BOSQUE INNOVA

Fundación General CSIC

Informe de situación y necesidades sobre Fitorremediación como alternativa de depuración en núcleos rurales.

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Contenido

1 Fitorremediación. Introducción. 5

1.1 Fitovolatilización (Phytovolatilization) 6

1.2 Fitotransformación (Phytotransformation) 7

1.3 Fitoextracción (Phytoextraction) 7

1.4 Rizorremediación (Rhizoremediation) 8

1.5 Fitostabilización (Phytostabilization) 8

2 Visión General de la Fitorremediación en Aguas Residuales Rurales 12

3.- Principales empresas de Fitorremediación 16

Aquaphytex: 16

Agua Inc 18

Clearas Water Recovery 21

Phytorestore (Francia, Brasil...) 23

Biomatrix Water (Reino Unido): 26

Orgánica Water (Hungría): 28

John Todd Ecological Design – Living Machines (EE. UU.): 30

4.- Modelos Híbridos (Tecnología + Naturaleza) en Fitorremediación 31

5.- Principales proyectos de Fitorremediación 33

5.1. Phy2Sudoe 33

6.- Mercado, Posicionamiento y Competencia en el Sector de Fitoremediación 34

6.2. Restauración de suelos contaminados por metales pesados: una estrategia basada en la revalorización de residuos y la biorremediación ... 37

7.- Esquema de un proyecto de fitorremediación en entornos rurales 39

7.1. Introducción y Objetivo del Proyecto 39

7.2. Análisis del Entorno 39

7.3. Evaluación de la Situación Actual 39

7.4. Objetivos del Proyecto 39

7. **5. Selección del Sistema de Tratamiento** 39

7.6. Diseño Técnico 39

7.7. Viabilidad y Presupuesto 40

7.8. Plan de Gestión y Mantenimiento 40

7.9. Estrategia de Participación y Educación Ambiental 40

8.- Estrategia de venta y atractivos para inversores o ayuntamientos 41

9.- Dimensionamiento de una startup de fitorremediación: 42

10.- Marco legal de la fitodepuración de aguas residuales en pequeños municipios (Alto Tajo, España): 44

10.1 Introducción 44

10.2 Antecedentes aplicables 44

10.3 Normativa estatal sobre depuración de aguas residuales 45

10.4 Requisitos de calidad del efluente y límites de vertido autorizables .. 47

10.5 Fitodepuración y humedales artificiales: requisitos técnicos y reconocimiento legal 50

10.6 Incentivos, guías técnicas y proyectos piloto de apoyo a la depuración natural 52

10.7 Consideraciones específicas para la zona del Alto Tajo 53

10.8 Conclusiones 55

10.9 Normativa aplicable: 57

1 Fitorremediación. Introducción.

Este informe se elabora dentro de las actividades de Vigilancia Tecnológicas incluidas en el proyecto Bosque Innova. El proyecto Bosque Innova cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Miteco) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea a través de los fondos NextGenerationEU.

La fitorremediación es una tecnología natural y sostenible que utiliza plantas para eliminar, contener o transformar contaminantes del suelo, agua y aire en entornos rurales y urbanos. Es una solución viable y de bajo coste para restaurar espacios degradados, y tiene un enorme potencial para pequeños municipios, zonas rurales, antiguos terrenos industriales o agrícolas contaminados. Dentro de sus potenciales aplicaciones está, por supuesto, la descontaminación de aguas residuales en entornos rurales, con núcleos poblacionales asociados de pequeñas dimensiones.

En este contexto, el uso de plantas con características ornamentales en zonas sometidas a procesos de descontaminación permite mejorar el paisaje, ofreciendo además una opción turística y una fuente de ingresos con alto valor añadido.

Las especies utilizadas destacan no solo por su tolerancia al estrés ambiental, crecimiento rápido, alta producción de biomasa y buen desarrollo radicular. En general dichas plantas no están destinadas al consumo humano ni animal, lo que evita la entrada de contaminantes en la cadena alimentaria y, al mismo tiempo, aumenta el valor estético del entorno.

Además, las plantas utilizadas aportan múltiples servicios ecosistémicos, fomentan el bienestar humano y contribuyen a la conservación de la biodiversidad.

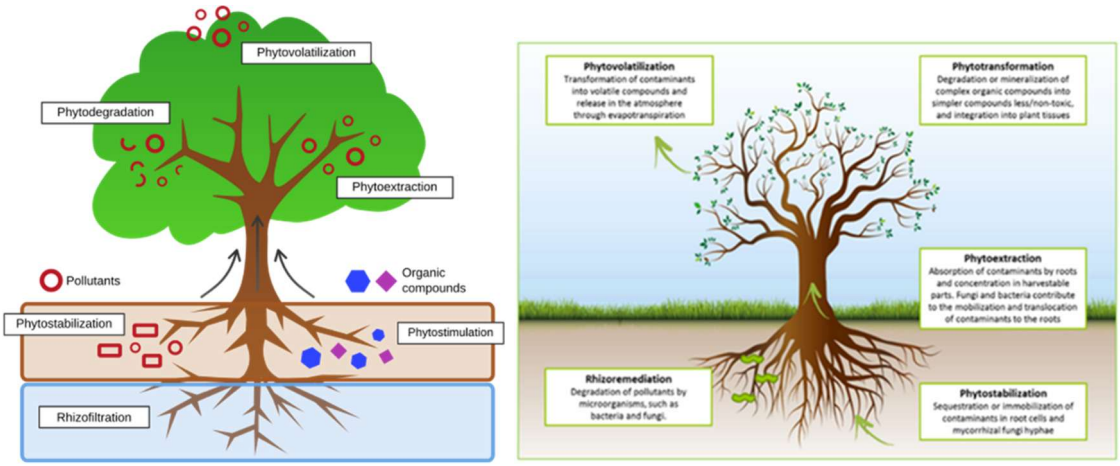
Es una tecnología de descontaminación prometedora, que embellece los espacios degradados y ofrece una posible alternativa de ingresos y diversificación en la producción hortícola.

De manera específica, esta tecnología presenta una enorme cantidad de oportunidades y ventajas. En el caso que nos ocupa, que es el de depuración de aguas residuales en núcleos rurales pequeños, las principales serían:

- Reducción de la contaminación.
- Cumplimiento de las normativas de vertidos.
- Evitar las infraestructuras físicas como depuradoras, etc.
- Eliminación del uso de químicos.

- Reducción de la huella de carbono.
- Grandes oportunidades de mejora paisajística.
- Recuperación de entornos degradados.
- Oportunidad de creación de empleo y riqueza.
- Recarga de acuíferos.
- Creación de lugares de recreo y esparcimiento
- Retorno social: posible zona de concienciación acerca de la contaminación y el compromiso con la naturaleza

En realidad la fitorremediación se refiere a un conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos que tienen lugar en distintas partes de las plantas, tal como aparece en los siguientes esquemas.



1.1 Fitovolatilización (Phytovolatilization)

Es el proceso mediante el cual las plantas absorben contaminantes del suelo o agua y los transforman en compuestos volátiles que luego son liberados al aire a través de la evapotranspiración. Los principales procesos físico-químicos involucrados son**:**

- Transformación enzimática de metales o compuestos orgánicos.
- Transporte de contaminantes desde raíces hasta hojas.
- Liberación de gases por estomas.

Algunas plantas con especial valor en esta área podrían ser: Álamo (Populus spp.), Mostaza india (Brassica juncea), Menta y otras aromáticas.

En principio, el principal valor añadido, o las áreas de mayor interés económico, serían la biofiltración natural de gases tóxicos (mercurio, selenio, tricloroetileno), las estaciones verdes en polígonos industriales o zonas mineras o el diseño de pantallas verdes descontaminantes.

