

Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales

Jordi Morató^{1,3}/ Anna Subirana¹/ Anna Gris¹/ Alex Carneiro¹ / Rosario Pastor^{2,3}

Sustainable Technologies for water potabilization and wastewater treatment

Resumen

Actualmente 1100 millones de personas carecen de acceso a agua potable y 2600 millones de personas no disponen de sistemas de saneamiento adecuado, sistemas con los cuales se reducirían un gran número de enfermedades. Desde las instituciones internacionales se está trabajando para paliar esta crisis del agua, pero la tendencia sigue siendo negativa.

El uso de tecnologías sostenibles es indispensable para avanzar hacia una mayor cobertura mundial, desde la captación de agua, su tratamiento y el reuso. Se presentan los humedales construidos como un ejemplo de tecnología adecuada y sostenible de tratamiento para una gran variedad de aguas residuales, incluyendo un origen urbano, agrícola o industrial, entre otros.

Palabras clave: Tratamientos sostenibles. Aguas residuales. Suministro de agua. Humedales construidos. Aspectos sanitarios. Indicadores. Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Abstract

At the moment 1100 million people lack access to purified water and 2600 million people do not have suitable systems for water sanitation, systems that would help to reduce a great number of diseases. Although several actions have been undertaken from the different government and international institutions, trying to elude the water crisis, the tendency continues being negative.

The utilization of different sustainable technologies will be essential in order to advance towards a greater worldwide water supply, from the water collection, its treatment and reuse. The constructed wetlands are presented as an example of suitable and sustainable technology to treat a variety of wastewaters including an urban, agricultural or industrial source, among others.

Keywords: Sustainable treatments. Wastewater. Water supply. Constructed wetlands. Health aspects. Indicators. Millennium Development Goals.

Introducción

Actualmente existe en el planeta una población de alrededor de 1,1 billones de personas que no dispone de acceso a sistemas de abastecimiento, especialmente en Asia y en el África subsahariana, mientras que 2.6 billones de per-

sonas no tienen acceso a sistemas de saneamiento.¹ A pesar de que las Naciones Unidas asumieron el compromiso de reducir a la mitad esta cifra antes del 2015, todos los datos indican que estamos muy lejos de conseguirlo.^{2,3} En algunos casos la mala evolución de los indicadores puede ser debida a condicionantes

¹ Laboratorio de Microbiología Sanitaria y Medioambiental. Cátedra UNESCO de Sostenibilidad. Universitat Politècnica de Catalunya, EUOOT-Edifici TR8, C/Violinista Vellsolà, 37, Terrassa-08222. Barcelona, España / ² Cátedra UNESCO "Educación, desarrollo, tecnología y sistemas de financiamiento para América Latina", Universitat Ramon Llull, c/. Claravall, 1-3, 08022 Barcelona, España / ³ Ingenia Biosystems (www.ingeniabios.com)

Correspondencia: Jordi Morató. email: morato@oo.upc.edu

Fecha de recibo: 18/03/2006; Fecha de aprobación: 20/06/2006

ambientales, como la sequía, aunque a menudo los suministros se ven amenazados por la mala gestión, el despilfarro y la contaminación.

El agua es un requerimiento básico para la vida y la salud. Consumir agua en mal estado es una de las principales fuentes de infección y la causa de diversas enfermedades gastrointestinales, como el cólera. Alrededor de 2 millones de personas mueren cada año debido a diarreas, siendo la mayoría de ellas niños menores de 5 años.⁴ El impacto de las enfermedades de origen hídrico se puede ilustrar por comparación, con un avión intercontinental lleno con 400 niños y 100 adultos, que se estrellara cada media hora sin ningún superviviente.⁵ Este cálculo se basa en la mortalidad real de aproximadamente 50.000 personas diarias, debido a enfermedades transmitidas a través del agua.

Diferentes brotes epidémicos han afectado a un gran número de personas en regiones de todo el mundo. Aunque es habitual pensar que las enfermedades de transmisión hídrica afectan fundamentalmente al llamado tercer mundo, países plenamente desarrollados se han visto igualmente afectados. Por ejemplo, 403.000 habitantes de la ciudad de Milwaukee en los USA fueron afectados el 1993, por un caso de enfermedad gastrointestinal a partir del protozoo *Cryptosporidium*.^{6,7} Pese a que la mortalidad de casos como éste es baja, sólo el impacto socio-económico ya es realmente extraordinario.

