

restauración y depuración de cauces mediante humedales

restoration and purification of rivers by means of wetlands

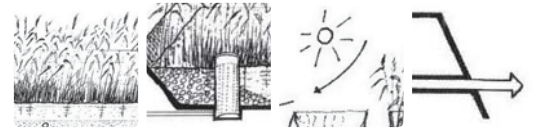
Tradicionalmente ríos y costas han sido utilizados como sumideros directos de las aguas residuales, incluso sin ningún tipo de tratamiento de depuración. Estas aguas, de origen doméstico o industrial, suelen incorporar elevadas cargas de materia orgánica, patógenos o contaminantes específicos derivados de los procesos industriales. Esta práctica no es admisible en el presente; factores ambientales, higiénicos, económicos, o incluso estéticos, obligan a ser muy cuidadosos con el medio natural y establecer sistemas de tratamiento y control de todo efluente.

Cuando un agua residual es vertida a un curso de agua se provoca una alteración biológica y físico-química en el ecosistema. Este desequilibrio intenta ser compensado por la naturaleza y se desencadenan una serie de reacciones de los factores bióticos y abióticos tendentes a restaurar el equilibrio previo. De una forma muy esquemática, se formarán depósitos de materia en suspensión, disoluciones y transformaciones de los contaminantes oxidables y orgánicos hasta que se estabilizan. Si existe suficiente aireación y el oxígeno no es un factor limitante durante estas transformaciones, el curso de agua puede volver a la normalidad. Sin embargo, si el aporte de oxígeno no es suficiente, las degradaciones pasan a ser anaeróbicas apareciendo eutrofizaciones y todo tipo de putrefacciones. Es imposible entonces que, de forma natural, la contaminación sea controlada por el ecosistema.

Por otro lado el curso de agua no se recuperará si la cantidad o concentración de los productos vertidos sobrepasa la capacidad de auto-depuración de la corriente o el vertido es permanente. No se puede decir que el curso esté recuperado hasta que los productos vertidos no se hayan degradado [1]

Bajo esta óptica no debemos entender el río únicamente como un cauce. Asociado a éste se encuentra el bosque ripario o de ribera, que actúa protegiendo con su sombra a los organismos acuáticos, a las márgenes del río de la erosión o mejorando la calidad física y química del agua. Estos hechos han llevado a la creación de "riparian buffers"

texto: juan manzano juárez / antonio d. del campo garcía
(ingeniero agrónomo. U.P.V /
dr. ingeniero de montes. U.P.V)



o bosques riparios especialmente concebidos para proteger a las corrientes de agua de los impactos derivados de las actividades humanas.

La eficacia del bosque de ribera en la eliminación de la materia orgánica, los contaminantes biológicos u otros contaminantes contenidos en las aguas residuales, depende de la altura del arbolado, su edad, la anchura de la franja de bosque, su continuidad, las condiciones de humedad del suelo, la profundidad del suelo y la pendiente, el manejo al que está sometido el bosque y la composición específica del mismo. Así, la tasa de eliminación de coliformes fecales puede oscilar entre un 34 y un 87%, la de sólidos en suspensión entre un 50-94%, la de fósforo un 30-89% y la de nitrógeno hasta un 95% [2].

En general, puede establecerse que anchuras superiores a los 30 m, con arbolado continuo de más de 15-20 años, sobre suelos con drenaje pobre o poco profundos y con especies de crecimiento rápido como los *Populus* maximizan estos rangos.

