

# Consideraciones y casos en torno al ciclo del agua \*

María Rosa Miracle Solé\*\*

**Resumen:** La sostenibilidad ambiental está relacionada directamente con el ciclo del agua y las intervenciones del hombre sobre el mismo, tanto en su extracción, uso y eliminación. La conservación del suelo y la vegetación dependen invariablemente del impacto acumulado de este proceso. La perspectiva de un cambio climático mayor, con el subsecuente aumento de las temperaturas en el planeta, implica transformaciones radicales en el ciclo del agua, y por ende, en su disponibilidad y utilización. Para ello se hace imperioso mejorar radicalmente el ahorro del agua, aumentando al mismo tiempo los sistemas de depuración y eficiencia en el regadío. La autora propone una serie de medidas en esta dirección.

**Palabras clave:** ciclo del agua, regadío, sostenibilidad, depuración acuifera.

## Considerations and cases in regards to the water cycle

**Abstract:** Environmental sustainability is directly related with the water cycle and the interventions of men on it, as much in its extraction, use and elimination. The conservation of soil and vegetation invariably depend on the accumulated impact of this process. The perspective of a major climatic change, with the subsequent increase of the planet's temperature, implies radical transformations in the water cycle, and thus, in its disposability and utilization. That is why it is overbearing to improve radically the saving of water, increasing at the same time the depuration systems and efficiency on the irrigated land. The author makes a series of propositions in this direction.

**Key words:** water cycle, irrigated land, sustainability, water depuration.

\* \* \*

## Objetivos de sostenibilidad

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas, las buenas prácticas en la gestión del recurso agua serán las que tengan por finalidad: (1) disminuir el gasto de agua, disminuyendo su consumo o reciclando y reutilizando al máximo el suministro, (2) extraerla con el menor deterioro posible de los ecosistemas, es decir dejando una parte para el desarrollo normal de ríos, humedales y acuíferos subterráneos y (3) devolverla a las aguas naturales en condiciones aceptables para que el impacto sobre los ecosistemas sea mínimo, lo que en términos antropocéntricos y para el caso de las aguas superficiales, se acostumbra a medir como calidad suficiente para que permita el baño y evite graves pérdidas piscícolas; para ello la mejor solución es contaminarlas lo menos posible en su uso y proceder luego a su tratamiento de depuración y (4) realizar esta depuración o descontaminación con un mínimo gasto energético e impacto ecológico.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas; bien directamente, mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas, como se ha dicho, o bien indirectamente, alterando la vegetación y la cobertura del suelo. Ambas formas de impacto alteran el régimen de circulación y la calidad de las aguas. Serán buenas prácticas también aquellas que vayan encaminadas a la conservación del suelo y la vegetación, siendo de notable interés la conservación de la vegetación de ribera que, además de aumentar la biodiversidad, hace de filtro de retención de nutrientes y de numerosos contaminantes (Prat & Ward 1994), disminuyendo mucho su entrada en los cauces de aguas o en los acuíferos, al tiempo que incorpora también a su biomasa los nutrientes de las aguas que fluyen por los cauces y mantos fluviales.

## El agua, recurso renovable pero limitado

El agua disponible se produce gracias a un transporte atmosférico de ésta del mar a la tierra, donde se puede considerar el mar como una caldera de destilación y la tierra como el condensador. El exceso de precipitación sobre la evaporación que se da en los continentes constituye el agua utilizable. Cualquiera que sea el uso del agua por el hombre (regadío, refrigeración, etc) aumenta su evaporación, convirtiendo una fracción mayor de los continentes en calderas de destilación, lo que repercutirá en el balance precipitación-evaporación en los continentes disminuyéndolo, pues parte del vapor generado en los continentes se precipitará también en el mar. Esto, unido a cambios climáticos que probablemente lleven a situaciones más secas, conduce a que nuestros objetivos deban estar dirigidos a obtener un consumo más eficaz del recurso y no a aumentar el suministro. Esto sin contar los enormes daños que el sobre-uso del agua está haciendo a los ecosistemas acuáticos que, o están contaminados, o están secos. Aumentar el suministro además de ser la solución más costosa, sólo lleva a retrasar una crisis que por esta vía sin duda se producirá.