Ventajas:

- Bajo mantenimiento.
- Mejora la calidad del aire.
- Integrable en paisajes urbanos o rurales.

Inconvenientes:

- Posible transferencia de contaminantes al aire.
- Requiere control para evitar acumulación excesiva de gases tóxicos.

1.2 Fitotransformación (Phytotransformation)

Es la transformación o mineralización de contaminantes orgánicos complejos en compuestos menos tóxicos o no tóxicos, integrándolos en tejidos vegetales, mediante procesos de oxidación-reducción, reacciones enzimáticas (p. ej. peroxidasas, lacasas) o mineralización. Entre las plantas utilizadas están el álamo híbrido, el sauce o los juncos en humedales artificiales.

Quizá este proceso sea el más importante en instalaciones para tratamiento de aguas residuales agrícolas o industriales, o como complemento en depuradoras naturales, o bien para uso en biojardines para descontaminación.

Ventajas:

- Eficaz con pesticidas, hidrocarburos, disolventes.
- Integra contaminantes en biomasa.

Inconvenientes:

- No funciona bien con metales pesados.
- Degradación lenta si las condiciones del suelo no son óptimas.

1.3 Fitoextracción (Phytoextraction)

Las plantas absorben metales pesados del suelo mediante las raíces y los acumulan en sus partes aéreas. Estas partes luego pueden cosecharse y eliminarse de forma segura, mediante el transporte activo de iones metálicos, la quelación intracelular y la acumulación en las hojas o en los tallos.

Algunos ejemplos de plantas hiperacumuladoras son Thlaspi caerulescens (níquel, zinc), Arabidopsis halleri (cadmio), Mostaza india... Es tal el nivel de acumulación

que incluso se ha propuesto un concepto nuevo: la agrominería, que consiste en la recuperación de metales valiosos como el níquel y el cobalto. La fitoextracción también es útil o aprovechable para el biorreciclaje de suelos agrícolas contaminados o para cultivos rotacionales que permitan la rehabilitación de zonas mineras.

Ventajas:

- Eliminación efectiva de metales del suelo.
- Posibilidad de uso agrícola posterior.

Inconvenientes:

- Requiere varias cosechas.
- Solo útil con suelos de concentración moderada de metales.

1.4 Rizorremediación (Rhizoremediation)

Consiste en la interacción entre las raíces de plantas y microorganismos del suelo (bacterias, hongos) que degradan contaminantes. Las raíces estimulan el crecimiento microbiano a través de exudados. En realidad, es una biorremediación facilitada por rizobacterias, que realizan la transformación enzimática de compuestos orgánicos mediante ciclos de nitrificación/desnitrificación.

Por ejemplo, entre las especies útiles desde este punto de vista tenemos trébol, alfalfa, gramíneas... cualquier planta con raíz densa y exudativa. Desde el punto de vista económico, la rizorremediación es interesante para la rehabilitación de campos agrícolas contaminados, las microempresas locales de producción de biofertilizantes y consorcios microbianos, los cultivos de cobertura con beneficios duales: descontaminación + mejora de suelo.

Ventajas:

- Bajo coste y muy ecológico.
- Alta eficiencia en contaminantes orgánicos.

Inconvenientes:

- Menor eficacia con metales pesados.
- Depende mucho de las condiciones del suelo.

1.5 Fitostabilización (Phytostabilization)

Las raíces pueden también cumplir otra función: inmovilizan contaminantes en el suelo o en los tejidos radiculares, evitando que se dispersen por erosión, escorrentía o absorción por otros organismos. Esto lo realizan mediante la adsorción en raíces, la formación de complejos insolubles o la interacción con hongos micorrízicos.

Las plantas de mayor interés en este apartado son plantas resistentes como las gramas, la festuca o algunas especies de arbustos, además de las especies tolerantes a metales como Vetiver o Panicum.

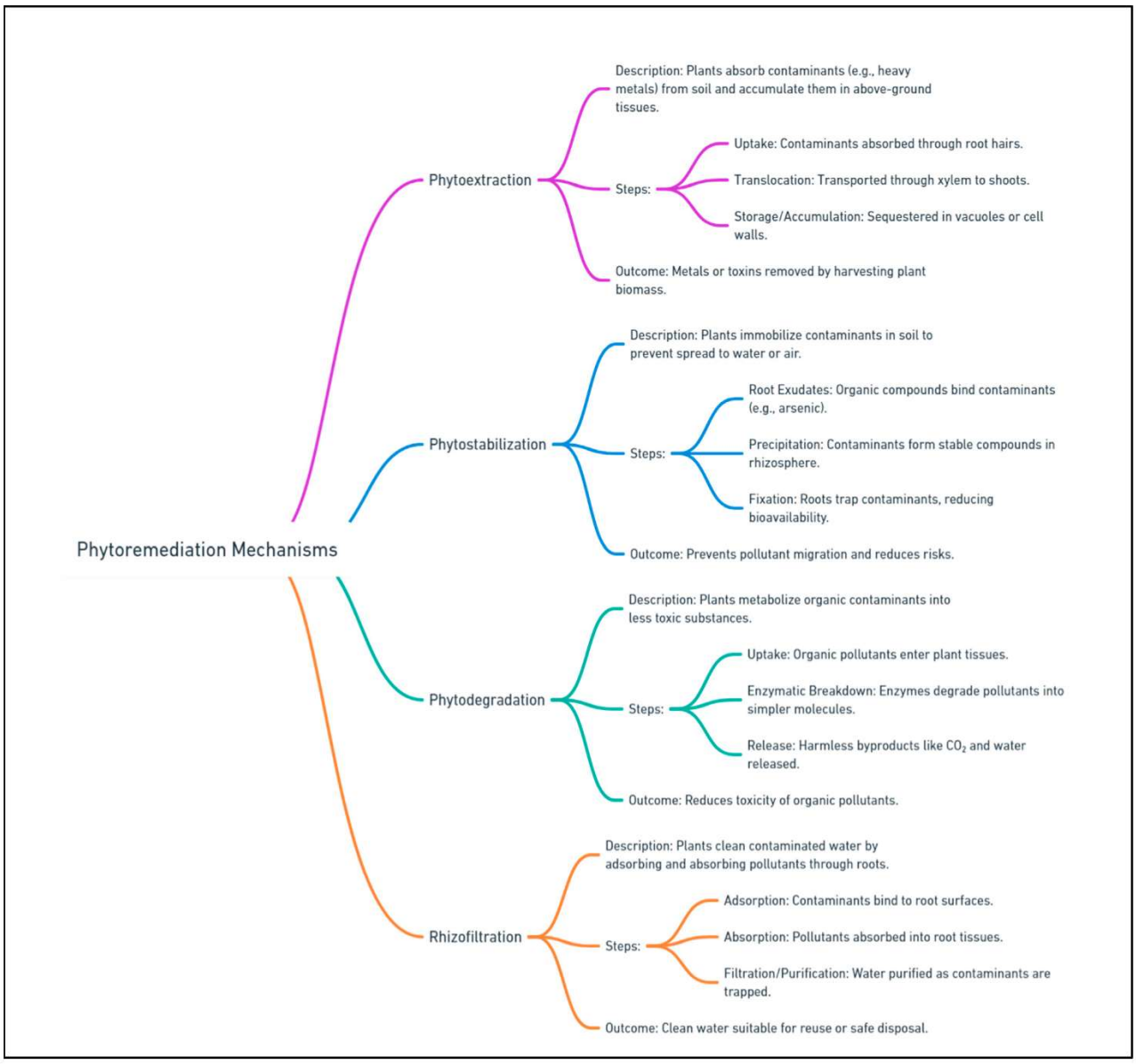
Desde el punto de vista económico la fitostabilización tiene importancia en la restauración paisajística de escombreras y canteras, la protección de suelos urbanos contaminados, la creación de barreras verdes en bordes de ríos o vertederos.

