternativas para emplear recursos de agua no convencionales (*Tabla 1*) en el ciclo antrópico.

Tabla 1. Los recursos de agua.

Recursos convencionales	Agua superficial Agua subterránea
Recursos no convencionales	Escorrentía Agua residual regenerada Agua de mar desalinizada Agua salobre desalinizada Transportes no convencionales

Dentro de estos recursos no convencionales, caben destacar como los más importantes en volumen y disponibilidad, las aguas residuales regeneradas.

El empleo posible de las aguas residuales se ha desarrollado en función de la implantación globalizada, y marcada por la ley en muchos países, de las depuradoras. Esto ha tenido diversas consecuencias. Por una parte han disminuido localmente los caudales disponibles, ya que las aguas residuales sin depurar han sido canalizadas y desviadas de los puntos habituales de vertido. Por otra, la situación administrativa ha cambiado, ya que al estar el recurso agua residual controlado teóricamente, se debe seguir una vía legal para utilizarlo.

Además, se están estudiando y extendiendo diversas teorías encaminadas a potenciar el ahorro del agua y que nos interesa mencionar ya que en cierta medida son complementarias a la reutilización.

Por lo que respecta a los usos agrícolas, los que consumen mayores volúmenes de agua, de entrada, se plantea la posibilidad de no producir determinados cultivos con demanda elevada. Se trata de aplicar el concepto de agua virtual, por el cual la producción se “externaliza” a otros lugares con más agua. Esta posibilidad está extraordinariamente contestada por la mayor parte de productores agrícolas, ya que en cierta manera presupone una cierta limitación a la elección del tipo de cultivo y además, los productos agrícolas con contenido elevado de agua (tomates, melón, ...) suelen ser los de más precio. Sin ningún ánimo de entrar en discusiones de política agrícola, podemos indicar también que otros tipos de cultivo, como el maíz, grandes consumidores de agua, también están suscitando controversias importantes entre diversos actores sociales.

También se considera la posibilidad de aplicar la denominada elasticidad de la demanda. Con este concepto económico, se pretende que al aumentar los precios disminuya el consumo del agua, lo que también se aplica a otros bienes de consumo.

Cuando se considera el precio del agua agrícola, en la mayor parte de ocasiones el coste es comparativamente muy reducido frente a otros usos. En este contexto, el usuario difícilmente aceptará utilizar otros tipos de agua (regenerada) si el precio que tiene que pagar es superior.

Recordemos que en los últimos 20 años, han aumentado exponencialmente en muchos lugares del mundo los usos de riego no agrícola, más concretamente los relacionados con las prácticas deportivas y los parques urbanos. Este aumento exponencial es importante en términos de número de usuarios, pero no exactamente en cuanto a volúmenes globales de recurso.

Los campos de golf son paradigmáticos en este caso y suscitan criterios encontrados. El desarrollo económico (asociado al turismo en muchas ocasiones) de un país conlleva también mayores exigencias paisajísticas, lo que se traduce en un aumento de las demandas de zonas verdes y parques en las zonas urbanizadas. Medianas de autopista, cementerios, y otras instalaciones asociadas al desarrollo urbano o a las comunicaciones son también ejemplares de nuevos usos de agua para riego.

En otros lugares, sistemas para los que no se planteaba el riego, como parcelas de producción de árboles para madera, reciben agua para aumentar la productividad; y por tanto poder reducir los turnos de corte.

Con todo lo expuesto, parece obvio que la demanda de agua para riego ha debido aumentar a escala global, y que si deben establecerse nuevos trasvases para cubrir las demanda, las regiones cedentes planteen numerosas reservas para que los recursos no se empleen para usos teóricamente suntuarios; aparte de los rechazos sociales asociados prácticamente a todas las grandes infraestructuras y más a las relacionadas con el agua.