En nuestro país se calcula que el balance de precipitación menos evaporación (incluida la evapotranspiración de las plantas) es de 114.000 Hm<sup>3</sup>/año (estimación del Plan Hidrológico Nacional 1993). Esto sería un máximo potencial inalcanzable debido a que unos 20.000 Hm<sup>3</sup>/año corresponden a la recarga media anual de los acuíferos y a que gran parte del resto de aquella agua cae en forma torrencial principalmente cerca de la costa, produciendo avenidas, de forma que torna al mar como escorrentía rápida; como media para toda la tierra se ha calculado que esto representa un 66 por 100 del agua que cae en los continentes (La Riviere 1989). (Si aplicásemos la misma proporción para España, sólo nos quedarían 39.000 Hm<sup>3</sup>/año útiles). Además habría que descartar también otras partes, difíciles de evaluar, no utilizables, del balance hídrico, pero básicas para el mantenimiento de los ecosistemas terrestres tanto naturales como cultivados, es decir la parte del agua que es absorbida por el suelo y los organismos vivos para mantener su biomasa. Según el plan Hidrológico Nacional antes citado, los recursos realmente disponibles en España, contando incluso explotaciones subterráneas, se estimaba que eran en 1992 unos 47.000 Hm<sup>3</sup>/año, mientras que la demanda de agua para usos consuntivos (abastecimiento, industria y agricultura) en el mismo año fue de 30.500 Hm<sup>3</sup>/año; si a esto se añade la demanda de usos no consuntivos, los que devuelven la mayor parte del agua que toman, como la refrigeración, hay que añadir 4.000 Hm<sup>3</sup>/año más; y si se consideran los embalses hidroeléctricos, la manipulación se incrementa en 16.000 Hm<sup>3</sup> anuales más. Esto indica que casi toda el agua disponible es utilizada.

Sin embargo, esta cifra global tiene poco significado porque hay enormes diferencias en la cuantía del balance precipitación-evapotranspiración de unas regiones a otras, por lo que algunas de ellas consumen más agua de la que disponen y se están mermando las reservas de embalses y acuíferos, a no ser que proceda al ahorro, al tiempo que se reutilicen las aguas. Para toda España, el consumo medio de agua se distribuye en un 80 por 100 para regadíos y un 20 por 100 para abastecimientos urbanos e industriales. Esta proporción general se invierte en el caso de zonas turísticas y las que contienen grandes urbes. Las aguas de regadío se devuelven en poca proporción al sistema natural y las de abastecimientos urbanos cada día que pasa son menos reutilizables ya que la reducción de los caudales de los ríos, por efecto de los regadíos, embalses, etc., unido al vertido excesivo de aguas residuales, ha disminuido dramáticamente su capacidad de autodepuración, convirtiendo amplios tramos fluviales en auténticas «cloacas a cielo abierto» de difícil recuperación.

Otro factor a tener en cuenta es la estacionalidad de las lluvias. Por ejemplo, se pasa por períodos muy secos donde se evapora una gran cantidad de agua, especialmente en los regadíos y luego las lluvias torrenciales no son utilizables más que para destruir, entre otras cosas, parte de las cosechas que tanta agua han consumido inútilmente. Las carencias de agua local se ven pues agravadas, puesto que donde falta más el agua es donde hay más demanda para regadíos y éstos incrementan todavía más la evaporación. La situación de las aguas subterráneas no es diferente. Aunque la mayoría del agua dulce del planeta es subterránea, no toda ella es fácilmente utilizable, ni se encuentra en las zonas donde se precisa. La escasez del recurso superficial en muchas regiones ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos, produciéndose casos de disminuciones de niveles freáticos que pueden llegar a ser alarmantes. Se cita en España el caso del acuífero 23 en La Mancha, cuyo descenso de nivel ha conseguido secar el antaño paraje húmedo del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

La calidad de las aguas subterráneas también sufre deterioros por otras actividades humanas. Si

nuestras extracciones se sitúan en zonas de cultivo intensivo, la lixiviación de sustancias procedentes de los campos produce un aumento de la concentración de nitratos y agrotóxicos consecuencia del abonado y de los tratamientos fitosanitarios; y muchos lugares dependen de estas aguas para el suministro urbano. Otro factor que acentúa la carencia de agua es la concentración de las poblaciones humanas en determinadas zonas, de modo que actualmente unos 2.000 millones de personas viven en zonas de escasez crónica de agua, y a medida que la población humana vaya creciendo la crisis se agravará, ya que su aumento es función exponencial del número de individuos y por tanto más grave en las zonas más densamente pobladas.

