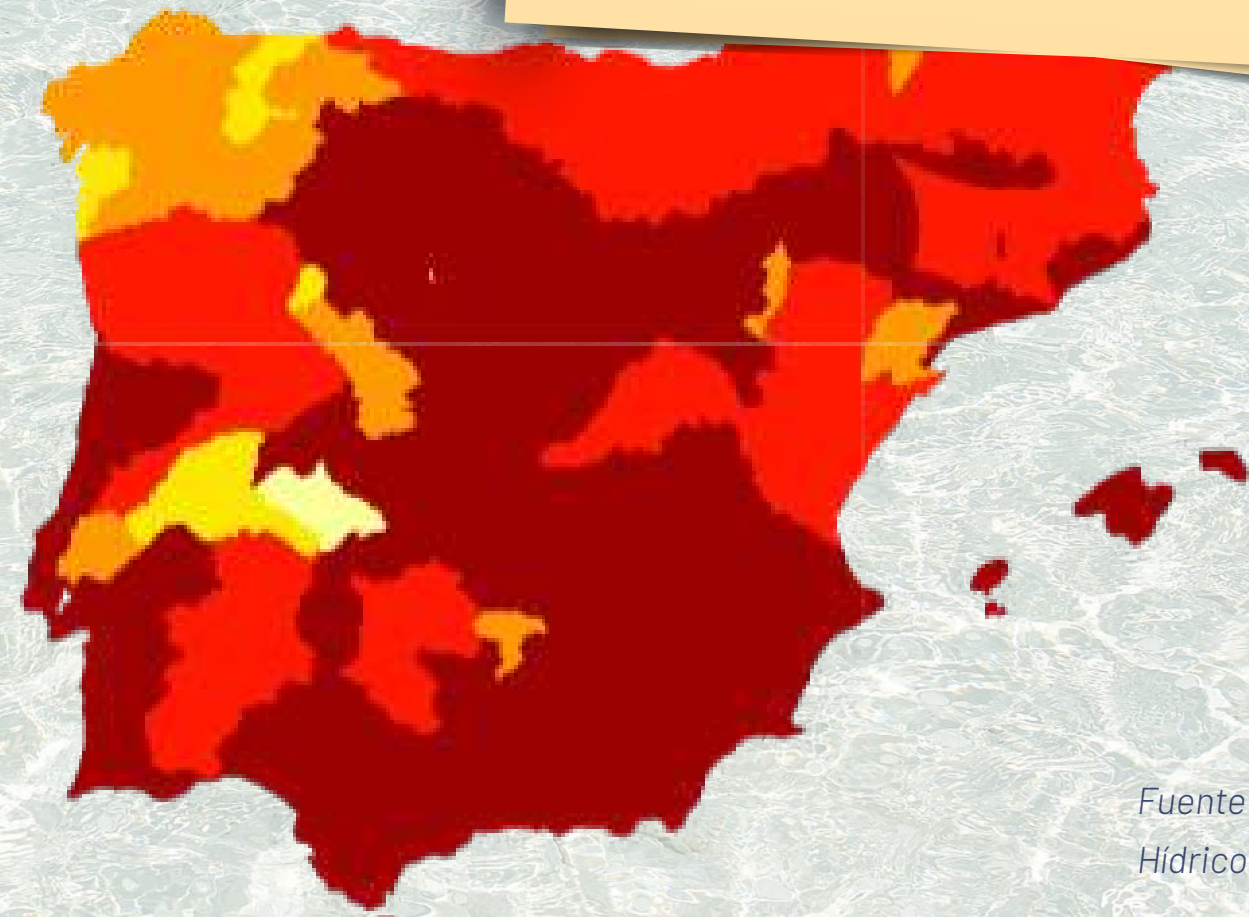


VULNERABILIDAD HÍDRICA Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

En España, las masas de agua se ven afectadas tanto por problemas de contaminación —nitratos o eutrofización— como por la elevada demanda humana. Como resultado, gran parte del país se encuentra en situación de estrés hídrico.



Fuente: Atlas de Riesgos Hídricos (Aquaduct, 2025).

Extremo-Alto Alto Medio-Alto Medio-Bajo Bajo



Recursos hídricos a largo plazo

Los retos actuales piden **replantear la gestión integral del agua**. Asegurar el buen estado de las masas de agua es clave para garantizar la seguridad hídrica futura.

Este desafío es aún mayor debido al cambio climático: **el agua es un recurso cada vez más valioso y, al mismo tiempo, más incierto** respecto a su disponibilidad futura.



¿CÓMO GARANTIZAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA?

La planificación y los cambios legislativos contribuyen a **avanzar en la depuración, la reutilización y el uso eficiente del agua**. Sin embargo, en determinados contextos resultan insuficientes, poco efectivas o insostenibles.