En este marco, definido muy sucintamente, aparecen como alternativa los recursos no convencionales de agua. La definición de recurso no convencional es relativamente laxa, aunque se podría decir que es todo aquel recurso distinto de las aguas superficiales y subterráneas epicontinentales. Aquí entran (*Tabla 1*) por tanto, las aguas residuales regeneradas.

Si el precio del agua de origen convencional viene claramente definido por todos los pasos necesarios para ponerlo a disposición del usuario en el punto de uso; el precio de los recursos hídricos no convencionales debería reflejar también todas las inversiones y operaciones necesarias (*Figura 1*); en el marco de las políticas económicas actuales de trasladar al precio final del agua todos los costes asociados a su “producción” y transporte. Esta diferencia, que puede resultar importante puede tener efectos importantes sobre la aceptación del recurso.

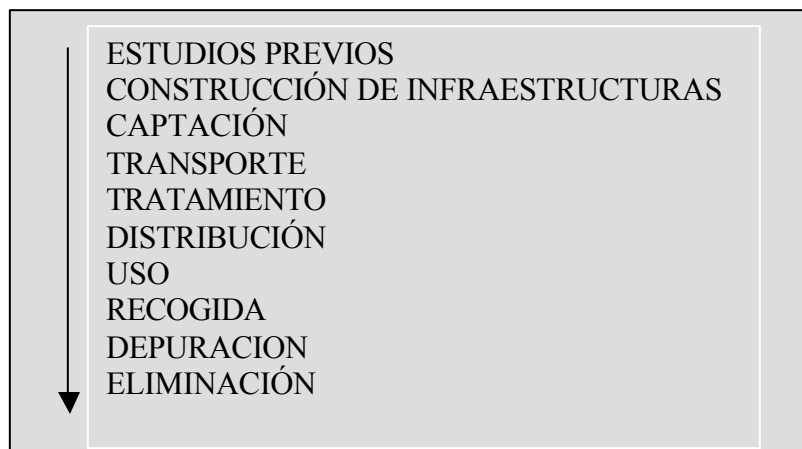


Figura 1. Pasos necesarios en los usos no consuntivos del agua en el ciclo antrópico.

En este punto debemos establecer que en el ciclo antrópico del agua hay dos tipos de usos; los consuntivos y los no consuntivos.

Serán usos consuntivos aquellos en los que podemos afirmar que prácticamente toda el agua empleada vuelve al ciclo natural, como por ejemplo los relacionados con el riego; mientras que para los usos no consuntivos se debe establecer casi siempre un sistema de recogida.

Esta vuelta al ciclo natural suele conllevar problemas de contaminación, especialmente por el arrastre de sales solubles, siendo el ejemplo típico las contaminaciones por nitratos prácticamente en todas las zonas de riego del mundo.

Si comparamos la *Figura 1* con la *Figura 2*, aplicada ésta última a un sistema de agua urbano, podemos observar varias diferencias.