La introducción de procesos que economizan el agua es, al mismo tiempo, la mejor solución para combatir la contaminación

En los países en los que se han realizado programas de lucha contra la contaminación de las aguas, estos programas han conducido siempre a una reducción de la demanda de ésta, incluso en los países húmedos. Estas experiencias serían aún de mucho más interés en los países situados en áreas con escasez de agua. Por ejemplo en Suecia, cuando la distribución de agua dejó de ser gratuita, el consumo doméstico de agua bajó a un valor de saturación de 210 litros por persona/día (Falkenmark 1988). En el caso de la industria, la reducción del consumo de agua fue drástica: en poco tiempo se redujo a menos de la mitad; las industrias se dieron cuenta de que salía mucho más barato reciclar el agua que depurarla. Es decir, si modificaban los procesos industriales de manera que sólo necesitaran una pequeña cantidad de agua para reponer aquella que irremisiblemente se perdía en los circuitos, reducían la factura, ya que una gran parte del gasto se debía al coste de su depuración ya fuera por medios externos, o porque ellas mismas tuvieran que hacer funcionar sus depuradoras. El mismo Falkenmark (1988) concluye que la presión para la protección de la calidad de las aguas en Suecia llevó a un ahorro de su consumo, ya que evitar el vertido es mejor solución que luego tener que extraerlo, y añade que en países con deficiencia de agua éste puede ser también el factor que active procesos similares de los que se obtienen dos logros que van de la mano: disminuir la demanda y eliminar la contaminación

En países como Suecia, donde no se gasta casi agua en la agricultura, no se considera este uso; pero también aquí las técnicas destinadas al ahorro de agua reducen no sólo la contaminación sino también los mayores peligros que conlleva la irrigación, como son la salinización y encharcamiento del suelo. En los climas secos la evaporación de agua de riego en la superficie va concentrando las sales en el suelo, esto frena la absorción de agua por parte de los vegetales y acelera su deshidratación. En países de regiones áridas como la India se han tenido que abandonar grandes extensiones de cultivos en regadíos por este proceso, tomándose también como causa del declive de grandes civilizaciones, como el de la antigua Mesopotamia. Por esto en zonas secas es de vital importancia la compatibilidad entre el tipo de aguas, según su mineralización, con el tipo de suelos que riegan, así como la nivelación de los terrenos y el uso adicional de agua para una lixiviación y drenaje necesarios para conseguir un equilibrio salino.

Pérdidas en las conducciones que van a parar al nivel freático y luego ascienden por capilaridad o mala gestión de la frecuencia, cantidad y calidad del agua de riego, pueden conducir fácilmente a los problemas de salinización y encharcamiento. Las técnicas de riego han evolucionado hacia aumentar su eficacia y el ahorro de agua; del riego a manta o por surcos, se ha pasado al riego por aspersión con control automático para regar cuando la plantas lo necesiten y a la microirrigación por goteo o por microdifusores con bioprogramadores de irrigación. La microirrigación aporta agua justo en el lugar donde se desarrollan las raíces de las plantas, en cantidades muy pequeñas y fraccionadas en el tiempo, según los requerimientos de éstas. Los estudios sobre la fisiología de las plantas han avanzado, y la aplicación de estos conocimientos permite utilizar a las mismas plantas como sensores, para suministrar el agua justo cuando va a ser absorbida por las raíces. De este modo se disminuye la evaporación, la salinización del suelo y su saturación de agua.

Otra de las ventajas es que se ahorra en fertilizantes y pesticidas, ya que el agua de la microirrigación los puede transportar en dosis controladas, justo al lugar donde son necesarios. Esto, además de un ahorro económico, supone una menor incidencia en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por ejemplo la concentración de nitratos en las aguas se ha quintuplicado en quince años (Lemarchand 1990) y dos tercios de esta acumulación procede de la agricultura y ganadería. Los nitratos y también algunos residuos de plaguicidas son muy solubles y fácilmente contaminan las capas freáticas y las aguas potables. En algunas ocasiones, la rotación de cultivos o implantación de otros entre los cultivos principales pueden retirar el

exceso de abonos, antes de que se los lleve el agua.

## **El agua en las ciudades**

El consumo humano somático, es decir el requerimiento de agua para beber, se estima en poco más de 2 litros persona/día (que corresponden a las salidas de 1,4 l en la orina y 0,2 l en los excrementos y las pérdidas por evaporación de 0,7 l por los pulmones y 0,1 l en el sudor, es decir se devuelven 1,6 a las aguas residuales). Esto supone menos del 10 por 100 de los consumos y contaminaciones urbanas cuyas cifras van, según los datos de la demanda por los abastecimientos urbanos en España en el año 1992 (Plan Hidrológico Nacional), desde 179 litros habitante/día en Galicia a 389 litros habitante/día en la cuenca Sur, con una media de 295 litros habitante/día. Esto incluye el consumo personal de los habitantes, los servicios, los comercios y las pequeñas industrias o empresas dentro del tejido urbano. Existe además un demanda industrial adicional de 144 litros por habitante/día en España. Esta cifra de unos 300 litros habitante/día es muy alta ya que luego genera una cantidad igual de aguas residuales. En muchas ciudades de países desarrollados, al no poder mantener cifras mucho mayores de consumo debido a la gran cantidad de aguas residuales que se generaba por las poblaciones en aumento, se llegó a la cifra de saturación de 210-220 litros habitante/día, al concienciar a la población de que quien contamina debe pagar.