Por ello, es necesario aplicar medidas complementarias innovadoras, como las **Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)**.



Estrategias y acciones que se apoyan en las dinámicas propias de los ecosistemas y procesos naturales, reduciendo lo más posible la intervención humana y sin **depender exclusivamente de soluciones tecnológicas convencionales**.



LAS SBN APORTA UN DOBLE BENEFICIO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA

- **Garantizan y restauran servicios ambientales y sociales**, como los caudales ecológicos o la mejora de la calidad del agua, y contribuyen al desarrollo económico.
- **Incorporan un enfoque preventivo y adaptativo**, además de correctivo, ayudando a minimizar los impactos de episodios extremos (crecidas, sequías...).

SON, ADEMÁS, SOLUCIONES COSTOEFECTIVAS,

ya que su aplicación genera **mayores beneficios y oportunidades que la inacción** y la posterior restauración de las zonas afectadas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

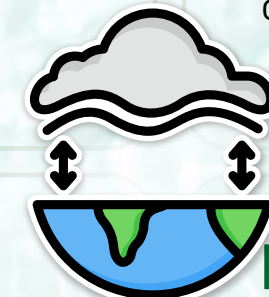
PRIORIZAN LA CONSERVACIÓN y la restauración de los ecosistemas.



FLEXIBLES: pueden aplicarse de forma independiente o en combinación con tecnología gris existente.



BASADAS EN LO LOCAL: se diseñan según las condiciones naturales y culturales de cada territorio.



IMPACTO SOCIAL: promueven beneficios justos y compartidos por la comunidad.

VISIÓN A LARGO PLAZO: fomentan la biodiversidad y la evolución de los ecosistemas.

VISIÓN DE CONJUNTO: se aplican a escala territorial y de paisaje.

EQUILIBRIO PRESENTE-FUTURO: gestionan beneficios inmediatos sin comprometer los servicios a largo plazo.

INTEGRADAS EN POLÍTICAS PÚBLICAS: forman parte de estrategias para afrontar retos socioambientales.

Las **ventajas de las Soluciones Basadas en la Naturaleza**, aplicadas a la gestión sostenible de los recursos hídricos, son su capacidad para responder a distintos objetivos y su integración con el medio.



Sus **limitaciones** se relacionan con los requisitos de espacio y con la influencia de parámetros ambientales —como la radiación o la temperatura— en su rendimiento.

EL POTENCIAL DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA



Las **Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)** pueden aplicarse a distintas escalas, desde entornos urbanos hasta grandes paisajes.

Todas comparten un **principio común**: aprovechar los procesos naturales con cubiertas vegetales, suelos filtrantes y, en algunos casos, la acción de organismos vivos, desde bacterias hasta pequeños mamíferos.

El reto: infraestructuras grises + SBN

Desde la década de 1960, la depuración de aguas residuales se ha basado principalmente en infraestructuras grises. Han permitido reducir significativamente la contaminación, especialmente la procedente de vertidos industriales y urbanos, pero **los desafíos actuales requieren soluciones complementarias** debido a:



La creciente presión sobre los recursos hídricos y estándares de calidad más exigentes.



Una mayor concienciación ambiental y la demanda de alternativas compatibles con la naturaleza y el bienestar social.



INFRAESTRUCTURAS GRISES vs SBN

Algunas infraestructuras grises reproducen procesos naturales como la actividad biológica, la decantación o la adsorción, pero los acelera para maximizar la depuración.

En cambio, **las SBN integran estos procesos de manera natural, sostenible y armónica con el entorno.**



Tecnologías sencillas, de bajo mantenimiento y con menor necesidad de personal especializado.



Bajo consumo energético y menor uso de reactivos químicos.



Se integran en el paisaje y aportan beneficios como recarga de acuíferos, biodiversidad y captura de carbono.



Se adaptan al territorio, al clima, a la meteorología y al espacio disponible.



Eliminan contaminantes convencionales como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), nutrientes y sólidos en suspensión, aunque su rendimiento puede variar según las condiciones naturales.



Pueden seguir funcionando sin suministro eléctrico continuo y con mantenimientos espaciados.

INFRAESTRUCTURAS GRISES

Requieren sistemas de control avanzados y personal técnico especializado.

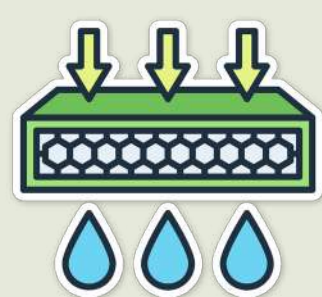
Mayor consumo de energía y productos químicos.

Generan residuos y presentan menor integración en entornos de alto valor ecológico.

Pueden implantarse en casi cualquier entorno.