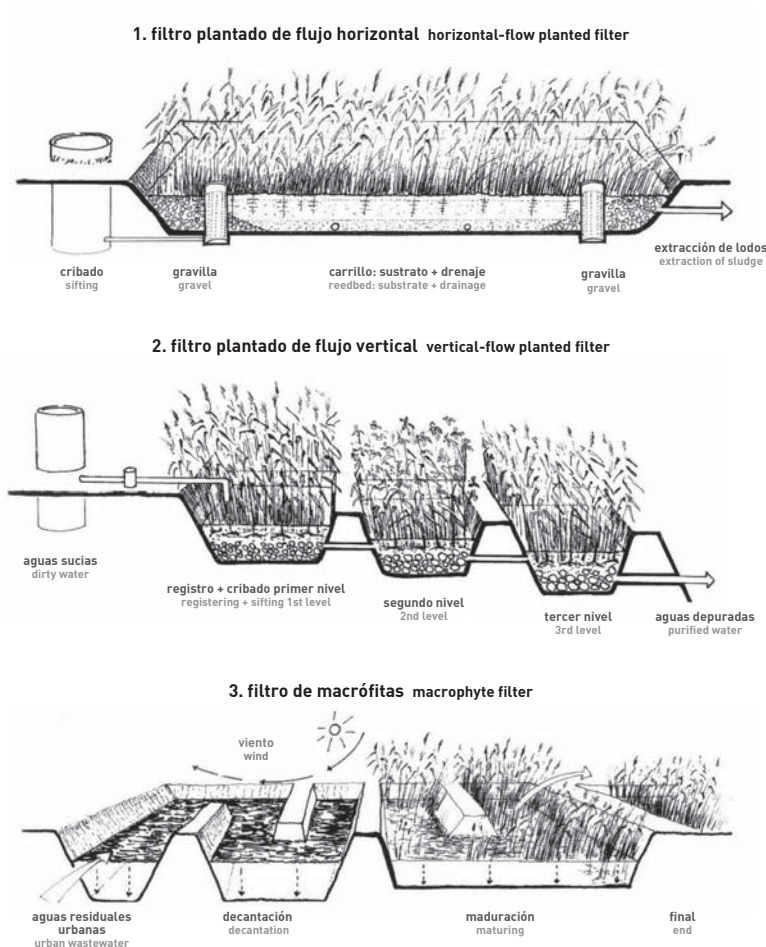
Desde el punto de vista de la recuperación de cauces contaminados es evidente que los tratamientos preventivos deben ser los protagonistas y todo vertido controlado antes de llegar al río. Así la Directiva Europea 91/127 del 21 de mayo exige una depuración antes de devolver las aguas al medio natural [3]. Se establecen aquí los niveles máximos en parámetros como la demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, materias en suspensión o nitrógeno y fósforo total. Los niveles

establecidos hacen que el tratamiento secundario (reducción de la contaminación orgánica) sea preciso y en zonas sensibles se haya de llegar al tratamiento terciario de afino (desinfección, desnitrificación,...) para respetar las cualidades del medio receptor.

A esta obligatoriedad de tratar las aguas se une la necesidad de su reutilización en un entorno actual de escasez, para cubrir tanto usos agrícolas como urbanos e industriales. Como ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [4] o, en España, el Ministerio de Presidencia (R.D. 1620/2007 [5]), establecen una serie de recomendaciones de calidad y tratamientos para el agua reutilizada. En estos textos normativos se habla, entre otros, de usos paisajísticos, ambientales, de recarga de acuíferos o de aumento de corrientes superficiales. También se fija el tipo de tratamiento y los métodos de muestreo y control.

“Waterscapes. El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales”

Izembart, H. Gustavo Gil. Barcelona. 2003



Desde las dos perspectivas mencionadas, las técnicas más desarrolladas en las plantas de depuración urbanas son las basadas en procesos biológicos intensivos. El principio de estos procesos es acelerar los fenómenos de transformación de la materia orgánica que se pueden observar en la naturaleza. Los sistemas convencionales intentan utilizar la mínima superficie posible intensificando los procesos en tanques o reactores. Estas tecnologías, con sus múltiples variantes, se pueden ordenar en tres grandes grupos: lechos bacterianos y discos biológicos; lodos activados y técnicas de biofiltración o filtración biológica acelerada. En la construcción de estas plantas dominan las estructuras compactas, rígidas de hormigón asociadas en ocasiones a ruidos y malos olores.