Los ecosistemas urbanos tienen un ciclo hidrográfico complejo. Por un lado hay un ciclo natural de lluvia y evaporación y por otro unas aportaciones considerablemente mayores para el consumo y la circulación que tiene lugar por subterráneos y entre paredes artificiales. La contaminación difusa por el alcantarillado no se conoce, aunque puede ser grande, sin embargo sí se ha estudiado la contaminación de la escorrentía pluvial en las ciudades (Desbordes et al. 1990). Las aguas de lluvia no pueden ser evacuadas por las alcantarillas ya que esto no permite el funcionamiento de las depuradoras, y la contaminación después de las lluvias puede ser muy grande, a la vez que es la causa de inundaciones a veces catastróficas, agravado por el hecho de la impermeabilización de espacios cada vez más extensos. La gran contaminación de las aguas de la escorrentía pluvial y el problema de las inundaciones, ha llevado a pasar de métodos que incluían aliviaderos, a la separación total de los circuitos de agua, unos para la evacuación del agua de lluvia y otros para las aguas residuales.

Hoy en día las nuevas técnicas para resolver estos problemas se basan en la retención de las aguas pluviales y no en el concepto higienista de hacer unos años de evacuarlas lo más rápido posible. En muchas ciudades se han hecho cubetas de retención, a veces cadenas de estanques, donde se canalizan las aguas de lluvia o plazas normalmente secas pero que pueden hacer la función de retención de las aguas. También se pueden hacer depósitos subterráneos que a modo de grandes cisternas recojan aguas de determinadas zonas y estas aguas pueden ulteriormente emplearse en el regadío de jardines, campos de deportes etc. En algunas ciudades también se han ensayado pavimentos porosos que además disminuyen el ruido del tráfico rodado.

### **Breves indicaciones a modo de síntesis que se consideran interesantes para un uso sostenible del agua**

1. Mantenimiento y reparación de las conducciones en las ciudades, asentamientos humanos e industrias ya que se calcula que un tercio del gasto de agua no es consumo real sino pérdidas en la red de conducciones. Lo mismo se puede decir de las conducciones agrícolas. De igual importancia es el mantenimiento y control del buen funcionamiento de las depuradoras existentes, que en un porcentaje muy elevado no se hacen funcionar para ahorrarse dinero o porque están estropeadas, en algunos casos funcionan pero sin conseguir su finalidad, bien porque estén mal diseñadas o mal gestionadas o simplemente porque no son adecuadas para las características de las aguas que hay que depurar.

2. Reutilización del agua en las industrias, lo que resultaría más económico para muchas de ellas, además de disminuir la contaminación, ya que parte de los productos necesarios para los procesos de fabricación -y que se pierden en los vertidos- podrían aprovecharse de nuevo. El precio del agua incluirá en un futuro próximo el coste total de su descontaminación, por lo tanto para las industrias será más rentable

modificar sus procesos industriales para que sean prácticamente secos, es decir involucrar un consumo de cantidades muy pequeñas de agua, justo el suficiente para el funcionamiento de un esquema de circulación cerrada de manera que no descargasen aguas residuales. En algunos casos el circuito de agua podría involucrar una cadena de industrias de manera que unas utilizaran el agua procedente de las otras, o bien porque no necesitaran agua de tanta calidad, o bien porque alguno de los productos que descargara al agua la industria precedente fuera recuperado y favoreciera sus procesos industriales. Si el agua no es reutilizable directamente, la depuración debería ser una parte indispensable de la tecnología de la producción, con el fin de impedir la formación de aguas residuales.

3. Reutilización de las aguas en los usos domésticos de las casas (por ejemplo, desagües de las lavadoras o duchas conectados a las cisternas del water).

4. Reutilización de las aguas en espacios públicos o privados. Las aguas de riego de los jardines, campos de golf u otros espacios deben proceder de la reutilización de las aguas residuales domésticas, más o menos depuradas, evitando la sobre-evaporación y el encharcamiento para impedir la salinización del suelo. Las fuentes ornamentales deben estar provistas de mecanismos de recirculación.

5. Reducir en los usos domésticos el consumo de agua y el de contaminantes: detergentes, lejías, productos de limpieza, insecticidas o tóxicos en general, etc.