Ofrecen altos rendimientos y permiten tratar incluso contaminantes emergentes.

Dependen de energía, reactivos y mano de obra especializada.



Ambos sistemas son complementarios. Combinar infraestructuras grises (altos niveles de depuración) con SBN (resiliencia hídrica y servicios ecosistémicos) permite una gestión del agua más eficiente y sostenible.



Cuando no es viable construir una infraestructura gris, no se requiere un nivel de depuración elevado o se busca mejorar la regulación hídrica frente a sequías e inundaciones, **las SBN constituyen una solución integral y eficaz.**



La Comisión Europea señala **las SBN como una de las herramientas clave para la gestión hídrica**, si bien es necesario vencer barreras y retos que limitan todavía su implantación.



La **Estrategia Europea de Resiliencia Hídrica (2025)** propone diversas acciones, entre las que destaca "apoyar las asociaciones estratégicas y la diplomacia del agua para fomentar una gestión integrada de los recursos hídricos, el uso de SBN y la inversión en agua y saneamiento sostenibles".

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA (I)

1 SISTEMAS DE INFILTRACIÓN

Tecnologías basadas en la infiltración del agua a través de un medio poroso. Se distinguen dos tipos de lechos: infiltración rápida e infiltración lenta (en este último caso, el lecho se cubre con plantas para potenciar la retención de nutrientes).

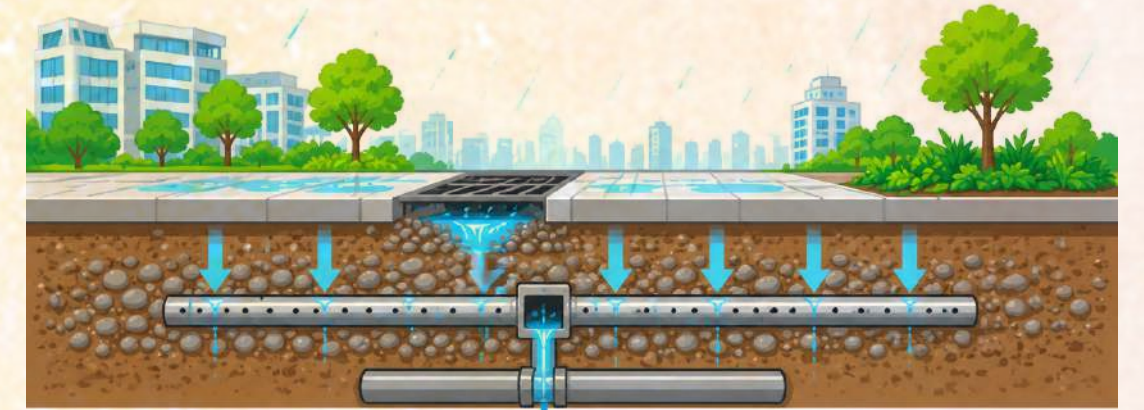
Pueden aplicarse:



Como tratamiento único o integradas en sistemas más complejos.

Para el tratamiento de aguas grises o aguas residuales domésticas con tratamiento previo. No están diseñadas para altos caudales ni cargas contaminantes elevadas.

El agua se distribuye sobre una capa de suelo activo con alta porosidad, lo que permite su flujo descendente hacia capas inferiores o sistemas de recolección. La porosidad del suelo determina el caudal tratable.



El agua final puede utilizarse nuevamente para el riego, la recarga de acuíferos o para usos industriales (si cumple los límites legales).



En entornos urbanos con un alto grado de impermeabilización se aplican sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) basados en este tipo de propuestas.

El diseño varía en función de sus objetivos:



Sistemas que retienen el agua de lluvia e impiden que continúe el flujo, como cubiertas vegetales, jardines urbanos o pavimentos filtrantes.



Sistemas con superficies parcialmente permeables.



Sistemas completamente permeables (material disgregado y/o vegetal).



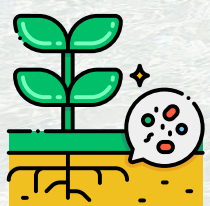
Se estima que hasta el **95 %** del agua en una ciudad acaba convertida en escorrentía, mientras que en entornos naturales este valor se reduce hasta el **5 %**.

2 PROCESOS DE FITO/FICORREMEDIACIÓN

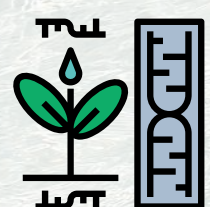
Tratamientos basados en la capacidad de plantas y microalgas para degradar, transformar, acumular o adsorber contaminantes presentes en el agua, convirtiéndolos en otros compuestos finales o intermedios menos perjudiciales o más fáciles de eliminar por otras vías.