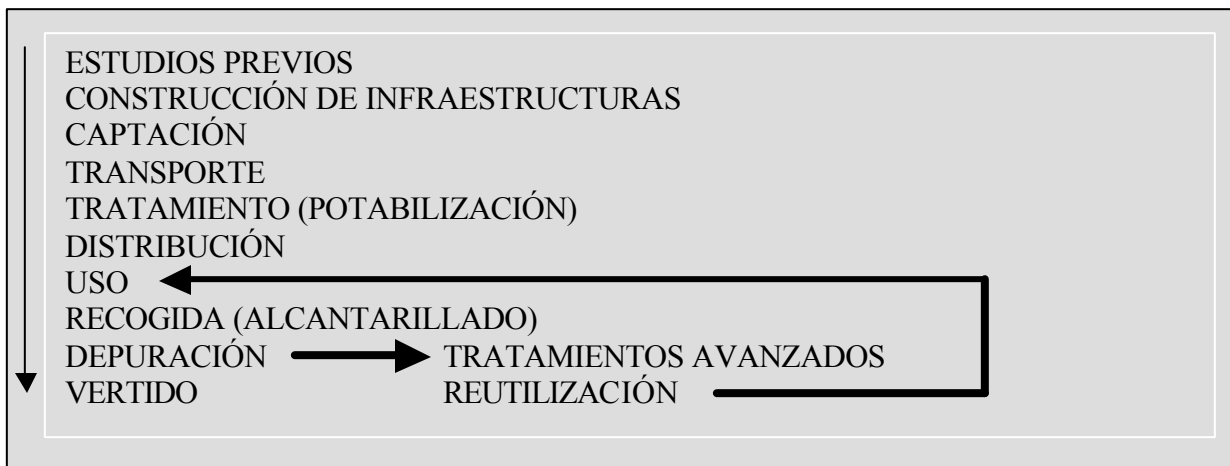


Figura 2. Pasos habituales en el uso del agua en un sistema urbano.

- La *Figura 1* presenta un uso exclusivamente “lineal” del recurso, mientras que en la *Figura 2* se observa la introducción de un ciclo, manifiestamente mucho más similar a lo que se pueden denominar procesos naturales.
- Se añade un tratamiento adicional del agua, el avanzado, que supone un coste extra.
- en algunos casos, a base de utilizar los ciclos, podemos prescindir del vertido directo, habitual, a masas de agua.

El uso urbano lineal tiene un coste determinado; en teoría cubierto por los impuestos o tasas del ciudadano usuario. En cuanto se introduce el concepto de reutilización, se requieren pasos adicionales de tratamiento del agua, con un coste extra.

En este momento, se plantea la duda de quién debe asumir el coste adicional. Cuando la reutilización representa un beneficio para un nuevo usuario, parece obvio que debería ser este usuario el que asumiese el sobrecoste. Es un segundo supuesto, si el beneficio es para la sociedad, cuando por ejemplo se evita un vertido a un medio sensible, puede ser aceptable que el sobrecoste corra a cargo de los impuestos. En el caso del uso urbano, parece obvio que el beneficio, intangible, de mejorar el aspecto de la ciudad debe ser asumido por el ciudadano, siempre que sea capaz de asumir este aumento de precio y no esté pagando por usos suntuarios que no va a disfrutar.

Determinados usuarios del agua regenerada, como los industriales o los campos de golf tienen la capacidad económica para asumir el sobrecoste, así como los agricultores con cultivos con alto valor añadido. Dificilmente se puede plantear a agricultores con economía precaria (cultivos extensivos de cereales, por ejemplo) o de supervivencia, que asuman un coste añadido por el agua que emplean.

El recurso agua residual

El agua residual se produce de una forma relativamente continua; es decir, se trata de una “fuente” teórica de agua con características de continuidad en el tiempo. En efecto, por consideraciones sanitarias y socio-políticas, los gestores tienden a asegurar el suministro urbano con prioridad a cualquier otro y en ocasiones excepcionales incluso sin reparar en costes.

En todos los países de la cuenca mediterránea y en muchos lugares de centro y Sudamérica se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado (también se deben incluir aquí los perjuicios estéticos y sensoriales) que extraían de los núcleos de población las aguas usadas, y bastante posteriormente la construcción de depuradoras en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto.

En cierta manera, el objetivo de la depuración fue inicialmente la reducción del impacto del vertido a las aguas receptoras y la consideración sanitaria del riesgo asociado al contacto del agua residual con las personas. En algún momento de la historia reciente, prevalecieron otras consideraciones, más de tipo hídrico, y en este sentido, el objetivo de los planes de saneamiento pasó a ser el mantenimiento de la calidad de los cauces de agua, para asegurar el turismo balneario o hacer disminuir los costes de la potabilización del agua.

Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó una atención a un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente reconocido que determinados vegetales regados con agua residual tienen un crecimiento excelente y una apariencia que permite su venta con buenos beneficios. Así, aguas abajo de los albañales de muchas ciudades, han aparecido a lo largo del tiempo explotaciones agrícolas de hortalizas, que se venden en los mercados de la misma ciudad donde se han generado las aguas residuales. Esta práctica sigue vigente en la actualidad, por ejemplo en la ciudad de México o en muchas urbes de África e incluso en algunos lugares de España.

Aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico.

Tecnologías de tratamiento

En la elección de las tecnologías de regeneración (tratamiento avanzado) para agua residual suelen preferirse aquellas que no emplean mucha energía. Esto se justifica por el hecho de que el agua residual suele emplearse para riegos u otros usos relativamente poco “nobles”.

- Tecnologías de membrana

Las tecnologías de membrana para desalinización se suelen emplear en islas en las que no hay otro recurso o en zonas costeras donde los recursos existentes ya están sobreexplotados. También en algunos casos cuando no se conceden permisos de explotación para determinados usos suntuarios o en campos de golf o en explotaciones agrícolas en las que el cultivo permite la inversión y mantenimiento en estas plantas. En este sentido, se están instalando en muchas áreas con aguas salobres numerosas mini-instalaciones de desalinización, creando un problema grave de eliminación de las salmueras y de demanda de electricidad. En el caso de que se empleen estos procesos la reutilización posterior podría considerarse absolutamente obligatoria desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final, o bien en aquellos casos en que debido al elevado contenido en sales del agua residual, las tecnologías de membrana cumplen diversos cometidos; la regeneración eliminando diversos compuestos y prácticamente todos los microorganismos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente. También en aquellos casos en que el agua regenerada se empleará como agua de bebida, la osmosis inversa será la tecnología de elección (campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia, ...). También puede justificarse la elección en recarga de acuíferos con agua regenerada. Debemos recordar, no obstante, que para poder aplicar la osmosis inversa de manera adecuada, se requiere un buen pretratamiento, que puede ser también una ultrafiltración o similar.

Las tecnologías de membrana (Deocón *et al.*, 2002) que se pueden emplear son la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis reversible y electrodesionización.

Microfiltración

Elimina 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*. 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.

Ultrafiltración

Puede emplearse para eliminar esencialmente todas las partículas coloidales y alguno de los contaminantes disueltos más grandes ($0,01 \mu\text{m}$). Se utiliza la UF 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.

Nanofiltración

Elimina los contaminantes de tamaño superior al nanómetro ($0,001\mu\text{m}$). Las membranas de NF se emplean 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).

Osmosis 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. Se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, las membranas de OI son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar.

Electrodialisis reversible

La EDR separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de la membrana. Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (1-2 nm). En la célula de electrodialisis 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.

Electrodesionización

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

- Tecnologías de filtración para tratamiento avanzado de aguas residuales

Aparte de los sistemas naturales que ejercen una acción de filtrado (IP y Wetlands) se pueden emplear en los procesos de regeneración los filtros clásicos de arena (solos o asociados a procesos físico-químicos; monocapa o multicapa) o bien diversos procesos innovadores de filtración, entre los que podemos destacar los filtros de anillas.

Filtros de anillas

En este proceso, la filtración 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.

- Tecnologías intensivas de regeneración

Si no incluimos aquí los sistemas de membrana ni la filtración, el espectro es muy reducido; y podemos mencionar únicamente los bioreactores a membrana (BRM) y ocasionalmente los SBR (sequencing batch reactors: reactores secuenciales discontinuos) y los biodiscos (RBC: rotating biological contactor).

Reactores secuenciales discontinuos

Se trata de un desarrollo de los lodos activados en el cual las funciones de aireación, sedimentación y decantación se llevan a cabo en el mismo reactor. 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.

Biodiscos

Los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos 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.

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.

Bioreactores de membrana

Esta tecnología se basa 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.

También se emplean membranas externas al reactor. En ambos casos se puede describir una eliminación de los patógenos de mayor tamaño (por ejemplo, *Giardia* y *Cryptosporidium*).