6. Depuración de las aguas residuales cuando sea posible por métodos blandos, lagunaje, filtros verdes o que por lo menos incluya la depuración biológica que genera menos fangos. Si los efluentes superan la concentración de 1 mg/l de fósforo, se tendría que establecer la depuración terciaria, que podría hacerse también por filtros verdes, lechos filtrantes aerobios o fitodepuración con macrófitos.

7. Mejora de prácticas agrícolas. Riego por goteo, mejorar la eficacia en la aplicación de pesticidas y abonos con el fin de utilizar muchos menos, etc.

8. Hay que valorar lo que realmente cuesta el abastecimiento de agua a las ciudades. Se debe conocer el balance entre las aguas que cada ciudad utiliza, los gastos adicionales de agua que ocasiona el crecimiento de la misma y los efectos perjudiciales para el medio ambiente que se derivan de las obras hidráulicas para el abastecimiento de este agua. Si proceden de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica, hay que hacer un cálculo de los recursos disponibles, de lo que su utilización y transporte supone para el medio ambiente y hacer un balance para determinar el consumo máximo de agua de dicha procedencia que la ciudad puede tener. Si es de las aguas subterráneas la explotación de las mismas debe hacerse de acuerdo también con los cálculos de un balance, es decir, con las garantías de que el acuífero se recargará de nuevo. Si las lluvias son importantes habría que estimular los proyectos de retención de estas aguas y a ser posible construcción de cisternas en grupos de edificios o barrios, cuya agua puede ser luego utilizada. Si el agua no es suficiente, o hay que limitar el crecimiento de la ciudad (no pueden existir megalópolis en áreas sin suficientes recursos hídricos), o controlar el consumo mediante el pago del agua a su precio real. La construcción y mantenimiento de plantas de desalinización u otras soluciones debe costearse mediante una escala de gravamen de acuerdo con el consumo de agua.

9. El suministro de agua produce luego agua contaminada, debiéndose valorar también lo que cuesta la descontaminación de la misma y hacer pagar al consumidor, no al contribuyente, la depuración del agua que utiliza.

10. Los trasvases deben reducirse al mínimo y utilizarse exclusivamente en situaciones de emergencia, porque no sólo suponen el hipotecar los recursos de la cuenca que proporciona el agua del trasvase, sino también los riesgos de salinización o desequilibrios en la química de los suelos que se bañaran con estas aguas. Además, el daño ecológico que los trasvases suponen es enorme.

11. Se deberían recuperar los ríos y la vegetación de su cuenca. El canalizar los ríos es nefasto ya que sólo sirve para aumentar la escorrentía rápida y las avenidas, y hace desaparecer el bosque de ribera al provocar su desconexión con el acuífero subálveo asociado. La vegetación es básica para la existencia de un suelo que pueda retener el agua. La vegetación controla el flujo de agua de los ríos y contribuye a su regulación. Por tanto, se tendría que dedicar esfuerzo a evitar la deforestación y prevenir los incendios.

12. El recuperar los ríos con su vegetación de ribera contribuiría también a tener sendas o itinerarios de la naturaleza cerca de asentamientos humanos y ciudades, que en algunos casos, siempre en núcleos urbanos, podría haber la posibilidad de que constituyeran también áreas recreativas (por ejemplo, la que se ha construido en el Júcar a su paso por Cuenca).

Dado que la fragmentación reduce la diversidad, los espacios naturales deberían estar conectados. Puesto que el 80 por 100 de la población está en las ciudades y que existen enormes presiones desarrollísticas en las áreas urbanas, que conducen a perder de forma acelerada los espacios naturales, en el Reino Unido se han propuesto las siguientes medidas, que deberían incluirse en las planificaciones urbanas (Box & Harrison 1992): Un residente urbano debería disponer de un espacio de al menos 2 Ha, a menos de medio kilómetro de su casa y las reservas naturales de las áreas urbanas deberían ser de al menos 1 Ha por cada mil habitantes (10 m<sup>2</sup> por habitante). Añaden también que los habitantes deberían tener acceso al menos a 20 Ha, 100 Ha y 500 Ha en un radio de respectivamente 2 Km, 5 Km y 10 Km de sus casas. La zonas húmedas y las sendas al lado de los ríos son especialmente contempladas para estos espacios naturales.