Las plantas

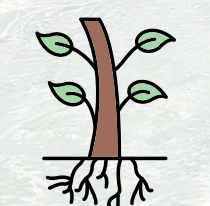
Pueden ser empleadas para **descontaminar ambientes acuáticos gracias a su interacción con el medio**. A través de sus raíces absorben el agua y los compuestos disueltos en ella.



Los **contaminantes pueden ser empleados por la planta como nutrientes** (fósforo, magnesio, amonio, etc.). Cada planta tiene una tasa de asimilación para cada nutriente y su velocidad varía según distintos parámetros.



Los **contaminantes no llegan a ser transformados y asimilados, sino acumulados en el interior de la planta** (tallos u hojas). Este proceso suele emplearse para reducir la presencia de metales pesados (hierro, cadmio o arsénico).



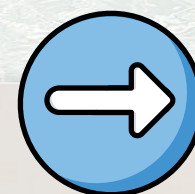
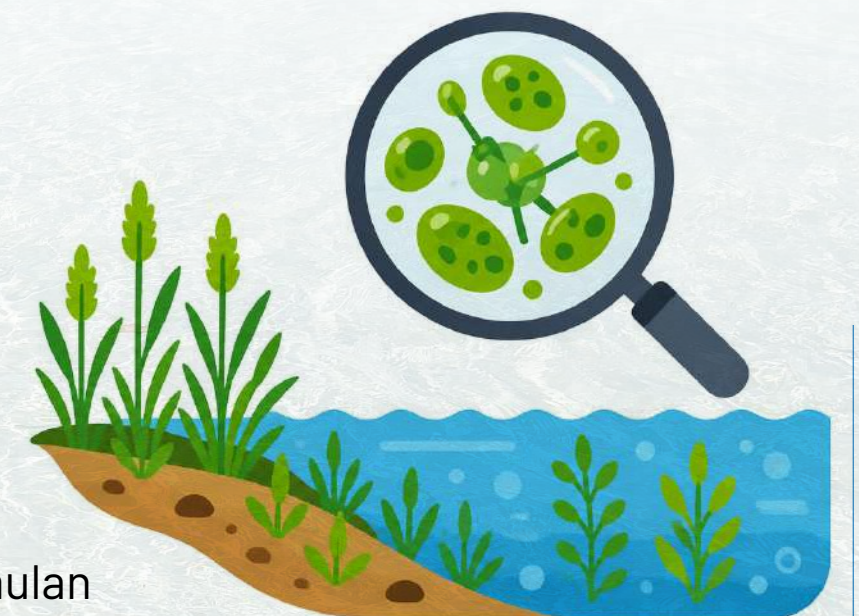
Por afinidad, **los contaminantes son adsorbidos por las raíces**. Para que se complete el tratamiento del contaminante se deben dar una serie de transformaciones a través de enzimas liberadas por las raíces o del consorcio que forman las raíces con hongos y bacterias.

Las plantas tienen un papel destacado a la hora de controlar el flujo del agua. La presencia de un sistema vegetal maduro asegura que el suelo tenga una buena porosidad y, por lo tanto, en episodios de lluvias intensas, se favorece la infiltración hacia el subsuelo, reduciendo la escorrentía.

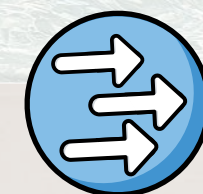
Las algas

Tienen un **comportamiento análogo al de las plantas terrestres**, ya que degradan el contaminante, lo asimilan, acumulan o adsorben en su membrana o superficie.

También pueden trabajar de forma sinérgica con diferentes microbiotas bacterianas, ampliando su potencial de purificación.



Tratamiento pasivo: se aplica en **humedales construidos o lagunajes convencionales, donde el desarrollo de las algas sigue un comportamiento natural**, prácticamente sin intervención humana, respetando sus ciclos. Solo se retiran si su crecimiento excede al deseado.



Tratamiento activo: existen **diferentes configuraciones de reactores biológicos** en los que las algas son expuestas a altas concentraciones de nutrientes, con ciclos de luz naturales o artificiales, para potenciar o maximizar su crecimiento.

Los techos y muros vegetales son soluciones que se utilizan en entornos urbanos e industriales para tratar aguas grises y regenerar agua para el riego o el uso en lavabos. Aportan **ventajas a nivel energético, reduciendo el impacto de la radiación solar y minimizando el efecto de isla de calor, y favorecen la biodiversidad**.



SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA (II)

3 LAGUNAJE

Soluciones que combinan la acción bacteriana (autótrofa y/o heterótrofa) con procesos físicos de sedimentación y desinfección. En algunos casos, puede sumarse la acción depurativa de algas o plantas como cultivos acuáticos. El fondo de la laguna está impermeabilizado y no se contempla la infiltración.