Frente a los sistemas convencionales existe un conjunto de tecnologías de depuración extensivas, de bajo coste o no convencionales que intentan simular los procesos naturales de depuración, sin aporte externo de energía y a una velocidad “natural”. El desarrollo de cultivos bacterianos,

fijos o libres, permite la degradación de la materia orgánica o la reducción del nitrógeno hasta niveles tolerables. Estas técnicas, ayudadas con los pretratamientos adecuados, permiten obtener los niveles de calidad exigidos y, con los diseños adecuados, logran una muy buena integración en el entorno.

Una posible clasificación de estos sistemas sería [6]:

Cultivos fijos sobre sustrato:

- Infiltración-percolación
- Filtro plantado de flujo vertical
- Filtro plantado de flujo horizontal

Cultivos libres en agua:

- Lagunaje natural
- Lagunaje de macrófitas
- Lagunaje aireado
- Sistemas mixtos.

Los filtros plantados verticales u horizontales y el lagunaje de macrófitas también se suelen agrupar bajo la denominación de humedales construidos, distinguiendo entre sistemas de flujo subsuperficial o flujo superficial respectivamente. Los humedales así definidos, también se utilizan para restaurar ecosistemas, en este caso la depuración puede ser un objetivo secundario [7]. El potencial de estos elementos se basa en la gran diversidad de las plantas, suelos y tipos de flujo de las aguas. Se genera así una amplia variedad de combinaciones posibles, sujetas solo a la creatividad del diseñador al recrear el entorno original.

En los sistemas de flujo subsuperficial 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. Las aguas residuales sufren dos procesos simultáneos: un filtrado mecánico que retiene los sólidos en suspensión no degradables y una oxidación bioquímica bacteriana que mineraliza la materia orgánica. La zona de filtrado está limitada por una capa impermeable, de modo que el agua quede contenida. Estas plantas depuradoras necesitan una

Rivers and coastlines have traditionally been used as direct outlets for waste water, even when it has not undergone any kind of purification treatment. This water, of domestic and industrial origin, usually contains high levels of organic matter, pathogens or specific pollutants derived from industrial processes. This practice is no longer acceptable: environmental, hygienic, economic and even aesthetic factors oblige us to protect the natural environment and establish systems for the treatment and control of all effluent.

When waste water is released into a water resource, it causes biological and physical-chemical change in the ecosystem. Nature attempts to counteract this imbalance, and there is a series of reactions in the biotic and abiotic factors which work towards the restoration of the previous balance. In a very schematic way, deposits of suspended matter are formed, and the oxidable and organic pollutants are dissolved and transformed until they stabilise. If there is sufficient aeration and oxygen is not a limiting factor during these transformations, the water resource can return to normality. However, if there is insufficient oxygen, the degradations become anaerobic, leading to eutrophication and all kinds of decay. It is then impossible for the pollution to be controlled in a natural way by the ecosystem.

Likewise, the water resource will not recover if the quantity or concentration of products released into it exceeds its capacity for self-purification, or if the flow of products is permanent. The resource cannot be said to have recovered until the products released into it have been degraded [1].

Under this optic the river should not be understood as just the river itself. Associated with it is the riparian or riverside forest, which uses its shade to protect organisms in the water, prevents erosion of the

river's banks and improves the physical and chemical quality of the water. This has led to the creation of "riparian buffers", riverbank forests specifically designed to protect water currents from the impact of human activity.

The capacity of the riverbank forest to eliminate the organic matter and biological or other pollutants present in waste water depends on the height of the trees, their age, the width of the strip of forest, its continuity, the humidity of the soil, the depth of the soil and the slope, the use that is made of the forest and, finally, its specific composition. The rate of elimination of fecal coliforms can vary from 34% to 87%, that of suspended solids from 50-94%, that of phosphorous 30-89% and that of nitrogen up to 95% [2]. In general, it can be established that forests wider than 30m, with continuous tree growth of 15-20 years, in poorly drained or shallow soils and with rapidly growing species such as *Populus* achieve maximum figures.