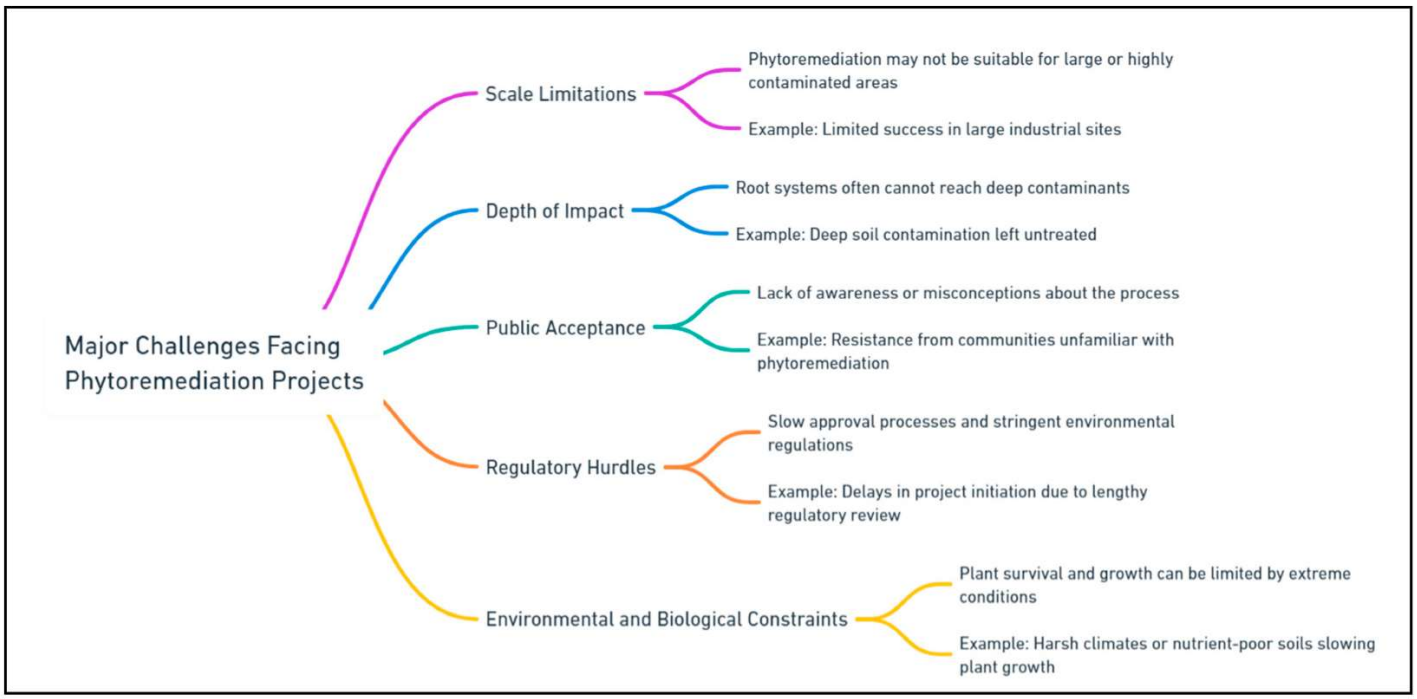
Ventajas:

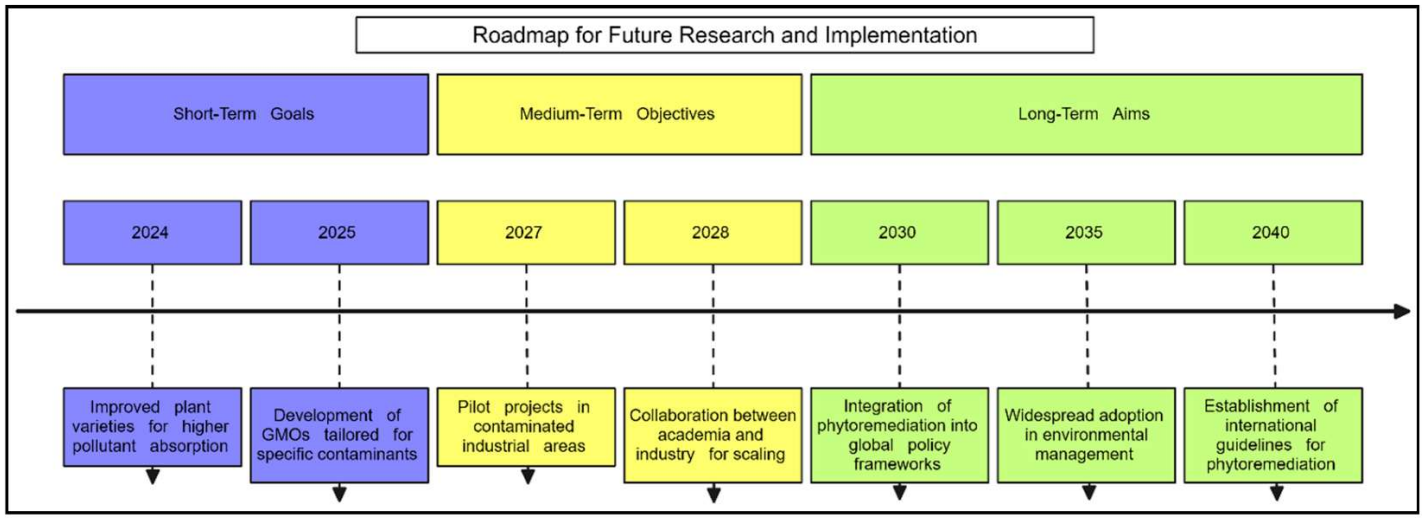
- Rápida implementación.
- Previene dispersión secundaria.

Inconvenientes:

- No elimina los contaminantes.
- Requiere monitoreo constante para garantizar eficacia a largo plazo.


Phytoremediation Mechanisms
Phytoextraction
Description: Plants absorb contaminants (e.g., heavy metals) from soil and accumulate them in above-ground tissues.
Steps:
Uptake: Contaminants absorbed through root hairs.
Translocation: Transported through xylem to shoots.
Storage/Accumulation: Sequestered in vacuoles or cell walls.
Outcome: Metals or toxins removed by harvesting plant biomass.
Phytostabilization
Description: Plants immobilize contaminants in soil to prevent spread to water or air.
Steps:
Root Exudates: Organic compounds bind contaminants (e.g., arsenic).
Precipitation: Contaminants form stable compounds in rhizosphere.
Fixation: Roots trap contaminants, reducing bioavailability.
Outcome: Prevents pollutant migration and reduces risks.
Phytodegradation
Description: Plants metabolize organic contaminants into less toxic substances.
Steps:
Uptake: Organic pollutants enter plant tissues.
Enzymatic Breakdown: Enzymes degrade pollutants into simpler molecules.
Release: Harmless byproducts like CO_2 and water released.
Outcome: Reduces toxicity of organic pollutants.
Rhizofiltration
Description: Plants clean contaminated water by adsorbing and absorbing pollutants through roots.
Steps:
Adsorption: Contaminants bind to root surfaces.
Absorption: Pollutants absorbed into root tissues.
Filtration/Purification: Water purified as contaminants are trapped.
Outcome: Clean water suitable for reuse or safe disposal.