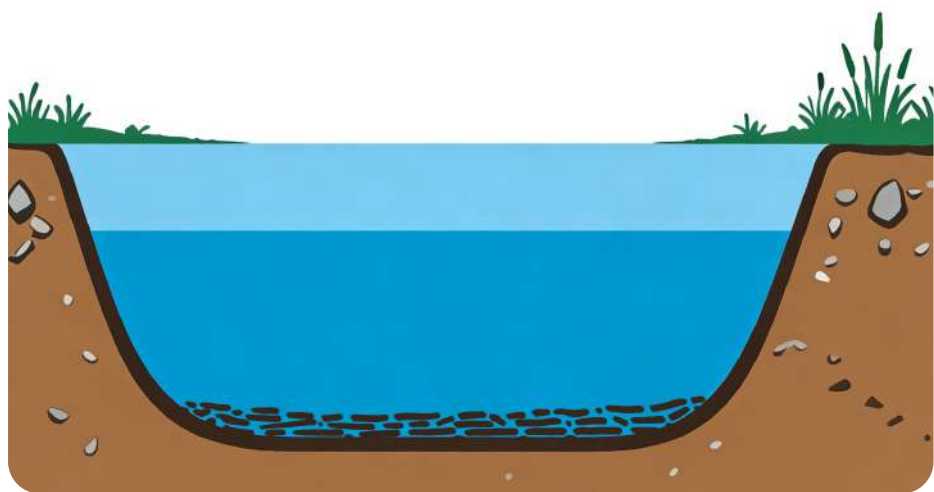
Las bacterias necesitan una fuente de carbono y nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, para su crecimiento. Las **heterótrofas** toman la materia orgánica del medio, si bien tienen que fragmentarla en moléculas más simples para asimilar el carbono. Las **autótrofas**, en cambio, toman el carbono del CO₂ o de carbonatos.

Las lagunas pueden tener diseños **diferentes**. Para un tratamiento concreto se puede **aplicar un único lagunaje o bien realizar una combinación hasta alcanzar el objetivo de calidad pretendido**. Suelen aplicarse en territorios donde la superficie disponible no es un parámetro limitante, el agua que tratar no presenta una contaminación compleja o elevada y cuando se desea reducir los costes de mantenimiento y operación.

Incorporar vegetación autóctona en los márgenes ayuda a fomentar la diversidad vegetal de la zona, así como la de polinizadores y otros insectos.

LAGUNAS ANAEROBIAS

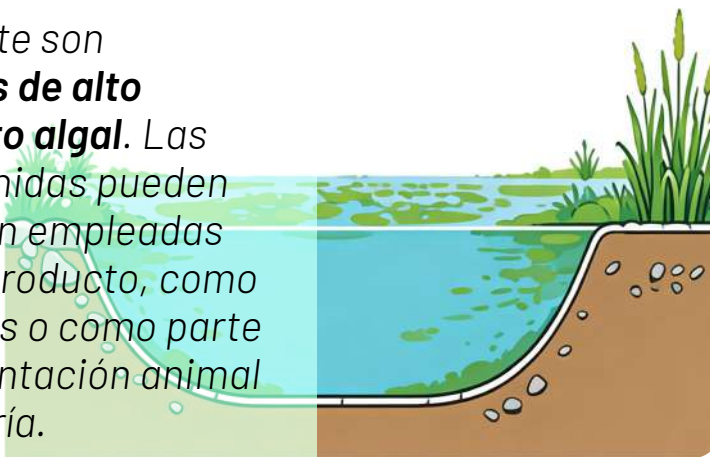
Actúan como **balsas de decantación y de degradación de la materia orgánica sedimentada por vía anaerobia** (en ausencia de oxígeno). Presentan una mayor profundidad y un menor tiempo de residencia hidráulico (TRH), ya que la actividad de las bacterias se focaliza en la materia decantada y no sobre la soluble.