Por otra parte, la demanda global de agua sigue aumentando sin parar. En cien años, la población mundial se ha triplicado, pero el consumo de agua se ha multiplicado por seis. Al incremento de la población mundial –y de las poblaciones de animales domésticos-, es preciso añadir el hecho de que los recursos al alcance de todo el mundo disminuyen por el incremento de los procesos de contaminación. Las proyecciones indican que la extracción global de agua para 2025 habrá aumentado un 22 % con respecto a su nivel de 1995, a un total de 47.772 km^{3,8}. En conjunto, el consumo de agua con fines domésticos, industriales y ganaderos –es decir, todo el consumo con excepción del riego- registrará un fuerte aumento de un 62 % entre 1995 y 2025. Debido al rápido crecimiento de la población y al aumento del consumo de agua per cápita, el consumo doméstico total aumentará un 71 %, y más

de un 90 % de este aumento corresponderá a los países en vías de desarrollo.⁸

Aunque la dotación de agua mínima recomendada en España para el suministro doméstico se sitúa en los 167 l/hab-día, el consumo en las grandes ciudades se encuentra hoy en día cerca de los 250 l/hab-día.⁹ Si incluimos todos los consumos, añadiendo los industriales, riego y otros, en las zonas periféricas con rentas medias más altas y una densidad urbana menor, la dotación media urbana anual se sitúa alrededor de los 350 l/hab-día (230 l/hab-día para usos domésticos), superando los 500 para usos globales, incluyendo el agua urbana, de riego y la destinada a la agricultura.¹⁰ Estas cantidades están cerca de los 700 litros que cada norteamericano gasta para lavarse, limpiar el coche o regar el césped, y demuestran que el modelo de desarrollo urbanístico es una clave esencial del nivel de consumo de agua.

En cambio, algunos habitantes de África no llegan al mínimo de veinte litros que necesita diariamente el ser humano, según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, y se tienen que conformar con 10 litros de agua al día, los cuales muchas veces sólo serán accesibles después de caminar durante horas. De hecho, se considera que la cantidad recomendable de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 l/hab-día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se acostumbra a establecer una cantidad mínima recomendable de 100 l/hab-día.²

En este artículo se hace una revisión de las iniciativas a nivel internacional que intentan paliar la actual situación de crisis general, haciendo especial hincapié en las principales tecnologías sostenibles de tratamiento del agua disponibles hoy en día. Se destacan los sistemas naturales de tratamiento, especialmente los humedales construidos, como una alternativa viable de tratamiento para la mejora de la calidad de los recursos de agua, la salud pública y el medio ambiente, así como por la valorización de los recursos tratados.

Iniciativas internacionales para paliar la crisis

Según Naciones Unidas, ninguna medida contribuiría más a reducir las enfermedades y salvar vidas en los países en vías de desarrollo, que facilitar el acceso general al agua potable y a los servicios de saneamiento. De hecho, la prestación de servicios de saneamiento adecuados, el abastecimiento de agua potable y la educación en higiene implican una intervención sanitaria eficaz, que puede reducir la mortalidad provocada por las diarreas en un 65% de promedio. Por otro lado, la morbilidad asociada se puede reducir en un 26%.² Actualmente, la falta de acceso al agua potable contribuye en dos de las tres causas principales de mortalidad infantil: diarrea y malnutrición.

Las instalaciones de saneamiento. Interrumpen la transmisión de gran parte de las enfermedades fecales-orales en su origen principal, al prevenir la contaminación del agua y el suelo por la contaminación fecal humana. Los datos epidemiológicos sugieren que el saneamiento tiene al menos la misma eficacia en la prevención de las enfermedades que la mejora del abastecimiento de agua. A pesar de la importancia de estos servicios, la tendencia es todavía insatisfactoria debido, entre otras muchas razones, a una falta de implicación gubernamental, a la carencia presupuestaria de los países en vías de desarrollo y al empleo de tecnologías consideradas estándares o convencionales, generalmente caras, poco adecuadas y fuera del alcance de la mayoría de países en vías de desarrollo.

El tratamiento del agua o potabilización. Es una de las alternativas disponibles para adecuar su calidad a las normas propias del uso. La potabilización de las aguas a escala urbana se inicia a principios del siglo XX, con la desinfección del agua de suministro para proteger la salud pública frente a las epidemias de cólera y otras infecciones que afectaban las poblaciones de Europa y América. Hoy en día, el agua al salir de la planta reúne una serie de características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y relativas a sustancias tóxicas o radiactivas, reguladas por ley, que permiten su consumo público y que garantizan un agua potable de calidad.

