

Gutiérrez V, Ladron de Guevara A, Fernández E, Asmat P, Alva-Davalos V, Huguin C and Kochel T. 2002 Circulation of dengue viruses in northwestern Peru, 2000-2001. Dengue Bulletin, WHO 27: 52-62.

### **CICLO DEL AGUA «OBJETIVOS DE SOSTENIBILIDAD»**

**Ing. Yann Baudran<sup>1</sup>**

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 mayor carga de aguas residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquél 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:

- Disminuir el gasto de agua, reducir el consumo o reciclar y reutilizar al máximo el suministro.
- Extraerla con el menor deterioro posible de los ecosistemas, es decir dejando una parte para el desarrollo normal de ríos, humedales y acuíferos subterráneos.
- 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.
- 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, ya sea directamente, mediante extracción 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, es 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, 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 del agua del mar a la tierra, 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 sobreuso del agua está haciendo a los

<sup>1</sup> Empresa COPERSA S.A.C.

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.

Para todo el Perú, el consumo medio de agua se distribuye en 40% para regadíos y 60% para abastecimientos urbanos e industriales. Esta proporción general se invierte en el caso de zonas turísticas.

Las aguas de regadío se devuelven en poca proporción al sistema natural y las de abastecimientos urbanos, cada día que pasa, son menos reutilizables, porque 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. La carencia de agua local se ve pues agravada, puesto que donde más falta 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. La calidad de las aguas subterráneas también sufre deterioro por otras actividades humanas. Si nuestras

extracciones se sitúan en zonas de cultivo intensivo o en zona de explotación minera, la lixiviación de sustancias procedentes de los campos, los relaves o desmontes mineros, produce un aumento de la concentración de nitratos, agrotóxicos, metales y aguas ácidas consecuencia del abonado sin cierre adecuado 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 2000 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 en 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, se ha conducido siempre a una reducción de la demanda de agua, 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 L por persona y 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, modificaban los procesos industriales de manera

que sólo necesitaban una pequeña cantidad de agua para reponer el agua 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 obtendrían dos logros, que van de la mano, disminuir la demanda y eliminar la contaminación.

En países como Suecia que 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 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 las plantas lo necesiten, y a la microirrigación por goteo o por microdifusores y 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 las plantas. 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 la saturación de agua. Otra de las ventajas es que se ahorra en fertilizantes y pesticidas, ya que el agua de la microirrigación se puede transportar, en dosis controladas, justo al lugar donde es necesario. 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 la 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.

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

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 (para Lima esta cifra sube al 50%). 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.

Reutilización del agua en las industrias. Esto 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.

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

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 sobreevaporación y el encharcamiento para impedir la salinización del suelo. Las fuentes ornamentales deben estar provistas de mecanismos de recirculación.

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

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 fango. 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.

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.

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 urbano y los efectos perjudiciales para el medio ambiente que se derivan de las obras hidráulicas para el abastecimiento de esta 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 la explotación es de las aguas subterráneas debe hacerse también de

acuerdo 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 de ser posible la 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.

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

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 bañarán con estas aguas. Además, el daño ecológico que los trasvases suponen es enorme.

Se deberían recuperar los ríos y la vegetación de su cuenca. Canalizar los ríos es nefasto porque 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 esfuerzos para evitar la deforestación y prevenir los incendios.

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.

Dado que la fragmentación reduce la diversidad, los espacios naturales deberían estar conectados. Puesto que 80% de la población está en las ciudades y existen enormes presiones de desarrollo en las áreas urbanas que conducen a perder de forma acelerada los espacios naturales.

#### **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 de energía solar. El oxígeno de la fotosíntesis de las algas se utilizará para descomponer la materia orgánica. Estos sistemas 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 por 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.

Una opción 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.

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

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

#### *Depuración de aguas residuales por macrófitos, para núcleos de población pequeños*

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 sistema y en donde se instalan diferentes especies de plantas acuáticas.

Estas plantas pueden realizar un tratamiento terciario de las aguas 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.

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 pueden integrarse en un núcleo urbano sin molestar a los vecinos, y por el contrario mejoran el paisaje y proporcionan agua de buena calidad.

#### *Depuradora de Portinax*

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 homogeneizadora 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**

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 hectárea 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 la 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.

### **Conclusiones**

Los siguientes puntos pretenden sintetizar ejemplos de buenas prácticas en relación con el uso del agua, tal y como lo he desarrollado en este artículo:

Potenciación del ahorro del agua en todos los ámbitos de la actividad humana: abastecimiento urbano, industrial, agrícola y minero que en Perú 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 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, los metales pesados.

Desarrollar proyectos que posibiliten el reciclaje del agua residual adecuadamente depurada, lo que permitiría ahorrar el 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, como la 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.

### Bibliografía

1. Bavor, H.J. & D.S. Mitchell (Eds.) () «Wetland Systems in water pollution control».
2. Berná, L.N. (1990). «Caracterización microbiológica del proceso de depuración de aguas residuales por lagunaje profundo».
3. Brix, H. & H.H. Schierup. (1989.) The use of aquatic macrophytes in water pollution control.
4. Desbordes, M.; J.C. Deutsh & A. Frérot. (1990.) «El agua en las ciudades».
5. Falkenmark, M. (1988.) «Disminución de la demanda de agua, resultado del programa sueco contra la contaminación».
6. Ferreiro, D. (1991). «Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores».
7. La Rivière, J.W.M. (1989). «Los recursos hídricos amenazados». (Investigación y Ciencia 158: 54-62).

### CARBUNCO EN LIMA SUR, MAYO 2005

#### Manuel Céspedes<sup>1</sup>

El viernes 13 de mayo de 2005, se recibe la notificación en el INS de casos probables de ántrax animal con algunos contactos humanos en la zona de Lurín reportados por la comisaría del lugar. Los dos pacientes presentan lesión cutánea, una en el dedo pulgar de la mano izquierda y el otro en el antebrazo izquierdo, las edades entre 32 y 38 años. Los dos pacientes se dedican a la crianza de ganado vacuno.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Salud Pública-Instituto Nacional de Salud.