Major Challenges Facing Phytoremediation Projects
Scale Limitations
Phytoremediation may not be suitable for large or highly contaminated areas
Example: Limited success in large industrial sites
Depth of Impact
Root systems often cannot reach deep contaminants
Example: Deep soil contamination left untreated
Public Acceptance
Lack of awareness or misconceptions about the process
Example: Resistance from communities unfamiliar with phytoremediation
Regulatory Hurdles
Slow approval processes and stringent environmental regulations
Example: Delays in project initiation due to lengthy regulatory review
Environmental and Biological Constraints
Plant survival and growth can be limited by extreme conditions
Example: Harsh climates or nutrient-poor soils slowing plant growth


Roadmap for Future Research and Implementation
Short-Term Goals
Medium-Term Objectives
Long-Term Aims
2024
2025
2027
2028
2030
2035
2040
Improved plant varieties for higher pollutant absorption
Development of GMOs tailored for specific contaminants
Pilot projects in contaminated industrial areas
Collaboration between academia and industry for scaling
Integration of phytoremediation into global policy frameworks
Widespread adoption in environmental management
Establishment of international guidelines for phytoremediation

2 Visión General de la Fitorremediación en Aguas Residuales Rurales

Como hemos dicho, la fitorremediación es una técnica de descontaminación que utiliza plantas vivas para depurar aguas, suelos o aire. En el caso de aguas residuales domésticas, se aprovecha la capacidad natural de ciertas plantas (como macrófitas acuáticas) y de los microorganismos asociados a sus raíces para eliminar contaminantes orgánicos y nutrientes. En entornos rurales de pequeña escala, donde puede no ser viable económicamente instalar depuradoras convencionales, las soluciones basadas en vegetación (humedales construidos, filtros verdes, etc.) ofrecen una alternativa sostenible. Estas instalaciones suelen tomar la forma de humedales construidos o sistemas de lagunaje con plantas, también llamados sistemas de fitodepuración, en los que el agua residual pasa a través de lechos cultivados con plantas depuradoras (p. ej., juncos, carrizos o eneas). La fitoremediación forma parte de las llamadas soluciones basadas en la naturaleza para el saneamiento y se alinea con estrategias globales de desarrollo sostenible al requerir menor energía y aportar co-beneficios ecológicos (hábitat para fauna, integración paisajística, etc.).

En el caso de los núcleos rurales, por definición de reducida población/extensión, presenta grandes ventajas ya que es una tecnología que tiene bajo coste de implantación, sobre todo comparado con tecnologías industriales como las depuradoras de agua.

Además, en este contexto, la fitorremediación convierte problemas en oportunidades de negocio o simplemente de mejoras de la calidad de vida, ya que puede usarse para revitalizar terrenos degradados que podrían destinarse a agricultura, parques, turismo o centros educativos.

Como argumento adicional, la fitoremediación forma parte de las llamadas soluciones basadas en la naturaleza para el saneamiento y se alinea con estrategias globales de desarrollo sostenible al requerir menor energía y aportar co-beneficios ecológicos (hábitat para fauna, integración paisajística, etc.), lo que permite el acceso a fondos públicos o europeos para desarrollo sostenible, economía circular y restauración de suelos.

Las principales cifras “en órdenes de magnitud” de diseño de una estación de fitorremediación serían las siguientes:

- Es necesaria aproximadamente una extensión de 1 a 10 m^2 por habitante equivalente.
- 50 € por m^2 de instalación (hasta 300 € según comentado por los emprendedores).

Como toda tecnología, la fitoremediación presenta fortalezas y limitaciones. A continuación se resumen las principales ventajas e inconvenientes al aplicarla para tratar aguas residuales domésticas en pequeños núcleos rurales:

Ventajas principales

- **Bajo coste y simplicidad:** La operación de los sistemas vegetales es auto-mantenida en gran medida, por lo que sus costos de vida útil son notablemente menores que los de plantas convencionales. No requieren reactivos químicos ni personal especializado permanente; muchas tareas se reducen a podas anuales o monitoreos ocasionales, lo cual es ideal para comunidades con recursos limitados.
- **Consumo energético mínimo:** La mayoría de humedales construidos funcionan por gravedad (flujo del agua a través del sustrato) y por acción biológica natural, evitando el uso de motores eléctricos u otros equipos intensivos en energía. Esto los hace atractivos en zonas sin red eléctrica confiable o donde se busca minimizar la huella de carbono del saneamiento.
- **Integración ambiental y social:** Al emplear plantas y parecerse a ecosistemas naturales, estos sistemas generan amenidades adicionales: no producen olores fuertes ni ruidos, pueden integrarse paisajísticamente como parques o reservas, y favorecen la biodiversidad local (aves acuáticas, insectos benéficos). En pueblos pequeños, un humedal depurador puede convertirse en un elemento educativo y recreativo, al contrario de una depuradora convencional que suele aislarse por su impacto visual/olfativo.
- **Adaptabilidad y robustez:** Los sistemas de fitorremediación se adaptan bien a cargas contaminantes variables. Las plantas y microorganismos crean un microecosistema capaz de amortiguar picos de flujo o periodos de inactividad (por ejemplo, aguantan que un pueblo tenga variaciones estacionales de población turística). Además, ciertos contaminantes difíciles (metales pesados, algunos compuestos orgánicos) pueden ser retenidos o degradados por las plantas, algo que complementa a los tratamientos tradicionales. Existe incluso la posibilidad de recuperar nutrientes: por ejemplo, cosechar la biomasa vegetal rica en nitrógeno/fósforo para composta, cerrando el ciclo de nutrientes.
- **Aceptación pública:** En comunidades reticentes a albergar “plantas de tratamiento” por temores de malos olores o complejidad, la opción de un jardín filtrante suele ser bien recibida. Esto facilita la participación ciudadana en proyectos de saneamiento y promueve la educación ambiental. La visibilidad de la tecnología (se ve el proceso natural) a menudo genera mayor comprensión y cuidado por parte de los habitantes.

Inconvenientes y limitaciones

- **Requerimiento de terreno extenso:** El principal inconveniente práctico es la gran superficie necesaria. Los humedales tienen una capacidad de carga por metro cuadrado inferior a la de procesos mecanizados; por ello, para tratar el caudal de un pueblo suelen hacer falta áreas considerables. En zonas donde el coste de suelo es alto o hay poca tierra disponible, no son la opción preferida (Constructed wetland - Wikipedia). Por ejemplo, se estima que un humedal puede requerir del orden de 5–10 m^2 por habitante para un tratamiento completo, algo inviable en contextos urbanos densos.
- **Eficacia variable según clima:** Aunque funcionan en una amplia gama climática, en climas fríos la actividad biológica disminuye y las plantas pueden entrar en dormancia invernal. Esto puede reducir la eficiencia de depuración en invierno (menor eliminación de nitrógeno, por ejemplo). En consecuencia, en regiones de inviernos duros a veces se sobredimensionan los sistemas o se complementan con etapas previas. La estacionalidad puede ser un factor limitante para cumplir estrictos estándares todo el año sin apoyo tecnológico.
- **Limitaciones en profundidad y velocidad:** La fitoremediación actúa esencialmente donde llegan las raíces de las plantas o el biofilm asociado. Esto significa que es ideal para tratar agua superficial o efluentes canalizados, pero no para contaminación muy profunda (por ejemplo, una pluma de aguas subterráneas requiere plantaciones extensas de árboles). En contexto de depuración de aguas residuales domésticas, implica que el flujo debe ser lento para asegurar contacto suficiente. Si el caudal supera la capacidad, el rendimiento cae rápidamente. Por ello, no se puede “forzar” mucha carga contaminante en poco espacio/tiempo sin perder eficacia – de nuevo relacionándose con la necesidad de área.
- **Mantenimiento específico:** Si bien no requieren operadores diarios, no son completamente libres de mantenimiento. Es necesario cuidar que las plantas crezcan saludables (protección ante ganado que pueda pastar, reposición inicial de marras, control de especies invasoras). Además, con el tiempo los lechos filtrantes pueden colmatarse de sedimentos si no se pretrata bien el agua (normalmente se usa un tanque séptico o filtro previo). La limpieza de sólidos en fosas sépticas asociadas, el desbroce de plantas muertas y la vigilancia de roedores/insectos son tareas periódicas indispensables para garantizar la longevidad del sistema.
- **Percepción de incertidumbre técnica:** En algunos contextos institucionales, persiste la idea de que las soluciones “verdes” son complementarias pero no reemplazan a las convencionales en rendimiento. Esto puede traducirse en trabas administrativas o requerimientos adicionales de monitoreo para demostrar cumplimiento. Por ejemplo, asegurar consistentemente la eliminación de patógenos suele requerir

etapas adicionales (desinfección solar, cloración ligera o ultravioleta) ya que los humedales por sí solos reducen coliformes pero quizás no a niveles de reúso potable. Estos factores pueden verse como desventajas en comparación con sistemas clásicos cerrados donde la desinfección se integra fácilmente.