En algunos países el acceso a agua de calidad aceptable es problemático, debido a que la cantidad del recurso hídrico es muy limitada, y por lo tanto, se tienen que potabilizar aguas de no muy buena calidad. En países en vías de desarrollo, las **limitaciones económicas para la implantación de sistemas convencionales de potabilización y de depuración, hacen que el porcentaje de efluentes depurados sea bastante escaso.**

Existe además una **diferencia notable entre los porcentajes de cobertura entre las áreas urbanas y las rurales.** Así, en el Departamento de Antioquia, en Colombia, un 4% de la población urbana no cuenta con servicio de agua potable, y un 10% carece de alcantarillado. En las zonas rurales, en cambio, el porcentaje de población sin agua potable crece hasta el 54%, mientras que un 86% no cuenta con alcantarillado.¹¹ Las razones principales de esta situación se encontrarían en la poca prioridad por parte de los gobiernos hacia el sector, un presupuesto insuficiente, poca sostenibilidad de los actuales sistemas convencionales de agua potable y de saneamiento, mala higiene y sanidad inadecuada en sitios públicos, incluyendo hospitales, centros de salud y escuelas. La falta de estos servicios básicos (ver distribución mundial, Fig. 1) influye también en otros procesos directamente relacionados con el desarrollo humano, como la propia esperanza de vida al nacer, el acceso a una educación completa y disponer de unos ingresos económicos suficientes.¹²

Ante esta situación global, la ONU ha designado el período 2005-2015 como el Decenio Internacional para la Acción, con el lema "El agua, fuente de vida", y con el objetivo de ocuparse más a fondo de las cuestiones relativas al agua, incluyendo la ejecución de programas y proyectos con el fin de ayudar a alcanzar los objetivos relativos al agua acordados a nivel internacional y contenidos en los **Objetivos de Desarrollo de la ONU para el Milenio (ODM).**³

Los ODM, aunque muy modestos en sus aspiraciones, se convierten en elementos de referencia para medir los avances en este campo. Entre los objetivos marcados por la comunidad mundial (objetivo 8 de los ODMs) se incluye el abaste-

cimiento de agua, el saneamiento y la higiene, reconociendo su importancia en promover intervenciones que favorezcan el desarrollo.

Sin embargo, de mantenerse las actuales tendencias, la humanidad estará muy lejos de cumplir los ODM. En el Informe del Desarrollo Humano de la ONU para el 2005, se vaticina que no se cumplirá la meta de reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso sostenible a mejores fuentes de agua potable, por un margen aproximado de 210 millones de personas, mientras que en el 2015 los sistemas de saneamiento mejorado tampoco van a cubrir a suficientes personas para alcanzar lo propuesto en los ODM.¹

Es evidente que ante esta tendencia observada durante los últimos años, es necesario un cambio importante a todos los niveles. Hoy en día, existen los recursos financieros, tecnológicos y humanos necesarios para dar un salto decisivo en el desarrollo humano. No obstante, muchas veces las tecnologías existentes demandan una utilización de recursos de todo tipo y generan un coste asociado, que no puede ser asumido por países en vías de desarrollo. Se requiere, por tanto, un cambio tecnológico, que aplicando los principios del desarrollo sostenible, adapte y mejore los sistemas de captación, tratamiento y reutilización, hasta convertirlos en sistemas plenamente sostenibles.

Tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua

Ante esta grave crisis del agua a nivel global, hace tiempo que se plantea una gestión ecosistémica del agua, siguiendo los principios del desarrollo sostenible. Ello quiere decir que los recursos hídricos son limitados y que no se pueden mantener sin la conservación de los ecosistemas acuáticos en buen estado, de manera que se haga una **gestión eficaz basada en el ahorro, el reuso y la no contaminación del agua, todo ello en una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas.**

Por todo ello, el **uso de tecnologías sostenibles** -tanto para el abastecimiento de agua potable

como para el saneamiento- se convierte en una de las soluciones a la grave crisis del agua, concebido todo el proceso desde la evaluación de las condiciones de la región donde se aplicará, es decir, desde un alcance económico, social, legal y medioambiental. Las tecnologías sostenibles o apropiadas, son tecnologías de bajo coste que se evalúan según la población a la que van a atender.

Dichas tecnologías influyen en el desarrollo de la comunidad estimulando los procesos de participación, aumentando los conocimientos técnicos de sus miembros y creando el sentimiento de apoderamiento de la tecnología, dando lugar a un mayor interés en su mantenimiento.¹³ Es evidente, que la tecnología aplicada sólo es útil en la medida en que la comunidad se apropie de ella y sea capaz de operarla, mantenerla y sostenerla a través del tiempo con un mínimo de apoyo institucional externo. Este planteamiento se contrapone al uso de las tecnologías convencionales no sostenibles, aplicadas indiscriminadamente sin atender a la problemática concreta de la región donde se pretende incidir. Del uso de unas u otras dependerá enormemente el éxito o fracaso de la acción.

Para conseguir una **gestión integral y sostenible del agua**, es fundamental disponer de tecnologías adecuadas tanto para la captación como para el tratamiento, sin olvidar que una fuente alternativa de recursos hídricos se encuentra en la opción del reuso de aguas ya utilizadas (Fig. 2).