LAGUNAS FACULTATIVAS

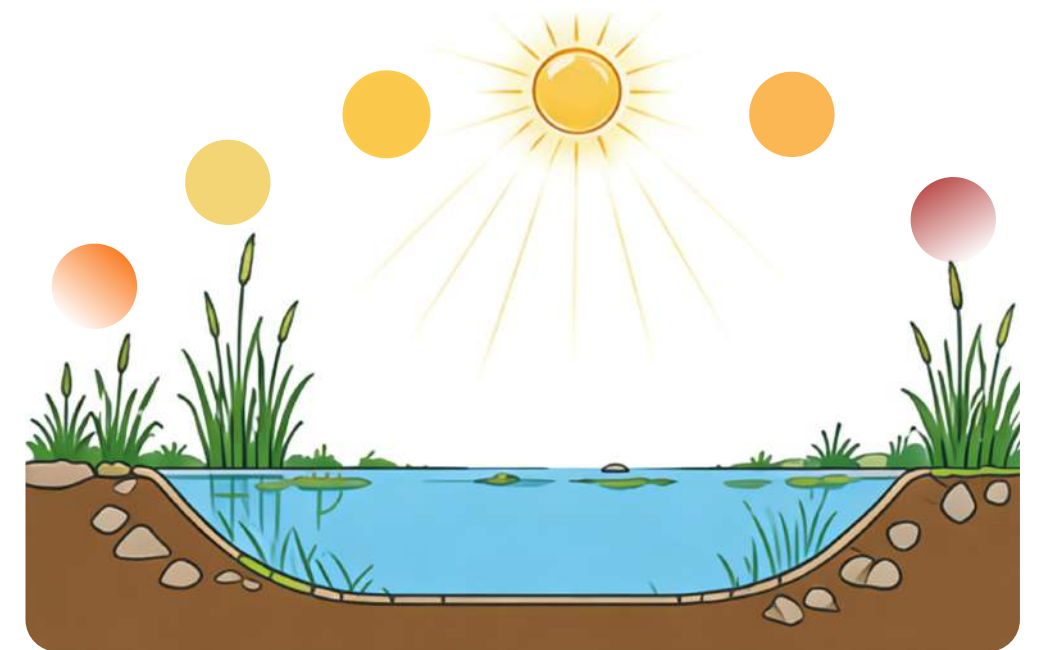
El agua se retiene durante un tiempo mayor para asegurar el **tratamiento biológico mediante la combinación de algas y bacterias**. La profundidad es inferior, pero permite que exista una zona aerobia en las capas altas y una zona anóxica en las inferiores. Esto facilita que las bacterias autótrofas puedan eliminar de forma satisfactoria los nutrientes presentes.

Una variante son las **lagunas de alto crecimiento algal**. Las algas obtenidas pueden ser también empleadas como subproducto, como fertilizantes o como parte de la alimentación animal en ganadería.



LAGUNAS DE MADURACIÓN

Son las menos profundas, ya que su objetivo principal es asegurar la desinfección del agua exponiendo las bacterias durante un largo periodo de tiempo a la radiación solar.



4 HUMEDALES CONSTRUIDOS

Ecosistemas artificiales que simulan el funcionamiento de un humedal natural. Integran infiltración, fito/ficorremediación y actividad bacteriana, lo que los convierte en sistemas de depuración complejos y completos.

Contribuyen a purificar el agua residual, a laminar las avenidas de agua y sirven para el tratamiento de aguas grises y aguas urbanas o industriales, en función de su diseño y del pretratamiento aplicado.

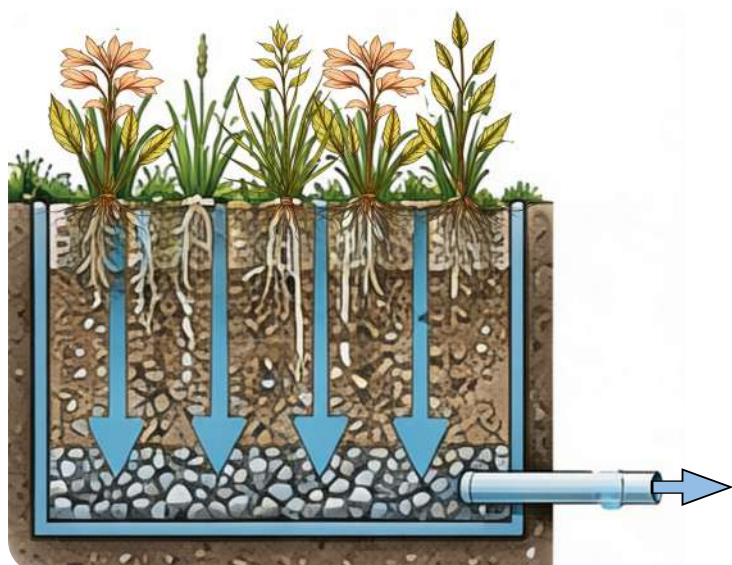


El agua interactúa tanto con el medio filtrante, reteniendo material particulado y propiciando la infiltración, **como con las raíces de las plantas**, para asimilar o degradar los contaminantes. Las **bacterias completan el tratamiento**.

La clasificación de los diferentes humedales se basa en la dirección en la que fluye el agua y el tipo de vegetación empleada.