En este balance, las ventajas suelen prevalecer en entornos rurales con suficiente terreno y necesidad de soluciones autónomas: la fitoremediación ofrece una depuración económica, sostenible y de doble propósito (saneamiento + mejora ambiental). Los inconvenientes se hacen más patentes cuando se intenta aplicar esta tecnología fuera de su nicho óptimo (e.g. alta densidad de población, climas extremos, requerimientos de tratamiento muy avanzados). Por ello, muchas veces la solución ideal es híbrida, mitigando las desventajas mencionadas mediante complementos tecnológicos.

3.- Principales empresas de Fitorremediación

Aquaphytex:

Aquaphytex es una empresa española fundada en 2004 por Pedro Tomás Delgado, un joven emprendedor extremeño de Puebla de Alcocer que, con solo 19 años, descubrió el sistema de Filtro de Macrofitas en Flotación (FMF) a través de una revista. Este sistema, desarrollado y patentado por el departamento de producción vegetal de la Universidad Politécnica de Madrid bajo la dirección del profesor Jesús Fernández, se basa en el uso de macrofitas —especialmente juncos— para la depuración natural de aguas residuales mediante procesos biológicos que oxigenan el agua, eliminan bacterias patógenas y absorben contaminantes como nitratos, fosfatos y metales pesados.

La empresa se ha consolidado como líder en la producción de estas plantas y en la implementación de soluciones de depuración ecológica especialmente orientadas a poblaciones de menos de 10.000 habitantes, donde las estaciones depuradoras convencionales resultan ineficaces o inasumibles por coste. El sistema FMF, además de ser hasta diez veces más económico que las depuradoras tradicionales y de bajo mantenimiento, permite crear espacios que pueden integrarse como parques naturales o zonas recreativas, combinando funcionalidad ambiental, paisajismo y educación medioambiental.

Gracias al apoyo del Gabinete de Iniciativa Joven de Extremadura, Aquaphytex pudo desarrollar un vivero propio y establecer colaboraciones con la Universidad de Extremadura para proyectos de I+D. La empresa ha recibido galardones como el Premio de Honor de los Eurowards 2005 y ha implementado proyectos en aeropuertos, fábricas y polígonos industriales. Hoy en día, mantiene negociaciones con entidades públicas y privadas a nivel nacional y europeo, y proyecta su expansión hacia regiones con necesidad urgente de acceso a agua potable, como la cuenca del Níger.

Vicente Torres, jefe de proyectos de la empresa Macrofitas S.L., que ostenta en exclusiva la patente del FMF, ha sido uno de los principales asesores técnicos de

Aquaphytex. Además del tratamiento de aguas residuales, la empresa trabaja en el desarrollo de variedades vegetales adaptadas a residuos altamente contaminantes, como lixiviados industriales o purines porcinos, y ofrece servicios integrales de consultoría, diseño, mantenimiento e integración paisajística. Con su lema “Plantas extremeñas capaces de revolucionar el mundo”, Aquaphytex representa un ejemplo pionero de cómo las soluciones basadas en la naturaleza pueden ofrecer alternativas reales, económicas y sostenibles a desafíos ambientales críticos.

https://www.rtve.es/play/videos/fabrica-de-ideas/fabrica-ideas-invierte-aquaphytex/326748/

https://www.youtube.com/watch?v=DcYBujpkVIw

https://www.youtube.com/watch?v=lZs1ktJS7Ps

https://www.linkedin.com/in/pedro-tomas-delgado-ortiz/

A nivel internacional, Aquaphytex S.L. forma parte de la Nueva Cultura Mundial para la Gestión del Agua, una iniciativa que promueve la sostenibilidad de los recursos limitados del planeta. En este marco, colabora periódicamente con la delegación de París de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en actividades de transferencia tecnológica.

Según nuestros registros Aquaphytex sigue viva y en crecimiento:



Sin embargo, parece que Pedro Tomás Delgado Ortiz, según su perfil de Linkedin, se ha movido a un proyecto más internacional “Agua Inc” que describiremos a continuación.

BOSQUE INNOVA

Fundación General CSIC

AGUA INC
GLOBAL DEVELOPMENT GROUP

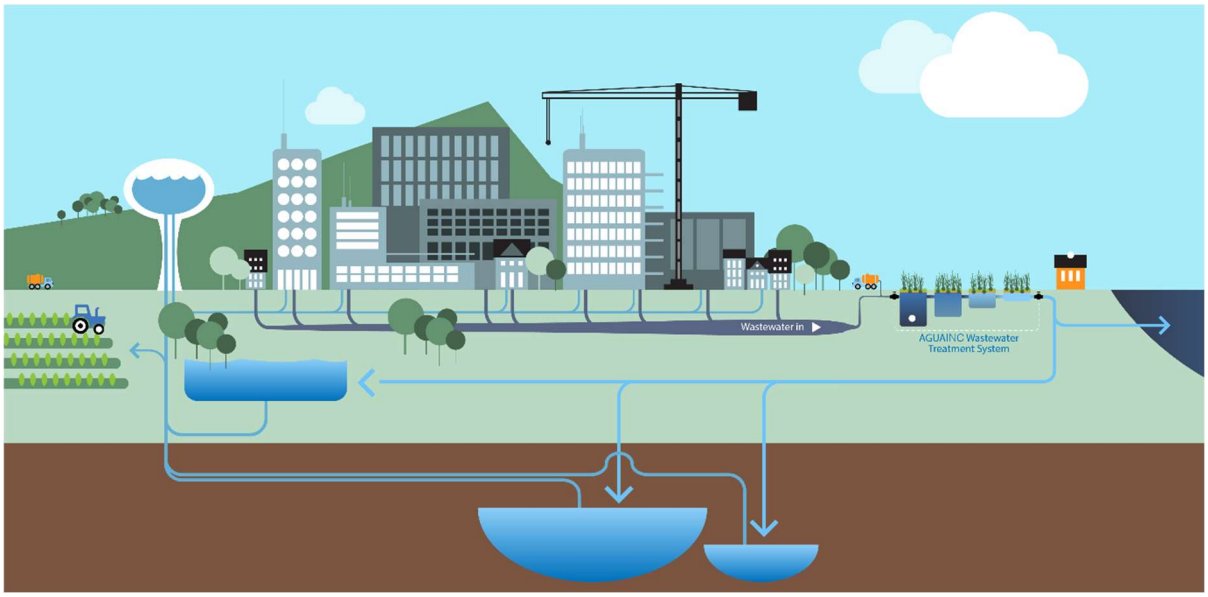
Agua Inc

Agua Inc es una empresa internacional especializada en el tratamiento biológico del agua, que ha iniciado proyectos de I+D+i con la Universidad de Alicante. La empresa fue fundada en 2013 y tiene su sede en Boulder, Colorado. Entre sus fundadores se encuentra Pedro Tomás Delgado Ortiz, quien también es cofundador y CTO de la empresa.