Las **tecnologías sostenibles para el tratamiento** del agua se basan en procedimientos naturales de depuración que no emplean aditivos químicos y que eliminan las sustancias contaminantes, usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos. A pesar de las evidentes ventajas de estos sistemas naturales de tratamiento (Tabla. 1), requieren de una superficie mayor a la superficie requerida por las tecnologías convencionales. Este factor hace que las tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas sean especialmente apropiadas para ser aplicadas en zonas rurales.

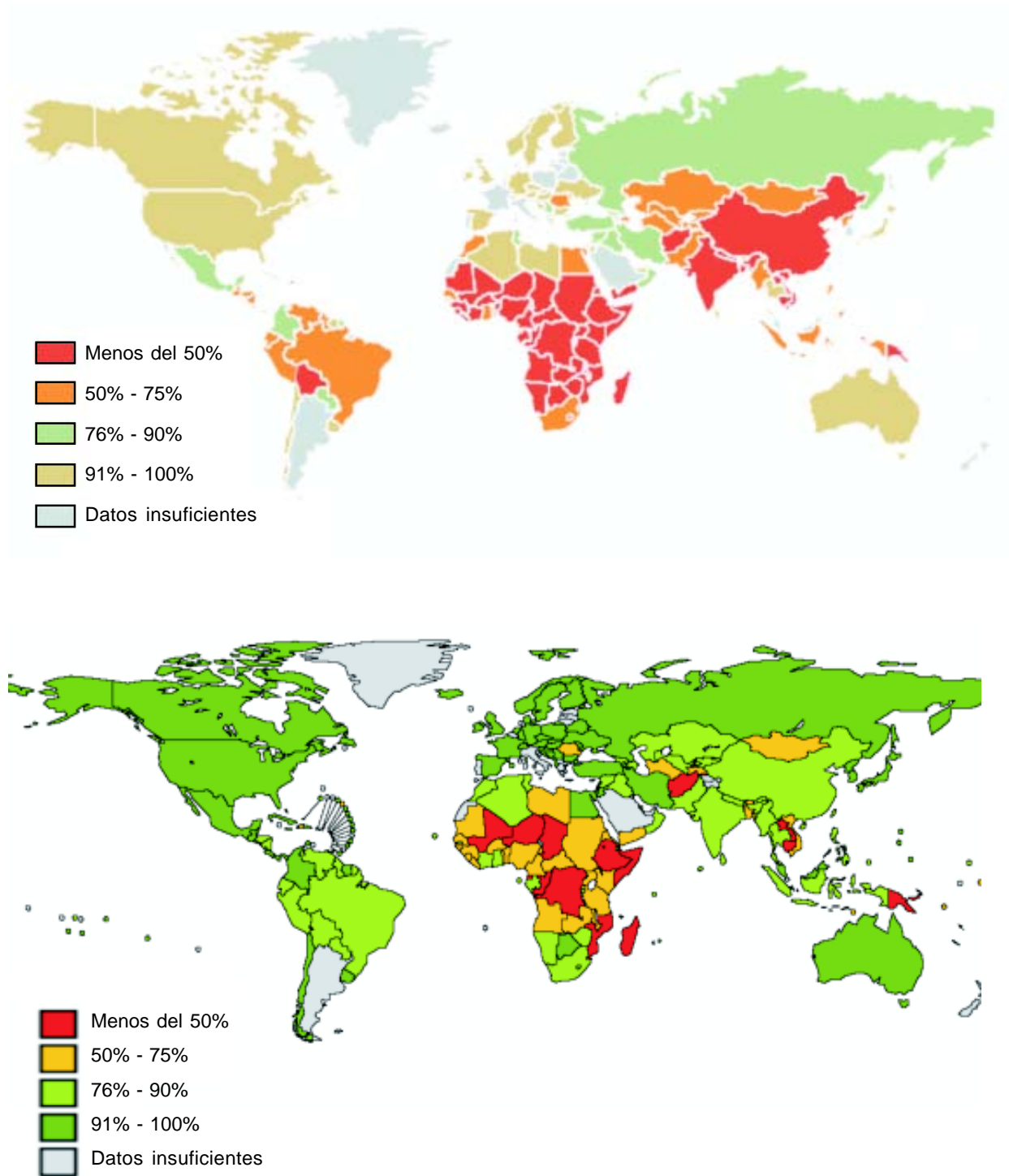


Figura 1. (Arriba) Cobertura mundial en sistemas de saneamiento mejorado en el 2002; (Abajo), Cobertura mundial en sistemas de agua potable.³

TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

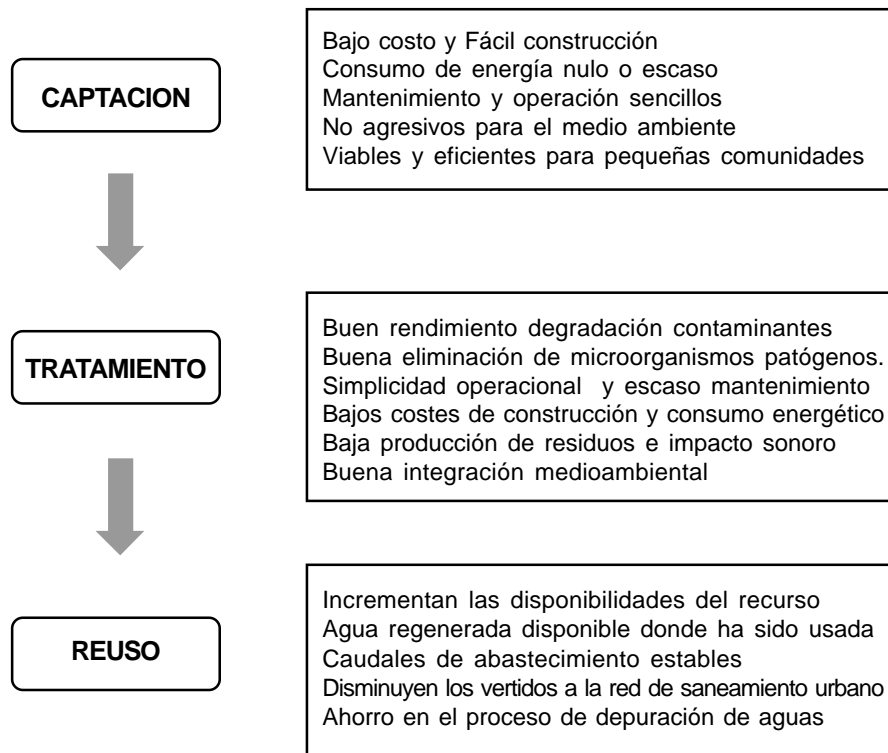
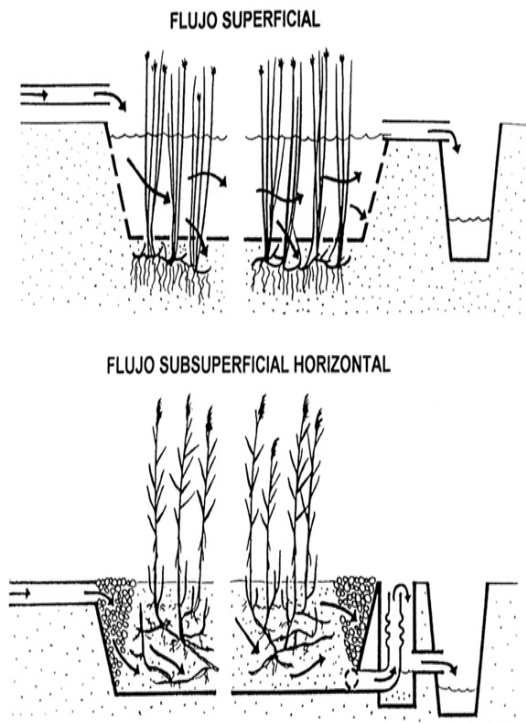


Figura 2. Características generales y ventajas de las tecnologías sostenibles para la gestión integral y sostenible del agua.

Tabla 1. Comparación de los sistemas naturales y los sistemas convencionales

Sistemas Naturales	Sistemas Convencionales
Coste proyecto medio	Elevado coste proyecto
Bajo coste mantenimiento	Alto coste mantenimiento
Bajo o nulo consumo energético	Requiere consumo energético
No requiere personal técnico	Requiere personal técnico
Producción fangos baja o nula	Elevada producción fangos
Buena Integración en el medio	Baja Integración en el medio
No genera malos olores	Producción malos olores



**Figura 3. Esquema de humedales
construidos de flujo superficial (arriba) y
subsuperficial (abajo) con flujo horizontal.**
Cedido por Hans Brix (Universidad de
Aarhus, Dinamarca).

Como ejemplo de tecnología sostenible cabe destacar a los **humedales construidos**, sistemas de depuración naturales (Fig. 3), donde los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos. Requieren de una superficie de tratamiento entre 20 y 80 veces superior a las tecnologías convencionales y por ello su uso está en general limitado a la disponibilidad de terreno con un coste asequible, generalmente en zonas rurales.

Los humedales construidos se han clasificado tradicionalmente en dos tipologías atendiendo a si la circulación del agua es de tipo subterránea o superficial¹⁴. En los *humedales de flujo superficial* (en inglés *surface flow constructed wetlands* o *free water surface constructed wetlands*) el agua

está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de los macrófitos (Fig. 3). En realidad este tipo de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje convencional con menor profundidad (no más de 0,4 m) y con plantas.¹⁵ En los *humedales de flujo subsuperficial* (en inglés *subsurface flow constructed wetlands*) la circulación del agua es subterránea a través de un medio granular (con una profundidad de la lámina de agua de alrededor de 0,6 m) y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos (Fig. 3).