## **Casos españoles**

Se han recogido muy pocos casos, debido en gran parte a que en nuestro país, a pesar de que el problema del agua es uno de los más graves que tenemos, los municipios se han preocupado poco por él y en realidad han exigido un suministro de agua sin valorar el enorme gasto económico que esto suponía para el contribuyente tanto para transportarla a la despilfarradora ciudad, como para luego depurarla, a la vez que se destruían los ecosistemas acuáticos del país. Los casos de buenas prácticas que me han sido remitidos se refieren fundamentalmente a mejoras en la depuración de aguas residuales. Probablemente existan bastantes más, sin embargo la información no ha podido ser conseguida en esta primera etapa, pero espero que estas primeras recopilaciones sirvan de estímulo para que se puedan adicionar en el futuro más casos a este catálogo abierto.

## **Casos relacionados con la sensibilización de los consumidores**

En primer lugar se pueden considerar buenas prácticas algunas actividades dirigidas a la concienciación de los consumidores de agua. Las ciudades españolas grandes se han dado cuenta de que no es posible el aumento de la demanda de agua porque están llegando al límite de las posibilidades de los recursos hídricos de la zona. La mayoría de las ciudades en su expansión han buscado recursos hídricos cada vez más lejanos, acelerando su transporte y pérdida al mar y teniendo que pagar grandes cantidades para su depuración, bien sea para verterlas a cauces fluviales o al mar, depuración que en la mayoría de los casos es insuficiente. Por ello estas ciudades se han dado cuenta de que tienen que disminuir su crecimiento y muchas de ellas se han estabilizado o lo están reduciendo mucho. Además en muchos lugares se han lanzado campañas para reducir el consumo de agua. A estas campañas se debería unir la sensibilización para limitar también la utilización de detergentes y otros productos que contribuyen al deterioro de los ecosistemas acuáticos. Una serie de buenas prácticas pues las tenemos en las campañas de sensibilización de las gentes a reducir el consumo de agua. De estos casos se puede señalar la campaña para el ahorro de agua en Madrid y Bilbao durante la sequía de 1992-93.

## **Casos relacionados con la depuración de las aguas**

### **Depuración por lagunaje**

La depuración por lagunaje es la más aconsejable cuando sea posible, es decir, en núcleos de población no excesivamente grandes. El mecanismo de funcionamiento es biológico y se produce de manera espontánea y natural, requiriendo fundamentalmente energía solar. El oxígeno de la fotosíntesis algal se utilizará para

descomponer la materia orgánica. Estos sistemas por tanto son de impacto mínimo, de bajo consumo energético y fácil manejo; y como se trata de procesos naturales, no dependen de las vicisitudes económicas de los municipios, permitiendo, si están bien dimensionadas, obtener agua de buena calidad con un mínimo de control y seguimiento de los vertidos a depurar. El reconocimiento internacional de la bondad de la técnica, sobre todo en climas cálidos, ha pasado en pocos años a convertirse en la elección prioritaria de muchos municipios españoles. Según Ferreiro (1991) existían en este año en España un centenar de depuradoras de este tipo, número que ha ido incrementándose. Una alternativa a los sistemas de lagunaje más convencionales es la del lagunaje profundo, que consiste en lagunas de gran profundidad (5 a 10 m), capaces de almacenar grandes volúmenes de agua ocupando relativamente poco espacio. De este modo se construyen lagunas fácilmente estratificables con dos capas de agua, una aerobia superficial y otra anaerobia, cuyo funcionamiento se favorece en climas cálidos. Pondremos como ejemplo el caso siguiente:

#### • **Depuración por lagunaje en Murcia**

##### **Campus Universitario de Espinardo. Universidad de Murcia**

Magnífica experiencia de lagunaje profundo (6,5 m de profundidad) y largo tiempo de retención, superior a 100 días. El seguimiento del sistema ha demostrado que es muy eficaz eliminando las bacterias indicadoras de contaminación fecal, la materia orgánica y los nutrientes (Berná 1990). Esta laguna da tan buenos resultados que aún teniendo asociada una laguna de maduración, ésta no se usa, ya que el agua era de suficiente calidad y el paso por la laguna de maduración no aportaba mejoras. Esta laguna bien equilibrada y de dimensiones suficientes para el vertido recibido origina pocos fangos, la materia orgánica se descompone prácticamente en su totalidad, por lo que desde su puesta en funcionamiento no ha tenido que limpiarse y probablemente no tenga que hacerse en años. Las aguas depuradas se reutilizan para regadíos del propio campus.