Agua Inc se centra en tecnologías de tratamiento de agua, infraestructura de tratamiento de aguas residuales, purificación de agua, fitorremediación y consultoría en infraestructura hídrica. La empresa ha recibido financiación de Cleantech Open, una organización que apoya a startups de tecnología limpia.

Pedro Tomás Delgado Ortiz, originario de Puebla de Alcocer, Badajoz, España, es un emprendedor social que previamente fundó Aquaphytex, descrita previamente. Su experiencia en fitorremediación y tratamiento biológico del agua ha sido fundamental en el desarrollo de las tecnologías que Agua Inc implementa en sus proyectos.

Con presencia en varias regiones, incluyendo Nairobi (Kenia), Senegambia (Gambia), Colmenar Viejo (Madrid, España) y Santo Domingo (República Dominicana), Agua Inc continúa expandiendo su alcance global en el sector del tratamiento sostenible del agua.



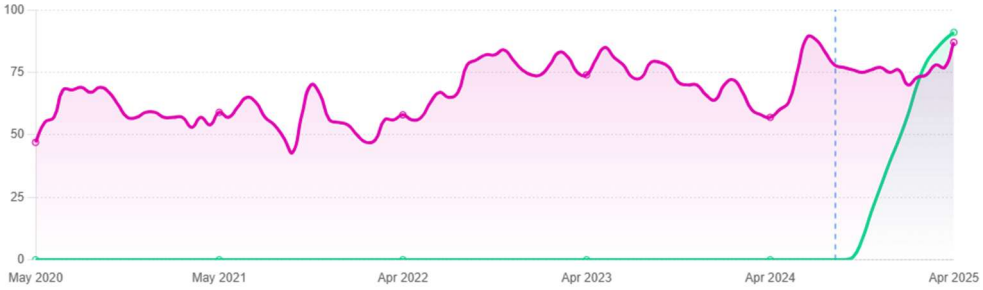
GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

AGUAINC ofrece una amplia gama de productos y servicios relacionados con el tratamiento de aguas residuales. Su enfoque abarca desde instalaciones llave en mano completamente operativas hasta el desarrollo y gestión de plantas privadas, así como la concesión y modernización de instalaciones existentes. Sea cual sea el problema con las aguas residuales, la empresa se presenta como una solución integral.

Uno de sus principales productos son los *Green Filters*, sistemas de filtración ecológica que incluyen diferentes tipos de estructuras flotantes y matrices, además de plantas especialmente seleccionadas para procesos de fitorremediación. Estos productos están dirigidos tanto a nuevos proyectos como a profesionales del tratamiento de aguas que deseen incorporar tecnologías verdes en sus sistemas actuales.

Para clientes municipales, AGUAINC facilita la creación de estaciones de tratamiento mediante instalaciones llave en mano, diseñadas según las necesidades, objetivos y presupuesto del cliente. Una vez definidos los parámetros, la empresa se encarga del diseño, la construcción y la entrega de la planta completamente operativa. Además, ofrece formación en mantenimiento y servicios de soporte continuado.

Por otro lado, AGUAINC dispone de un programa de desarrollo de servicios públicos que permite a los municipios delegar la gestión de sus sistemas de aguas residuales. Esto incluye modelos como BOT (build-operate-transfer) y BOO (build-operate-own), en los que AGUAINC actúa como diseñador, financiador, instalador y operador de las infraestructuras, liberando a los gobiernos locales de la carga técnica y financiera de estos proyectos.



Parece que el inversor detrás de esta iniciativa es Cleantech Open , una entidad sin ánimo de lucro situada en Palo Alto California y que apoya iniciativas Clean Tech.

EJEMPLO: KOTU PONDS GAMBIA,

Agua Inc está poniendo en marcha un proyecto revolucionario en Gambia, África Occidental, donde convertirá las mayores lagunas de vertido de aguas residuales del país en una moderna planta de tratamiento y un parque ecológico. Esta iniciativa transformará un antiguo foco de contaminación y enfermedades en un espacio recreativo atractivo y una fuente de agua limpia.





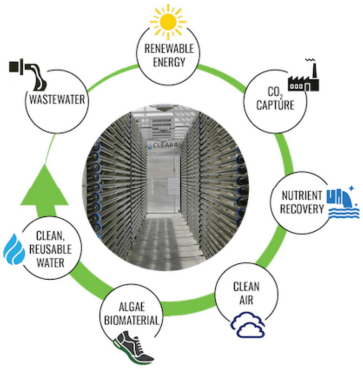


https://www.linkedin.com/company/agua-inc/?trk=public_profile_experience-item_result-card_image-click&originalSubdomain=mx

Clearas Water Recovery

CLEARAS Water Recovery es una empresa estadounidense especializada en soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Fundada en 2008, tiene su sede en Missoula, Montana. La compañía ha desarrollado la tecnología ABNR™ (Advanced Biological Nutrient Recovery), un sistema biológico avanzado que utiliza algas y otros microorganismos para eliminar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales. Este proceso se integra fácilmente en infraestructuras existentes, ofreciendo una solución modular y escalable que transforma los contaminantes en biomasa útil.

CLEARAS ha implementado su tecnología en numerosos proyectos piloto en diferentes estados de Estados Unidos, como Wisconsin, Utah y Minnesota, abarcando tanto sectores municipales como industriales. La empresa destaca por ofrecer una alternativa libre de productos químicos, que además permite la producción de subproductos valorizables y contribuye a la reducción de la huella de carbono.



Fases del proceso ABNR™

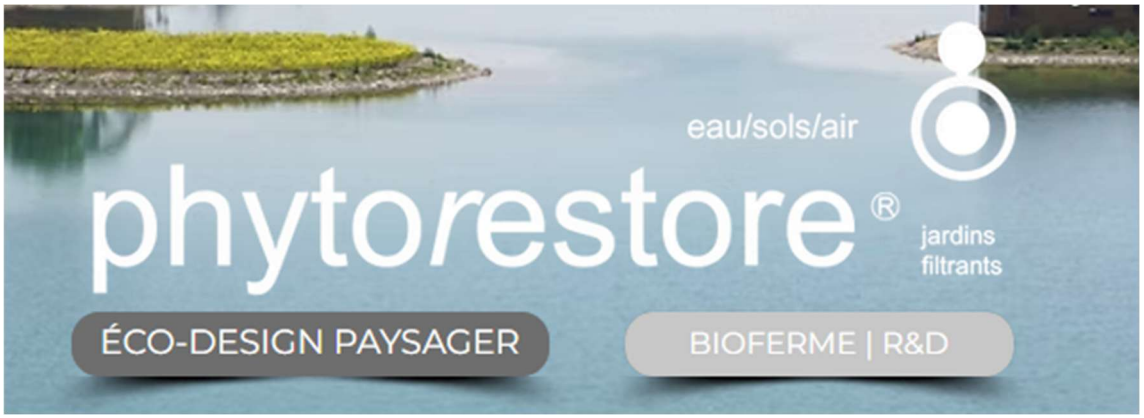
1. Fase de Mezcla (Mix): Las aguas residuales cargadas de nutrientes se combinan con una mezcla biodiversa de microalgas y otros microorganismos. Esta mezcla inicia la recuperación de nutrientes al aprovechar la capacidad natural de estos organismos para absorber y metabolizar contaminantes
2. Fase de Recuperación (Recover): La mezcla entra en un fotobiorreactor (PBR), donde se optimiza la actividad biológica mediante la fotosíntesis. En este entorno controlado, las microalgas consumen rápidamente fósforo, nitrógeno y dióxido de carbono, reduciendo significativamente la carga contaminante del agua

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

3. Fase de Separación (Separate): El agua tratada, ahora libre de nutrientes y otros contaminantes, se separa de las microalgas y microorganismos. Una parte de la biomasa resultante se recicla al inicio del proceso como "alga activada de retorno" (RAA) para mantener la eficiencia del sistema. El excedente de biomasa puede ser cosechado y utilizado en diversas aplicaciones industriales, generando oportunidades de recuperación de costos para las plantas de tratamiento.