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Los *humedales con flujo horizontal* funcionan permanentemente inundados, aunque hay algunas experiencias recientes satisfactorias con sistemas intermitentes.¹⁶ Los *humedales con flujo vertical* se diseñan con funcionamiento intermitente, es decir, tienen fases de llenado, reacción y vertido.

La intermitencia y la inundabilidad permanente confieren propiedades muy diferentes a los sistemas verticales y horizontales respectivamente. En particular afectan mucho la transferencia de oxígeno y por tanto al estado de oxido-reducción del humedal.¹⁴ Los **sistemas con flujo horizontal** tratando aguas residuales urbanas se han diseñado generalmente con profundidades de 0.6 m, y operando con cargas superficiales razonables (2-6 g DBO/m².día)¹⁶ producen efluentes con ausencia de oxígeno, potencial redox muy negativo (E_H menor en muchos casos de -100 mV) y posibilidad de malos olores^{18,19}. Estos problemas se pueden evitar operando con cargas menores o utilizando profundidades de la lámina de agua de 0,3 m.^{18,20}

Los sistemas con flujo vertical operan con cargas superiores que los horizontales (entre 20 y 40 g DBO/m².día, según estimaciones realizadas a partir de datos de Cooper²¹, produciendo efluentes más oxigenados (valores de concentración de oxígeno de hasta 13 mg/L, cercanos al 90% de saturación, Martí²² y libres de malos olores.

Los humedales de flujo subsuperficial son instalaciones que en la mayoría de los casos se utili-

zan como sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en casas, viviendas aisladas y núcleos de menos de 2000 habitantes. Actualmente, existe un gran número de humedales repartidos por todo el mundo, por lo que es una tecnología ampliamente consolidada. En España, y específicamente en Cataluña, hay un buen número de instalaciones de estas características o que combinan humedales de flujo subsuperficial con otros tipos de sistemas naturales de depuración. En general, se trata de instalaciones que tratan desde decenas hasta varias centenas de m³/d. En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede decir que pueden tratar con eficiencia niveles altos de DBO, SS y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos.²³ Los niveles de depuración conseguidos en estas instalaciones son en general los correspondientes a un tratamiento secundario (menos de 25 mg/L de DBO y de materia en suspensión). No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas.

Aunque como ya se ha comentado, los sistemas naturales como los humedales construidos son sistemas especialmente adecuados en zonas rurales, se han utilizado para tratar una gran cantidad de aguas residuales de orígenes muy distintos, como aguas domésticas, lixiviados de vertedero, tratamiento de fangos de depuradora, entre otros.¹⁵

Finalmente, dentro de una gestión integral y sostenible del agua es fundamental tener en cuenta el **reuso de aguas**, que cuando se sustenta en el proceso de tratamiento, tiene como objetivo devolver al agua su calidad inicial de forma parcial o total. Una vez las aguas son regeneradas, éstas son especialmente indicadas para una gran variedad de usos municipales, industriales, agrícolas, recreativos y para la recarga de acuíferos. Sin lugar a dudas, el reuso de aguas es una opción que ayuda a promover un uso sostenible del agua. Mediante la reutilización de agua se fomenta el uso racional del agua potable, diferenciando entre la calidad del agua necesaria para el consumo humano directo y la destinada para funciones de limpieza y transporte de residuo.

En todo proyecto de reutilización se tiene que tener en cuenta los riesgos sanitarios para la salud pública. Por este motivo, es fundamental determinar los niveles de calidad adecuados para cada uso, así como el proceso de tratamiento para regenerar el agua de con la finalidad de alcanzar los niveles de calidad establecidos previamente.¹⁷

Sin duda, la tradicional política hidráulica se queda hoy corta para recoger las necesidades e inquietudes de nuestra sociedad y dar adecuadas respuestas a los retos que se derivan del nuevo paradigma de la sostenibilidad. Conciliar la aspiración a mejorar el bienestar de todos con el reconocimiento y respeto a los límites del entorno natural, de manera que se garantice su conservación, exige no sólo un giro en los objetivos de esta política, sino un cambio en las escalas de valor y en la cultura que impregnan nuestra sociedad.^{24,25}

La llamada "**Nueva Cultura del Agua**" asume un nuevo enfoque holístico e integrador de valores en la gestión del agua. Este compromiso ético pasa por construir alternativas y ejemplos prácticos que se basen en la recuperación y conservación de los ecosistemas hídricos. En definitiva, se trata de vivir mejor con menos recursos, pero de mejor calidad y más equitativamente repartidos.²⁴⁻²⁶ Las tecnologías sostenibles, como las presentadas en este trabajo se constituyen en unas herramientas muy adecuadas para contribuir a este cambio, y pueden contribuir de forma especial a que los países en vías de desarrollo puedan alcanzar los ODM. Además, ello repercutiría positivamente en la calidad de vida, por la evidente mejora que supondría en los diferentes indicadores, como pueden ser la salud pública.