FLUJO VERTICAL

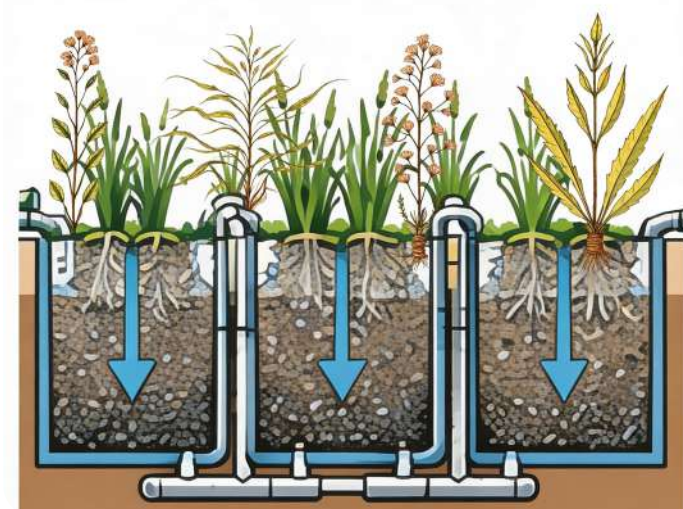
El agua se aplica en las capas de vegetación superficial y se va infiltrando hasta el fondo del vaso impermeabilizado.



Finalmente, se dirige hasta un extremo para evacuarla.

FLUJO VERTICAL | TIPO FRANCÉS

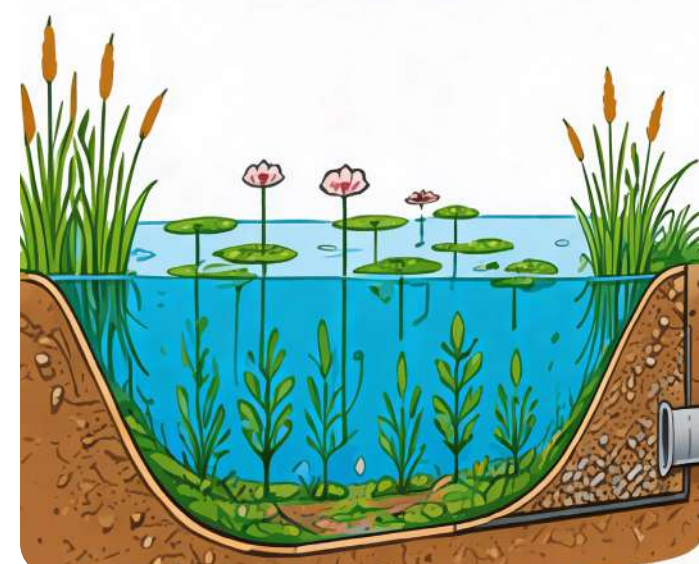
El agua se trata en un primer humedal con arenas gruesas que interceptan los sólidos y partículas, convirtiéndose en fango.



Se unen varios humedales en paralelo para alternar la carga de agua.

FLUJO HORIZONTAL

El agua circula únicamente por el lecho y la zona radicular. El medio se encuentra completamente saturado y no existen canales de aireación, por lo que se pueden dar condiciones anóxicas que propicien la desnitrificación.



FLUJO LIBRE

El más parecido a los humedales naturales, ya que el agua está libre en una columna de profundidad variable. Se combina vegetación flotante y sumergida.



Las raíces de las plantas hacen de soporte para los microorganismos y retienen material particulado fino.

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA (III)