El sistema ABNR™ logra niveles de eliminación de fósforo y nitrógeno cercanos al límite de detección, superando a muchos métodos tradicionales. Además, al capturar dióxido de carbono durante el proceso de fotosíntesis, contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero. Esta tecnología modular y escalable se integra fácilmente en infraestructuras de tratamiento existentes, ofreciendo una solución sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en diversas aplicaciones municipales e industriales.

https://www.youtube.com/watch?v=udCutIsFw3I



Phytorestore (Francia, Brasil…)

https://www.phytorestore.fr/

Phytorestore es una empresa francesa pionera en soluciones basadas en la naturaleza para la depuración de aguas, suelos y aire mediante procesos de fitorremediación. Fundada hace más de 30 años en Francia, la compañía ha expandido su presencia a Europa, Asia, África y América, incluyendo una sólida operación en Brasil desde hace más de una década.

Su tecnología insignia, los Filtering Gardens®, consiste en sistemas de tratamiento que emplean plantas macrófitas acuáticas para eliminar contaminantes de manera natural, sin aditivos químicos. Estos jardines filtrantes no solo purifican el agua, sino que también se integran armónicamente en el paisaje, promoviendo la biodiversidad y mejorando el microclima local. La empresa ha desarrollado una base de datos con más de 200 especies de plantas adaptadas a diferentes condiciones y necesidades de tratamiento, lo que permite personalizar cada proyecto según el entorno y los objetivos específicos.

Entre sus proyectos destacados se encuentran la restauración ecológica del Parque Orla Piratininga en Niterói y el tratamiento de efluentes en el Centro de Investigación e Innovación de L'Oréal en Río de Janeiro, ambos en Brasil. Estos proyectos han sido reconocidos por su innovación y sostenibilidad, obteniendo certificaciones como LEED Platinum.

Phytorestore también opera una biofinca en Francia, donde cultiva especies como el miscanthus para la producción de biomasa y compost, contribuyendo así a la economía circular y a la mitigación del cambio climático. Con un enfoque holístico

que combina ingeniería, ecología y diseño paisajístico, la empresa continúa liderando iniciativas que demuestran cómo la naturaleza puede ser una aliada eficaz en la gestión ambiental y urbana.

Ejemplo: Contratista L'Oreal



Estos jardines filtrantes, reconocidos con el Gran Premio de Infraestructura Sostenible en los Green Solutions Awards 2017 (Brasil), consisten en una serie de estanques o piscinas rellenas con sustratos especiales y recubiertas con plantas autóctonas seleccionadas. El agua circula por estos sustratos y es tratada únicamente mediante procesos biológicos naturales que se producen en las raíces, sin necesidad de aditivos químicos, bacteriológicos ni artificiales. La eficacia del sistema se basa exclusivamente en las propiedades del ecosistema y el conocimiento técnico aplicado.

Además de mejorar la calidad del agua y reducir la carga sobre los sistemas de alcantarillado, el sistema ofrece un fuerte valor paisajístico y ambiental: fomenta la biodiversidad local, crea espacios verdes atractivos y contribuye al enfriamiento del microclima urbano.

Filtering Gardens® es una solución altamente replicable y adaptable a múltiples entornos, desde áreas rurales hasta urbanas, y puede integrarse como herramienta de educación ambiental y participación ciudadana. Su huella de carbono es muy

baja, y en determinados casos incluso puede generar créditos de carbono, lo que la convierte en una opción sostenible y con impacto positivo a largo plazo.

https://www.construction21.org/espana/articles/h/ganador-del-gran-premio-de-infraestructura-sostenible-de-los-green-solutions-awards-2017-filtering-gardens-brasil.html

Otros ejemplos:

https://phytorestore.com.br/category/internacional/

https://www.phytorestore.fr/projets



Biomatrix Water (Reino Unido):

Compañía con sede en Escocia especializada en sistemas modulares de tratamiento de agua mediante islas flotantes de plantas (floating treatment wetlands). Sus soluciones se han aplicado en estanques y lagunas de aguas residuales de pueblos pequeños, así como en la rehabilitación de ríos urbanos altamente contaminados. Por ejemplo, Biomatrix instaló islas de fitodepuración en canales de Manila y en el río Chicago para eliminar nutrientes y mejorar la calidad del agua in situ (proyectos documentados en revistas ambientales). El mercado objetivo incluye municipios con lagunas de estabilización, organizaciones de saneamiento descentralizado y proyectos de recuperación de cuerpos de agua. Biomatrix está posicionada como innovadora en sistemas flotantes, compitiendo con empresas como Floating Island International (EE. UU.) que ofrecen tecnologías similares. Sus proyectos han demostrado tasas de éxito altas en reducción de contaminantes visibles y sólidos suspendidos, atrayendo la atención de ciudades que buscan alternativas ecológicas de saneamiento. Como startup tecnológica, ha obtenido reconocimientos internacionales y sobrevive en un nicho que crece a medida que aumenta la concienciación sobre soluciones basadas en la naturaleza.

https://youtu.be/_fnddBFc-5c

BOSQUE INNOVA

Fundación General CSIC



















GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

ORGANICA

Orgánica Water (Hungría):

Empresa originaria de Hungría que desarrolló un modelo híbrido conocido como Jardín Botánico de Aguas Residuales. Combina procesos de lodos activados con entornos de invernadero llenos de plantas ornamentales, logrando plantas depuradoras con apariencia de jardines. Organica ha implementado más de 100 instalaciones en todo el mundo (Europa, Asia, América), incluso para ciudades medianas, reduciendo el impacto visual y de olores de las depuradoras convencionales. Su enfoque híbrido de tecnología y naturaleza le ha permitido competir en el mercado municipal, diferenciándose frente a gigantes del agua. De hecho, grandes grupos como Veolia han colaborado con Organica para incorporar esta solución ecológica en sus ofertas. El mercado objetivo son municipios urbanos o desarrollos residenciales que requieren estaciones depuradoras integradas en entornos habitables. Organica se ha posicionado como líder en este subsegmento; sus principales competidores son tanto compañías de tratamiento tradicional como nuevas firmas húngaras (p. ej. Biopólus) con tecnologías análogas. La empresa ha tenido un alto crecimiento, culminando en alianzas estratégicas con multinacionales del agua y una expansión notable en mercados emergentes (China, India), lo que refleja el éxito de este modelo híbrido.



https://youtu.be/ZPpDwAnkNOM

https://youtu.be/h_wR0RlNcrg

Funding Summary

Last Round of Funding:

Series D **$21M** in Jan 2018

Lead Investor: **CITIC Capital Holdings**

Total Funding: **$42.7M**

John Todd Ecological Design – Living Machines (EE. UU.):

Empresa/consultora estadounidense fundada por el ecólogo John Todd, pionero en "máquinas vivientes" para tratar aguas negras. Sus sistemas combinan tanques secuenciales poblados por plantas, algas, bacterias y hasta peces, simulando un ecosistema acuático que depura las aguas. Han sido instalados en pequeñas comunidades, edificios institucionales y ecovillas, por ejemplo en el Centro de Oberlin (Ohio) donde un invernadero con plantas trata las aguas residuales de un campus universitario. El mercado de JTED ha sido principalmente proyectos demostrativos, resorts ecológicos y clientes interesados en vanguardias ambientales. Aunque la eficacia técnica es alta en parámetros como DBO y nutrientes, su posicionamiento es más de boutique ambiental frente a la competencia convencional por su mayor complejidad y coste inicial. Hubo competidores comerciales (Living Machines Inc., Worrell Water) que licencian tecnologías similares, pero el mercado sigue siendo de nicho. Las tasas de éxito a nivel operativo son buenas (varios sistemas llevan décadas funcionando), sin embargo, como startup no llegó a masificarse; muchas instalaciones requerían ajustes y el modelo de negocio se reconvirtió más hacia consultoría especializada que producción en serie.