Para poder alcanzar estos objetivos, una de las claves consiste en **adoptar un nuevo y necesario enfoque interdisciplinar** en el que, más allá de asegurar un uso razonable, social, equitativo y eficiente del agua como recurso, se garantice una gestión sostenible de los ríos y ecosistemas acuáticos, desde la coherencia y complejidad que representan las cuencas hidrográficas como unidad de gestión natural de las aguas continentales.²⁵

En este sentido, los autores de este trabajo forman parte de un grupo multidisciplinar constituido por científicos de diferentes universidades e institutos de investigación, que se han agrupado en la **Unidad Asociada UPC-CSIC**. Dicho grupo está formado por 16 investigadores con diferentes perfiles de conocimiento y con experiencia en diferentes aspectos teóricos, aplicados y prácticos de ingeniería, química ambiental y microbiología aplicada, especialmente al agua, su depuración, monitoreo y control, y reutilización. En concreto, se realizan proyectos sobre sistemas naturales de tratamiento, desinfección, contaminantes químicos y biológicos emergentes y aspectos técnicos de la reutilización de aguas, a pesar de que también se desarrollan proyectos con otros tipos de matrices ambientales (suelos, aerosoles, sedimentos y lixiviados, entre otros) materiales variados como: alimentos e implantes biomédicos.

Dicha unidad asociada tiene el conocimiento y la experiencia para la aplicación de tecnologías sostenibles innovadoras, basadas en la utilización de microorganismos para optimizar los rendimientos de depuración y biorremediación, utilizando por ejemplo sistemas naturales como los humedales construidos. El grupo ha sido el coordinador del proyecto HUCO (2002-2005) y actualmente coordina el proyecto NEWWET-DETOXWET (2006-2008), los dos sobre humedales construidos para la depuración de aguas residuales urbanas. A la vez, coordina la red ALFA TECSPAR II-0543-FI-FA-FCD "Tecnologías Sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales".

Recientemente, el grupo ha coordinado la solicitud a la Unión Europea (SSA-EU) del proyecto STIM "Sustainable Technologies for integrated management of water resource in arid and semi-arid ecosystems in Latin America", y del proyecto "Recuperación de la biodiversidad en espacios naturales degradados por fitosanitarios utilizados en plantaciones de banano", solicitado al BBVA, en su convocatoria de ayudas a la investigación en biología de la conservación.

Conclusiones

Hoy en día, existen los recursos financieros, tecnológicos y humanos necesarios para dar un salto

decisivo en el desarrollo humano. Sin embargo, de mantenerse las actuales tendencias, la humanidad estará muy lejos de cumplir los ODMs. Ante esta crisis del agua a nivel global, hace tiempo que se plantea una gestión ecosistémica, siguiendo los principios del desarrollo sostenible. Ello quiere decir que los recursos hídricos son limitados y que no se pueden mantener sin la conservación de los ecosistemas acuáticos en buen estado. La gestión eficaz se tiene que basar en el ahorro, el reuso y la no contaminación del agua, todo ello en una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas.

Por todo ello, el uso de tecnologías sostenibles tanto para el abastecimiento de agua potable como para el saneamiento y el tratamiento a todos los niveles, se convierte en una de las soluciones. Entre las principales tecnologías sostenibles utilizadas cabe destacar los humedales construidos. Se trata de sistemas naturales de depuración simples de operar, con bajo o nulo consumo energético y que producen pocos residuos durante su operación. Además, presentan un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración en el medio ambiente natural. Requieren de una superficie de tratamiento entre 20 y 80 veces superior a las tecnologías convencionales, y por ello su uso está en general limitado a la disponibilidad de terreno con un coste asequible.

La mayoría de humedales se han construido para tratar aguas residuales domésticas y urbanas. No obstante, también hay experiencias con diversos tipos de aguas industriales, lixiviados de vertederos, aguas de drenaje de actividades extractivas, aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana y fangos de depuradora.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo prestado por la Red ALFA TECSPAR II-0543-FI-FA-FCD "Tecnologías Sostenibles para la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Residuales", el Centro de Cooperación para el Desarrollo de la UPC y el Programa ALBAN "Programa de Becas de Alto Nivel de la Unión Europea para América Latina" (Beca nº E05D054184BR).