From the point of view of the restoration of polluted rivers, it is clear that preventative treatments should be given priority and all waste water controlled before reaching the river. The European Directive 91/127 of 21st May requires that water be purified before being returned to the natural environment [3]. This establishes maximum levels for such parameters as biological demand for oxygen, chemical demand for oxygen, suspended matter or total nitrogen and phosphorous. The levels established make secondary treatment (reduction of organic contamination) necessary, and in sensitive areas tertiary treatment is needed (e.g. disinfection, denitrification) in order to respect the qualities of the receiving environment.

On top of this obligation to treat water, it is also necessary to reuse it in environments where there is a current shortage, in order to cover agricultural as well as urban and industrial

use. For example, the United States Environmental Protection Agency [4] or, in Spain, the Presidential Ministry [R.D. 1620/2007 [5]], have made a series of recommendations on quality and treatments for reused water. These regulatory texts mention, among other things, landscaping and environmental uses, recharging of aquifers and increasing surface currents. The type of treatment and methods of sampling and control are also specified.

From the above-mentioned perspectives, the most developed techniques in urban purification plants are those based on intensive biological processes. The idea behind these processes is to accelerate naturally existing ways of transforming organic matter. Conventional systems try to use the minimum area possible, intensifying the processes in tanks or reactors. These technologies, with their multiple variations, can be divided into three groups: bacterial beds and biological discs; activated sludge and biofiltering or accelerated biological filtering techniques. These plants are generally compact, rigid concrete buildings, sometimes associated with noise and bad smells.

In contrast to the conventional techniques there is a group of extensive, unconventional and inexpensive purification technologies which aim to simulate natural purification processes without the use of an external energy supply and at a "natural" speed. The development of bacterial cultures, fixed or free, allows organic matter to be degraded or nitrogen to be reduced to tolerable levels. These techniques, in conjunction with adequate pre-treatment, can achieve the quality levels required, and, with the right de-

superficie de 2 a 5 m² por habitante y las aguas residuales no aparecen nunca en superficie.

En los sistemas de flujo horizontal basta con un solo estanque. El suelo puede ser llano o ligeramente inclinado. El sustrato está permanentemente inundado y contiene numerosas zonas anaerobias. La única aportación de oxígeno la realizan las plantas acuáticas. (figura1)

En los sistemas de flujo vertical se enlazan varios estanques, normalmente alimentados de forma alterna por rotación o por vertidos puntuales. Esta alternancia facilita una mejor oxigenación del medio filtrante. La oxigenación y la nitrificación resultan

mejores que en los sistemas horizontales. En cambio, las dificultades de explotación son mayores (alternancia manual de los estanques), aunque quedan muy por debajo de las propias de una depuradora tradicional de fangos activados. (figura2)

Los filtros de macrófitas se basan en hacer circular las aguas a través de una serie de grandes estanques de fondo y paredes impermeables, de profundidad decreciente, desde 1,2 m hasta 0,5. Se precisa una extensión de terreno importante (10 m² por habitante) y un suelo llano. En realidad este tipo de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje convencional con menor profundidad y con plan-

tas. Las lagunas de macrófitas están plantadas con especies flotantes o arraigadas (juncos, carrizos, espadañas, jacintos de agua). Las plantas ralentizan la corriente, favorecen el sedimento de las materias en suspensión y lo mantienen parcialmente oxigenado mediante la aportación de oxígeno a nivel de las raíces. Los tallos sirven de soporte a cultivos de bacterias. (figura 3)

A modo de resumen se pueden citar las siguientes ventajas operativas: simplicidad en la operación, consumo energético mínimo o nulo, baja producción de residuos durante la operación del sistema, bajo coste de explotación y mantenimiento... Pero también existen algunos inconvenientes, como la larga puesta en marcha para su funcionamiento completo o los pocos parámetros de control durante la operación, asociados ambos al ecosistema que se pretende restaurar.