Sistemas físico-químicos

Se trata básicamente de sistemas en los que mediante un reactivo 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 (polielectrolitos) y a veces se combinan.

Tienen una cierta acción desinfectante, ya que las bacterias y virus fijados a los sólidos en suspensión son eliminados con éstos.

- Tecnologías extensivas de regeneración

Infiltración-Percolación

La Infiltración-Percolación (IP) es un sistema de tratamiento avanzado, natural, extensivo y basado en el uso de arena. Se trata de un filtro secuencial, aerobio y con biopelícula. Se emplea arena fina (entre 0,1 y 2 mm) y es importante que esta arena sea uniforme. Se filtra efluente primario o secundario a través de un espesor de material como el definido de forma secuencial y programada. Es importante que el lecho no quede saturado para permitir el intercambio de gases; para ello sólo se puede aplicar una carga máxima calculada en función de la DQO y del contenido en NTK. Es un proceso muy fiable si se le da un mantenimiento adecuado. Puede incluso llegar a cumplir las especificaciones para generar agua con la que se puede regar sin restricciones.

Se está estudiando la posibilidad de emplear este mismo sistema enterrado (la superficie puede destinarse a otros usos) con alimentación mediante riego subterráneo por goteo.

Sistemas de lagunaje

Es una tecnología conocida desde hace mucho tiempo y que se basa en la potenciación de la eutrofización, mediante la simbiosis de algas y bacterias. La biomasa está en suspensión y se suelen emplear diversas lagunas en serie (anaerobias, facultativas y de maduración; aunque estas pueden a su vez subdividirse y actuar en paralelo). Si se debe reutilizar el agua cobra especial importancia la fase de maduración. El sistema es capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación UV del sol.

Es imprescindible una buena gestión evitando los caminos preferenciales. Se considera que son capaces de tratar efluentes domésticos de hasta 300 mg/L de DBO₅ con rendimientos aceptables. Su principal problema es la superficie que ocupan. Se está recuperando esta tecnología (a menudo únicamente los estanques de maduración después de un tratamiento intensivo) para la regeneración de aguas residuales.

Zonas húmedas construidas (Wetlands)

Las ZH son terrenos inundados, con profundidades de agua del orden de 60 cm, con plantas acuáticas emergentes. Combinan zonas anaerobias (principalmente) con aerobias y anóxicas. Se considera que el papel principal en la depuración lo llevan a cabo las colonias instaladas en la grava o arena (material de relleno) y en las raíces y rizomas de las plantas. Estas últimas tienen también un papel activo en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, creando las zonas anóxicas.

Se emplean principalmente dos tipos, los de flujo horizontal sumergido y los de flujo vertical. Se emplean en pequeñas comunidades como tratamiento total o bien como sistema de afinado del efluente (tratamiento terciario) si no se dispone de mucho espacio.

- Tecnologías de desinfección para regeneración

No incluimos aquí la cloración, puesto que se desaconseja para el tratamiento de las aguas residuales ya que genera muchos subproductos.

Ozonización

En el agua residual el ozono puede perderse en la atmósfera, reaccionar directamente con la materia orgánica y entrar en una serie de reacciones con radicales. Parte de estas acciones tienen como efecto desinfectar el agua. Actúa principalmente contra virus y bacterias.

Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Se genera *in situ* mediante equipos comerciales.

Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección.

Dióxido de cloro

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.

Radiación 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. 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

Condicionantes en reutilización

En general, y tal como hemos estado comentando, la limitación para la regeneración es el riesgo asociado a la práctica de la reutilización. En general, debe hablarse en cualquier sistema de reutilización de la determinación y gestión del riesgo.

Análisis y gestión de riesgo en reutilización

Dadas las características del agua residual y los tipos de tratamiento requeridos por la legislación (Directiva 91/271 de la UE con transposición casi literal a la legislación española, OMS y previsiones) puede afirmarse que no hay una reducción importante de patógenos en la depuración convencional o secundaria y que sigue manteniéndose una cantidad importante de contaminantes químicos, que en algunos casos pueden generar riesgos.