Referencias

1. PNUD. Informe sobre el desarrollo humano 2005: La cooperación internacional ante una encrucijada: Ayuda al desarrollo, comercio y seguridad en un mundo desigual. Madrid : PNUD, 2005.
2. WHO & UNICEF. Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. s.f. : Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000.
3. _____. Meeting the MDG drinking-water and sanitation target: A mid-term assessment of progress. s.f. : Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2004.
4. GORDON, B.; MACKAY, R. AND REHFUSS, E. Inheriting the world: the atlas of children's health and the environment. Geneva:WHO. Inheriting the world: the atlas of children's health and the environment. Geneva: WHO, 2004. p.14-15.
5. GRABOW, W. Pathogenic and indicator organisms in drinking water. Microbiología de las Aguas de Abastecimiento. Tomo I. Madrid : AEAS, 1996.
6. MAC KENZIE, William R. et al. A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium. infection transmitted through the public water supply. In: New England Journal of Medicine. Vol. 331, No. 22 (Dec 1994); p.1529-1530.
7. GUPTA, Mukul. and HAAS, Charles N. The Milwaukee Cryptosporidium outbreak: assessment of incubation time and daily attack rate. En: Journal of Water and Health. Vol. 2, No.2 (Jun. 2004); p:59-69
8. ROSEGRANT, M.W.; CAI, X. and CLINE, S.A. Panorama global del agua hasta el año 2025: Cómo impedir una crisis inminente. S.I.: International Food Policy Research Institute, 2004.
9. INE. Estadísticas del Agua. Madrid : Instituto Nacional de Estadística, 2003.
10. AGENCIA CATALANA DEL AGUA. Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'Ebre. Document de Síntesi. Barcelona : Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, 2000.
11. DAP-SISBEN. Indicadores nacionales y departamentales. Sostenibilidad y Medios de Vida. En: ANTIOQUIA. GOBERNACIÓN. Anuario Estadístico de Antioquia 2001. Medellín : Gobernación de Antioquia, 2002.
12. PNUD. Informe sobre el desarrollo humano 1990: Concepto y medida del desarrollo humano. Madrid : PNUD, 1990.
13. PÉREZ-FOGUET, A.; CARRILLO, M. Y MARGINYÀ, F. Tecnología para el desarrollo humano: agua e infraestructuras, ingeniería sin fronteras, Barcelona : Barcelona, 2003.
14. 6.ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Cincinnati: USEPA Office of Research and Development., 2000. (EPA/625/R-99/010).
15. GARCÍA, J. Humedales construidos para controlar la contaminación: perspectiva sobre una tecnología en expansión. En: GARCIA, J.; MORATÓ, J. y BAYONA, Juan M.. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. Barcelona : Ediciones CPET, 2004.
16. VYMAZAL, J. and MASA, M. Horizontal subsurface flow constructed wetland with pulsing water level. In: Water Science & Technology. Vol. 48, No.5 (2003). p:143-148.
17. GARCÍA, JOAN et al. Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. In : Water Research. Vol. 37, No. 11 (jun. 2003); p. 2645-2653.
18. GARCÍA, J. et al. Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow wetlands: long term performance pilot study. In: Ecological Engineering. Vol.25 No. 4 (nov. 2005); p.405-418.

19. HUANG, Y. et al. Factors affecting linear alkylbenzene sulfonates removal in sub-surface constructed wetlands. In : Environmental Science & Technology. Vol. 1, No.9 (may. 2004); p.2657-2653.
20. GARCÍA, J. et al. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. En: Water Research. Vol. 38, No.7 (2004); p.1669-1678.
21. COOPER, P.F. Sizing vertical flow and hybrid constructed wetland systems. In: THE USE OF AQUATIC MACROPHYTES FOR WASTEWATER TREATMENT IN CONSTRUCTED WETLANDS, Proceedings I International Seminar (1 : 2003 : Lisbon). Lisbon : National water Institute, 2003. p.195-218.
22. MARTÍ, E. The recycling effect in the nitrification-denitrification process in vertical flow constructed wetlands. ETSECCPB dissertation. Barcelona : Technical University of Catalonia, 2003. 120p.
23. ROBUSTÉ, J. Humedales en explotación, experiencia en Catalunya. En : García J.; Morató J. y Bayona J.M. Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. Una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2004. p.91-94.
24. ARROJO, P. y MARTINEZ, F.J. El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua . En: CONGRESO IBÉRICO SOBRE GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DE AGUAS (1 : Zaragoza : 1999). I Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Zaragoza : Institución Fernando el Católico; 1999 .
25. ARROJO, P. El Plan Hidrológico Nacional a debate. Zaragoza : Fundación Nueva Cultura del Agua, 2001.
26. GRANDE, N.; ARROJO, P. y MARTINEZ, F.J. Una cita europea con la nueva cultura del agua: perspectivas en Portugal y España. En: CONGRESO IBÉRICO SOBRE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE AGUAS (2 : Oporto : 2001). II Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas. Zaragoza : Institución Fernando El Católico, 2001 .