5 RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS NATURALES

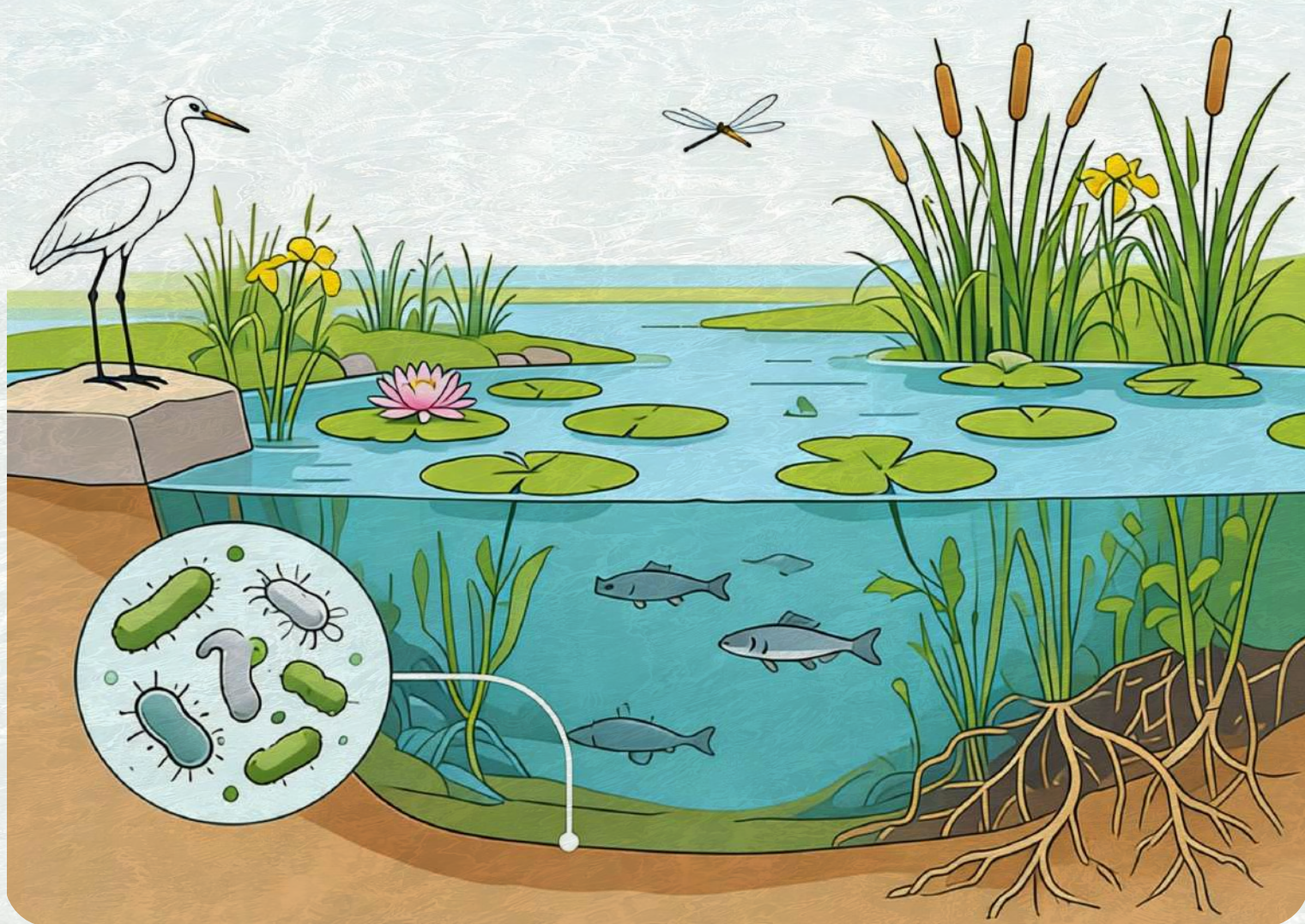
Esta opción se fundamenta en **mantener y restituir diversos tipos de ecosistemas naturales, como humedales, llanuras de inundación, manglares o marjales**. Los ecosistemas dependen del territorio y la geografía, condicionando los beneficios esperados.



En Europa, estos espacios se protegen por su **alto valor ecológico y los servicios que ofrecen** (biodiversidad, secuestro de carbono, reducción del efecto isla de calor, ocio...), ya que la **legislación es muy estricta con relación a la calidad del agua que se vierte**. Todavía más en el caso de zonas de alto valor ambiental, como la Albufera de Valencia, las Tablas de Daimiel o el Parque Nacional de Doñana.

HUMEDALES

En estos ecosistemas **conviven especies vegetales flotantes, emergentes y sumergidas** que, junto con la acción bacteriana, mantienen la calidad del agua. La acción humana se limita a su conservación.



- ⊕ Son **grandes reservorios de agua al conectar el agua superficial con el agua subterránea**, convirtiéndose en un sistema de recarga de acuíferos continuo y de calidad y con capacidad autodepurante.
- ⊕ El rápido crecimiento de la vegetación en estas áreas favorece el secuestro de carbono, por lo que, a pesar de cubrir tan solo el 5 % de la superficie de la tierra, **a los humedales se les atribuye hasta el 30 % de la captura de CO₂ global**.
- ⊕ Son de gran ayuda en episodios de tormentas o avenidas, ya que permiten **laminar el agua, reducen el caudal de la escorrentía y son zonas permeables**. También incrementan la humedad del territorio, lo que contribuye a reducir la temperatura local. Y tienen un impacto positivo social directo, ya que son un reclamo turístico y un espacio de educación ambiental, fomentando la economía local.

RIBERAS Y LLANURAS DE INUNDACIÓN

Una de las **Soluciones Basadas en la Naturaleza más aplicada**, ya que prácticamente en todos los entornos urbanos hay una zona fluvial y porque aportan beneficios socioambientales con un relativo bajo coste.



- ⊕ Como los humedales, son **zonas muy fértiles, debido a los sedimentos que arrastra el agua**. Por ello, la vegetación crece rápidamente, lo que los convierte en un sumidero de CO₂.
- ⊕ La **materia orgánica de los sedimentos se mineraliza** lentamente gracias a las condiciones de saturación en agua, minimizando también las emisiones de CO₂.
- ⊕ Cuando se lleva a cabo la restauración de riberas o llanuras de inundación, es fundamental mantener la **conexión entre ecosistemas para maximizar sus beneficios**.