En consecuencia, para la reutilización es imprescindible proceder a una gestión del riesgo. La aproximación de las autoridades sanitarias y el mundo del agua a esta necesidad ha sido habitualmente la preparación de estándares que fijen la calidad mínima que deben tener las aguas residuales. En este sentido, cabe destacar que en España aún no existe una legislación nacional promulgada, aunque sí pueden mencionarse las iniciativas de algunas comunidades autónomas, concretamente Andalucía, Baleares y Cataluña. Existe un borrador preparado por el CEDEX (1999) que está pendiente de ser publicado en su forma legal definitiva. Puede encontrarse un estudio detallado de los estándares y reglamentaciones existentes en distintos lugares del mundo en Salgot y Angelakis (2001).

En la actualidad se dispone de tecnologías de regeneración de aguas sobradamente probadas y conocidas, aunque se requiere todavía investigar sobre la fiabilidad de estos tratamientos, desarrollar procesos con costes asumibles e implantar sistemas extensivos de tratamiento para poder utilizar las MTD en todos los casos.

El grado de cumplimiento de la calidad del agua marcada por los estándares durante largos períodos de tiempo no se suele determinar y es uno de los puntos débiles de los procesos de regeneración del agua residual. Podemos afirmar inicialmente que no todas las tecnologías son igualmente fiables. Aparte de esto, hay que indicar que normalmente todos los criterios establecidos se refieren únicamente a la presencia de indicadores fecales bacterianos y a huevos de nemátodo, olvidando otros posible agentes causantes de riesgo, como los virus y determinados productos químicos tóxicos.

Por otra parte, la calidad del agua regenerada se suele determinar en el efluente de la planta de regeneración, y no en el punto de uso ni en el producto final que ha tenido contacto con el agua regenerada. En este sentido, se pueden proponer diversos estudios en el marco de la determinación y gestión de riesgo en el campo de la regeneración y reutilización de agua residual (Salgot, Vergés y Angelakis, 2002). Entre estos podemos mencionar: a) el uso de parámetros de control adecuados, b) la fiabilidad de las plantas de regeneración, c) cumplimiento de los estándares, d) prácticas de buena reutilización de los efluentes, e) sistemas de análisis de riesgo y control de puntos críticos (SARICPC).

De todas formas, hay que decir que la determinación y gestión del riesgo no reduce per se el grado de riesgo asociado a la reutilización, sino que permite un mayor conocimiento de estas prácticas y en consecuencia el uso de técnicas que pueden reducir este riesgo.