#### **Tratamientos terciarios de depuración de las aguas**

Consideramos casos de interés en métodos de depuración de las aguas, aquellos que conduzcan a su depuración terciaria. Éstos apenas existen en las ciudades o pueblos españoles pero son imprescindibles para un desarrollo sostenible. Se comentan seguidamente algunos casos que se consideran interesantes:

#### • **Depuración de aguas residuales por macrófitos en la provincia de León, para núcleos de población pequeños. Diputación y Universidad de León**

En la actualidad existe en Mansilla de las Mulas una planta piloto y se pretende construir otras en esta provincia. La eficacia de estas plantas está avalada por los magníficos resultados obtenidos en la estación depuradora a base de macrófitos de Viville, Bélgica, con la que están en estrecha colaboración.

Estas estaciones constan de un decantador/digestor convencional o de un sistema de lagunaje que va asociado a una serie de balsas por las que circula el agua cuando sale del mismo y en donde se instalan diferentes especies de plantas acuáticas, macrófitos, seleccionadas de entre las especies autóctonas, sobre las que lleva experimentando durante varios años la Universidad de León, como mejoras para aquel sustrato y clima. Estas plantas pueden realizar un tratamiento terciario de las aguas (Ansola y Luis 1994), (Brix y Schierup 1989) con bajos costos de funcionamiento y mantenimiento. Al mismo tiempo la biomasa producida podría utilizarse para diferentes usos: compost, alimento animal, papel, etc. Algunas plantas son extraordinariamente útiles para la retirada de tóxicos como pesticidas o metales pesados (Shutes et al. 1993), (Bavor & Mitchell 1994).

Estas depuradoras vegetales además de no requerir prácticamente energía, ni productos químicos, ni mano de obra especializada, se integran en el paisaje perfectamente y contribuyen a mantener la biodiversidad.

En realidad son depuradoras auxiliares, pero que pueden integrarse en un núcleo urbano sin molestar a los vecinos, antes al contrario mejoran el paisaje y proporcionan un agua de buena calidad.

#### • **Depuradora de Portinax. San Juan de Labritja, Ibiza**

Depuradora interesante porque combina un sistema de lagunaje con anaerobiosis con una aireación natural por sucesivas cascadas, el agua salta por gravedad de unos compartimentos a otros en los que se divide

la primera laguna. Posteriormente el agua pasa a una laguna homogenizadora y finalmente a una laguna de maduración. Sólo se encuentra un punto débil a estas instalaciones, esto es que el tiempo de retención del agua (3 días) en todo el sistema es demasiado corto, quizás debería aumentarse el volumen de las lagunas para asegurar una depuración más completa, ya que el proyecto contempla la reutilización del agua para la recarga de acuíferos y el riego de jardines o campos agrícolas.

• **Tratamiento terciario por infiltración-percolación en la depuradora de Sant Lluís (Menorca)**

Se trata de un tratamiento terciario de las aguas para pequeños núcleos de población, que consiste en la pulverización del agua procedente de una depuradora convencional (tratamiento secundario) para dispersarla sobre un lecho de arena filtrante de reducidas dimensiones (0,1 Ha de superficie y 1,5 m de espesor). Con ello se consigue la eliminación de sólidos en suspensión, completar la oxidación de la materia orgánica y del nitrógeno amoniacal y eliminación de microorganismos patógenos. Su funcionamiento intermitente, de modo que la arena pase por períodos alternantes de saturación y sequedad, asegura las condiciones aerobias del proceso. El agua de salida en este caso se utiliza para el riego agrícola que con este tratamiento terciario puede utilizarse sin restricciones.

De estas instalaciones sólo existe un pequeño número en España, pero pueden dar buenos resultados en núcleos de población pequeños, obteniéndose un agua reutilizable o que vertida en las aguas naturales genera poca contaminación.

## **Casos relacionados con la reutilización de las aguas residuales**

Son extraordinariamente importantes los planes de reutilización de aguas residuales. En bastantes municipios las aguas de depuradora se utilizan en el entorno próximo para regadío agrícola, de jardines y de campos deportivos, especialmente de golf, y también en algunos casos como recarga de acuíferos y para prevenir la intrusión marina en las costas. Es de extraordinaria importancia que estas aguas hayan recibido el tratamiento adecuado que garantice su calidad. Nos consta que hay bastantes casos en España como los indicados, pero se comentará solo el siguiente por carecer de la información suficiente sobre otros muchos:

**Plan de reutilización de las aguas residuales en Vitoria-Gasteiz**

El plan consiste en reutilizar el agua residual y resolver el déficit de agua de la comarca de Vitoria-Gasteiz. Para ello propone aplicar un tratamiento terciario a las aguas de una planta ya existente con tratamiento secundario y el desvío, fuera de la red de colectores de agua residual, de los caudales limpios de arroyos que por esta vía acababan en la depuradora. De esta manera se mejora el funcionamiento de la depuradora al conseguir que trate un caudal constante. Así, los efluentes saldrán de la depuradora con la calidad aceptable para poder ser vertidos en el río, por lo que mediante bombeo se pueden transportar aguas arriba del río Zadorra, luego estas aguas irían al embalse de Ullibarri consiguiéndose la recuperación íntegra de las aguas residuales de Vitoria-Gasteiz.