bibliografía bibliography

- [1] SEOÁNEZ CALVO, M. (2005): *"Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo"*. Mundi Prensa. Madrid.
- [2] MAYER, P.M., REYNOLDS S.K., CANFIELD, T.J. (2005): *"Riparian Buffer Width, Vegetative Cover, and Nitrogen Removal Effectiveness: A Review of Current Science and Regulations"*. Barcelona: La Magrana.
- [3] Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- [4] *"Guidelines for water reuse"*. EPA/625/R-04/ 108. 2004 U.S. Environmental Protection Agency. Wasintong D.C.
- [5] Real Decreto. 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- [6] *"Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades"*. (2001). Comisión Europea. Oficina Internacional del Agua. Luxemburgo.
- [7] GARCIA, J. MORATÓ, J. (2006): *"Depuración con sistemas Naturales. Humedales Constructivos"*. UPC.
- [8] IZEMBART, H. (2003): *"Waterscapes. El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales"*. Gustavo Gil. Barcelona.
- [9] GARCÍA, J. DOMINGO, V. (2006): *"Reutilización planificada de aguas tratadas para usos ambientales. El caso del humedal de Can Cabanyes, en el parque periurbano SPJ4 de Granollers"*. UPC.

www.acuamed.com

sign, integrate very well into the environment.

A possible classification of these techniques is [6]:

Fixed cultures over substrate:

- Infiltration-percolation
- Vertical-flow planted filter
- Horizontal-flow planted filter

Free cultures in water:

- Natural lagooning
- Macrophyte lagooning
- Aerated lagooning
- Mixed techniques

Vertical- or horizontal-flow planted filters and macrophyte lagooning are also often referred to as constructed wetlands, known as subsurface flow and surface flow techniques respectively. These wetlands are also used to restore ecosystems, and in this case purification may be a secondary objective [7]. The potential of these elements lies in their great diversity of plants, soils and types of water flow. A wide variety of possible combinations is thus generated, solely subject to the creativity of the designer when recreating the original environment.

In subsurface flow systems, the water flows underground through a granular medium

(with a depth of water flow of around 0.6m) in contact with the rhizomes and roots of the macrophytes. The wastewater undergoes two processes simultaneously: a mechanical filtering which retains non-degradable suspended solids and a biochemical bacterial oxidation which minimalises organic matter. The filtering area is covered by an impermeable layer, so that the water cannot escape. These purifying plants need a surface area of 2 to 5 m² per inhabitant and the waste water never appears on the surface.

In horizontal flow systems a single pond is sufficient. The ground can be flat or slightly sloping. The substrate is permanently flooded and contains numerous anaerobic zones. The only supply of oxygen comes from the aquatic plants. (figure1)

In vertical-flow systems various ponds are connected, normally fed alternately by rotation or by specific influx. This alternation allows for better oxygenation of the filtering medium. There is better oxygenation and nitrification than in horizontal systems. However, they are more difficult to operate (manual alternation of the ponds), though much less so than traditional, activated

sludge treatment plants. (figure2)

Macrophyte filters are based on the water flowing through a series of large ponds with impermeable bottom and sides, of decreasing depth, from 1.2m to 0.5m. A large area of land is needed (10m² per inhabitant) and it must be flat. In fact, this type of wetland can be seen as a modification of conventional lagooning, but shallower and with plants. The macrophyte lagoons are planted with floating or rooted species (rushes, reeds, bulrushes, water hyacinths). The plants slow the current, favour sedimentation of suspended matter and keep it partially oxygenated by means of an oxygen supply at root level. The stems serve as a base for bacterial cultures. (figure3)

To sum up, the following operative advantages: simplicity of operation, minimum or zero energy consumption, low production of waste during the operation of the system, low operation and maintenance costs... There are, however, also some disadvantages, such as the length of time needed for them to be fully operational or the limited parameters for control during operation, both of which are associated with the ecosystem that is being restored.