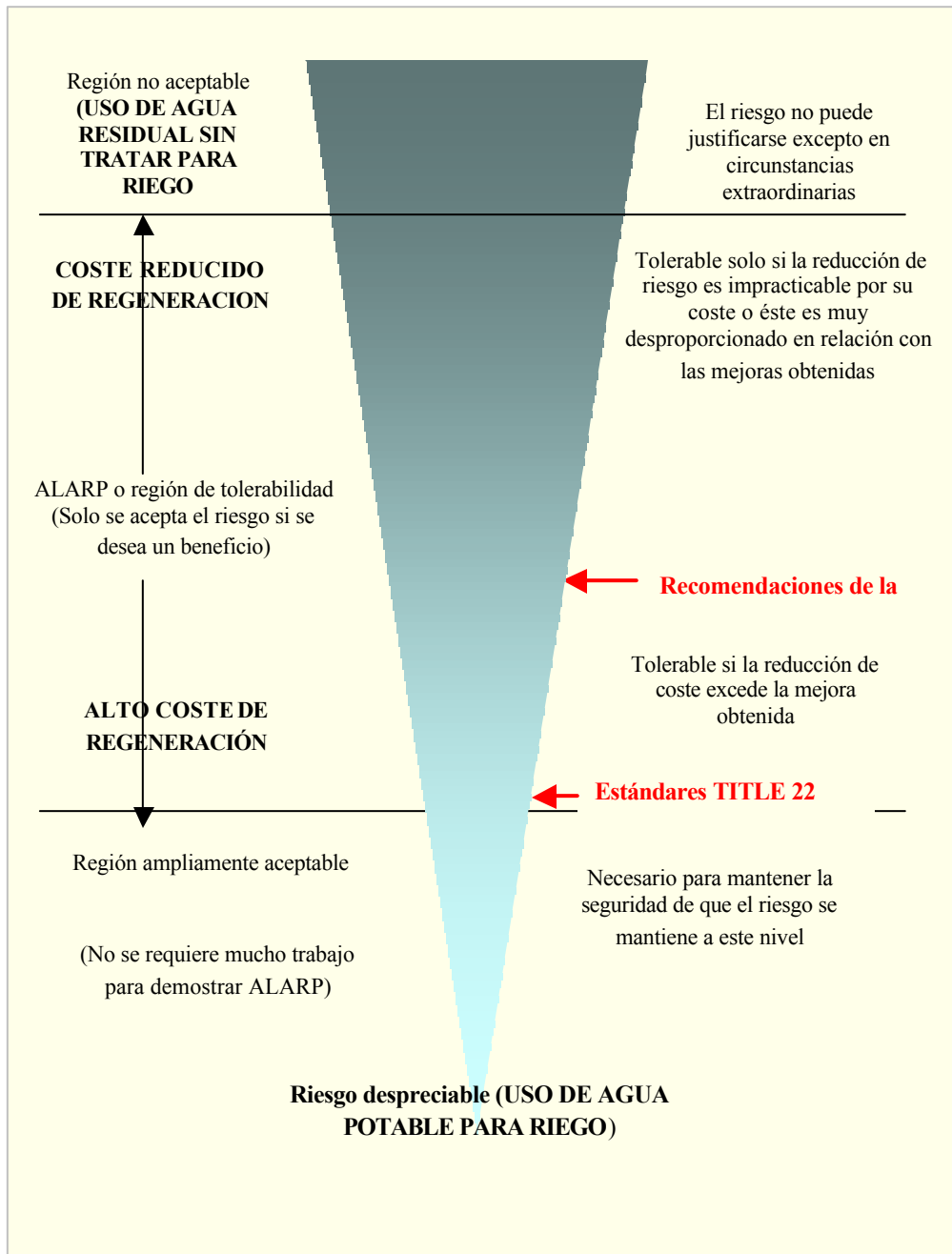


Figura 3. Diagrama de aceptabilidad del riesgo en reutilización. Tomado de Salgot (2002).

No obstante, todas las prácticas asociadas a la reducción de riesgo deben ser sustentables y no deben comprometer la reutilización incrementando de forma desproporcionada los costes de la regeneración.

La Figura 3 ilustra la aceptabilidad del riesgo en el marco de la reutilización de aguas residuales, estableciéndose diversos límites de aceptabilidad en función de la capacidad de una sociedad de aceptar un grado de riesgo determinado o bien de su capacidad económica para reducir los niveles de riesgo asociados a la práctica.

Perspectivas de futuro

En el momento en que debe plantearse el uso de tecnologías para el tratamiento del agua, se suele plantear en términos de BAT o MTD (Best Available Technology o Mejor Tecnología Disponible). Este concepto engloba muchos aspectos y muy diversos en relación con la tecnología a implantar; desde los socio-económicos a los tecnológicos, incluyendo los ACV o análisis de ciclo de vida.

Por lo que respecta a las membranas, es previsible una cierta reducción de costes, asociada a la reducción de los precios de las membranas y a la reducción de la energía necesaria para el tratamiento. Es preciso, no obstante, elegir la tecnología adecuada a cada calidad de agua (es decir, al contenido real de sales) y al volumen de agua a tratar.