## **A modo de resumen**

Los siguientes puntos pretenden sintetizar ejemplos de buenas prácticas en relación al uso del agua, tal y como he desarrollado en este artículo en este artículo.

-Potenciación del ahorro del agua en todos los ámbitos de la actividad humana: abastecimiento urbano, industrial y sobre todo agrícola, que en España es con mucha diferencia el mayoritario.

-Hacer una apuesta decidida por la depuración mediante lagunaje en la multitud de pequeños y medianos grupos urbanos como técnica no consumidora de energía y con bajo coste de mantenimiento.

-Impulsar la investigación y la innovación tecnológica para el tratamiento terciario de las aguas residuales, insistiendo en la utilización de técnicas biológicas como es la fitodepuración mediante macrófitos acuáticos. Esta técnica, además de reducir la concentración de nutrientes, permite extraer de las aguas



diversas sustancias tóxicas, como por ejemplo metales pesados.

-Desarrollar proyectos que posibiliten el reciclaje del agua residual adecuadamente depurada, lo que viene en favor del ahorro del recurso.

-Profundizar en los aspectos relativos a la mejora de regadíos tendentes al ahorro de agua como paso previo a una política generalizada de trasvases. Esto permitiría corregir uno de los puntos débiles de la actual planificación hidrológica que antepone la ejecución de grandes obras hidráulicas y entre ellas los trasvases al estudio y mejora de los sistemas de ahorro de agua, depuración terciaria de caudales residuales y reciclaje de éstos, tres aspectos en los que todavía queda mucho por hacer.

-Por último, se mencionarán otras recomendaciones relativas a las aguas tales como: separación de las aguas pluviales y residuales en las conducciones urbanas para evitar el colapso de las depuradoras y la contaminación general, pudiendo las aguas pluviales ser recogidas en zonas húmedas artificiales construidas en las inmediaciones de las ciudades; remodelación del entorno fluvial a su paso por las ciudades estructurándolo como áreas de esparcimiento para los ciudadanos; potenciar la vegetación de ribera en los cauces fluviales como agentes naturales involucrados en la retención de nutrientes y mantenimiento de la calidad de las aguas.

## Notas

\* Publicado en Boletín CF+S Nº 8 Ciudad, economía, ecología y salud, enero de 1999. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n8/afagu1.html>

\*\* Catedrática de Ecología de la Universidad de Valencia. Preside la Asociación Española de Limnología. FALTAN REFERENCIAS

## Bibliografía

Ansola, G. y E. L. (1994) "Concentración de nutrientes en helófitos acuáticos utilizados en depuración de agua residual", en *Limnetica* Nº10.

Bavor, H. J. y Mitchell D.S. (Eds.), "Wetland Systems in water pollution control", in *Wat. Sci. Tech.* 29 (4).

Berná, L. N. (1990) "Caracterización microbiológica del proceso de depuración de aguas residuales por lagunaje profundo", Tesis Doctoral, Universidad de Murcia.

Box, I. y Harrison, C.M. (1992) *Natural spaces in urban places. Town and Country Planning*. Urban Forum Publications.

Brix, H y Schierup, H. H. (1989) "The use of aquatic macrophytes in water pollution control", in *Ambio* 18 (2): 100-107.

Desbordes, M., Deutsh, J. C. y Frérot, A. (1990) "El agua en las ciudades", en *Mundo científico* 10, 752-759.

Falkenmark, M. (1988) "Disminución de la demanda de agua, resultado del programa sueco contra la contaminación", en *Ambio. El Agua. Blume ecología*.

Ferreiro, D. (1991) "Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores", en *Monografías de la Secretaría de Estado para políticas del Agua y del Medio Ambiente*, MOPT.

La Rivière, J.W.M. (1989) "Los recursos hídricos amenazados", en *Investigación y Ciencia* 158.

Lemarchand, F. (1990) "Los nitratos y los plaguicidas se infiltran en el agua del grifo", en *Mundo Científico* 10.

Prat, N. y Ward, J.V. (1994) "The tamed river", in Margalef (Ed.), *Limnology now. A paradigm of planetary problems*, Elsevier.

Shutes, R. B., Ellis, J. B., Revitt, D. M. y Zang, T. T. (1993) "The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban Wtlands", in *Constructed wetlands for water quality improvement*, CRC Press.