En cuanto a los otros procesos de regeneración, los desarrollos previsibles de la legislación nos indican que la tendencia es asociar los diferentes usos previstos en reutilización con diferentes calidades de agua; del orden de unas 5 distintas (o viceversa, asociar las calidades a los distintos usos). Es obvio que para cada tipo de calidad se requerirán unas tecnologías adecuadas. En principio, se han descrito muchas tecnologías utilizables, pero en la elección final deberían tenerse en cuenta criterios de diverso tipo aparte de los tecnológicos, como los económicos, sociales, ...

En general, en los últimos tiempos se puede describir una cierta tendencia a implantar tecnologías extensivas, que normalmente tienen costes menores de mantenimiento, y en varios sentidos son mucho más sustentables que las tecnologías intensivas, duras.

Por otra parte, subsisten los interrogantes sobre el tratamiento económico de los recursos de agua en el futuro. Concretamente, sobre un posible mercado del agua destinada a usos productivos.

En USA se ha intentado proceder a estos desarrollos en California, parece ser que sinde masiado éxito. En España existe un precedente en este tema en las Islas Canarias. Creemos que sería importante estudiar este caso e intentar emplear sus logros positivos a mayor escala, ya que con las tendencias actuales, la escasez de agua tenderá a aumentar. La implantación de mercados para los usos que pueden asumir costes de agua puede ser una forma de racionalizar el mercado e implantar criterios de eficiencia.

Como se ha afirmado repetidas veces en muchos temas ambientales y sociales, la solución no es 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. En nuestra opinión, la implantación de riegos localizados en numerosos cultivos permitiría reducir en gran manera la demanda de agua asociada al riego agrícola.

Conclusiones

Es necesario tomar decisiones sobre determinados usos del agua (por ejemplo, campos de golf, parques) y realizar los estudios socio-económicos y de análisis de ciclo de vida necesarios para dejar claro si el modelo de uso del agua propio de cada región conlleva el desarrollo sustancioso de los usos dela gua, o bien se prefieren otras soluciones.

La reutilización de aguas residuales es una herramienta útil, pero no constituye la panacea a la escasez de recursos de agua. Debe implantarse en el marco de sistemas de gestión integrada de los recursos hídricos.

Bibliografía

- CATALINAS, P.; ORTEGA, E. (2002). Reutilización de aguas residuales en España. Informe no publicado.
- CEDEX (1999). Borrador de Decreto sobre reutilización de aguas residuales; no publicado.
- DEOCÓN, M.; FOLCH, M., SALGOT, M. (2002). Innovative technologies in wastewater reclamation and reuse. In press.
- EFRATY, A. (2001). Sea-water desalination for 22-33 cent/m³. International Conference. Membrane Technology for Wastewater Reclamation and Reuse. Tel-Aivi Israel.
- SALGOT, M. Y ANGELAKIS, A. (2001). Guidelines and regulations on wastewater reuse. Cap 23 en: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (eds.). Decentralised sanitation and reuse: concepts, systems and implementation. IWA Publishing, London.
- SALGOT, M. (2002). El risc relacionat amb la reutilització d'aigües residuals. Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya. Barcelona.
- SALGOT, M., VERGES, C., ANGELAKIS, A.N. (2002). Risk assessment for wastewater recycling and reuse. Proceedings of the Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean region. Iraklion, Crete, Greece. IWA.
- SAMPOL, P. (1999). La dessalinització de les aigües salabroses i de mar. Cap. 6 en Recursos d'aigua. M. Salgot, X. Sánchez, A. Torrens (editores). Fundació AGBAR, Barcelona.
- SHELEF, G. (2002). Comunicación personal. Workshop on water recycling and reuse practices in Mediterranean countries. WHO/MED POL programme. Iraklion, Crete, Greece.

Anexos

- I. Tecnologías innovadoras en regeneración de agua residual.
- II. Propuesta de criterios físico-químicos y biológicos mínimos obligatorios de calidad a conseguir en el agua residual depurada a reutilizar (CEDEX).