4.- Modelos Híbridos (Tecnología + Naturaleza) en Fitorremediación

Una tendencia emergente es el desarrollo de modelos híbridos que combinan procesos tecnológicos con sistemas naturales, buscando potenciar la eficiencia de la fitorremediación. Estos enfoques aprovechan la robustez ecológica de las plantas y microorganismos, pero incorporando elementos de control o mejora ingenieril. Algunos ejemplos clave incluyen:

- **Sistemas de humedales aeróbicos forzados:** Consisten en humedales construidos tradicionales a los que se añade aireación mecánica o controlada. Esta tecnología (desplegada por empresas como ARM Reed Beds en el Reino Unido) incrementa la capacidad de depuración de nitrógeno y la velocidad de tratamiento, reduciendo el área requerida. Son híbridos porque mantienen las plantas como elemento central pero con soporte de soplantes o difusores de aire, logrando rendimientos similares a los de una planta convencional en un lecho vegetal más compacto.
- **Algiarios de alta tasa (Clearas ABNR):** La empresa Clearas Water Recovery (EE. UU.) desarrolló un proceso llamado Advanced Biological Nutrient Recovery (ABNR) que utiliza cultivos intensivos de microalgas en tanques para eliminar nitratos y fosfatos del efluente de depuradoras municipales. El sistema está automatizado: se dosifica CO_2 y se controla la luz para maximizar el crecimiento algal, tras lo cual la biomasa algal rica en nutrientes se cosecha. Este modelo híbrido tecnología+naturaleza ha sido implantado en plantas piloto y a escala municipal en EE. UU., logrando reducir nutrientes a niveles trazas de forma más sustentable que tratamientos químicos convencionales. Clearas, como startup de bioingeniería, compitió con soluciones tradicionales de eliminación de fósforo, y su éxito técnico llevó a que fuera adquirida por una compañía mayor, integrando este enfoque de bio-remediación algal al mercado convencional.
- **Biorreactores con soporte vegetal (caso Organica Water):** Ya mencionado entre las empresas destacadas, el sistema de Organica es un claro híbrido: emplea tanques con medios sintéticos donde crecen raíces de plantas ornamentales. Estas raíces actúan como soporte para biofilm bacteriano igual que lo haría un relleno plástico en un reactor aeróbico, pero aportando además oxígeno por fotosíntesis y estética. Sensores, recirculación forzada y control de aire completan el esquema. El resultado es un biorreactor de depuración con apariencia de invernadero ajardinado. La integración de control instrumental y flora lo hace más predecible que un humedal pasivo, a la vez que conserva la filosofía natural.
- **Otros híbridos y experimentales:** Podemos citar también sistemas de vermi-filtración con plantas (donde lombrices y raíces colaboran en

degradar la materia orgánica), filtros verdes verticales combinados con biochar o electroquímica, e incluso combinaciones de humedales con membranas (empleando las plantas para pre-tratamiento antes de una filtración final).

En síntesis, los modelos híbridos buscan superar algunas limitaciones de la fitoremediación pura –como la necesidad de mucha superficie o la lentitud– mediante la incorporación de tecnología. Esto ha permitido ampliar el rango de aplicaciones de las soluciones vegetales a contextos más exigentes (p.ej. ciudades grandes con poco terreno disponible, industrias con cargas contaminantes altas), manteniendo un enfoque más ecológico y eficiente en recursos que las tecnologías convencionales puras.

5.- Principales proyectos de Fitorremediación

A continuación, presentamos alguno de los proyectos de investigación más relevantes encontrados en la búsqueda del estado del arte.

5.1. Phy2Sudoe

El proyecto Phy2SUDOE (2020–2023) es una iniciativa europea financiada por el programa Interreg Sudoe, que da continuidad al anterior proyecto PhytoSUDOE. Su objetivo principal es avanzar en la aplicación de estrategias innovadoras de fitogestión para la recuperación de suelos contaminados en el suroeste de Europa (España, Francia y Portugal).

Objetivos principales

- Consolidar y ampliar la red de sitios fitogestionados: Mejorar la monitorización a largo plazo de los emplazamientos establecidos en Ph ytoSUDOE y añadir nuevos sitios con diferentes tipos de contaminación (metales, metaloides y compuestos orgánicos)
- Implementar estrategias de fitogestión: Utilizar plantas para controlar y reducir los riesgos asociados a contaminantes en suelos degradados, generando simultáneamente productos de valor añadido (madera, resina, bioenergía, aceites esenciales, ecocatalizadores) y servicios ecosistémicos (secuestro de carbono, control de erosión, mantenimiento de la biodiversidad)
- Conservar la biodiversidad endémica: Proteger especies vegetales y microorganismos únicos de áreas contaminadas, como flora metalófila y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, por su valor intrínseco y potencial en aplicaciones biotecnológicas.

Participantes

El proyecto cuenta con una diversidad de socios, incluyendo universidades, centros de investigación, administraciones públicas y empresas:

- NEIKER: Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, coordinador del proyecto.
- UPV/EHU: Universidad del País Vaco.
- CSIC-Galicia: Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Galicia.
- Universidad de Santiago de Compostela.
- Universidad Católica Portuguesa.
- INRA-Burdeos*: Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia.
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- Ihobe*: Sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vaco.
- Ayuntamiento de Gernika-Lumo.
- Agencia de Desarrollo de Álava.

Conclusiones y resultados destacados

- Fitogestión: La combinación de compost, plantaciones de *Populus nigra* y la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal ha demostrado ser efectiva para reducir la toxicidad y mejorar la fertilidad del suelo en áreas contaminadas.
- Micorremediación: El uso de sustratos de crecimiento de hongos como *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus* ha mostrado mejoras significativas en la salud del suelo contaminado con plomo y lindano (γ-HCH), superando en algunos casos a las técnicas de fitorremediación tradicionles.
- Conservación de flora metalófila: Se ha creado un banco de germoplasma en el Jardín Botánico de Olárizu (Vitoria-Gasteiz) para conservar especies vegetales adaptadas a suelos contaminados, como *Noccaea caerulescens* y *Jasione montana*, con potencial para futuras aplicaciones en fitogestión y restauración ecológica.
- Desarrollo de ecosistemas funcionales: A través de la fitogestión, se han recreado ecosistemas que proporcionan múltiples servicios, incluyendo la producción de biomasa, el control de la contaminación, la estimulación de organismos del suelo y el secuestro de carbono.

6.- Mercado, Posicionamiento y Competencia en el Sector de Fitoremediación

A nivel global, la industria de la fitoremediación y, en particular, de la depuración mediante plantas, se encuentra en crecimiento impulsada por la búsqueda de soluciones sostenibles en el tratamiento de agua. Diversos informes de mercado señalan crecimientos anuales significativos (en torno al 8–15% según estimaciones previas a 2025) en este segmento, aunque partiendo de una base más pequeña que la de tecnologías convencionales. Las regiones líderes en adopción de

fitodepuración han sido Europa occidental (Francia, Alemania, Reino Unido) y Norteamérica, donde miles de pequeños sistemas de humedales funcionan desde hace décadas en pueblos y áreas protegidas. Por ejemplo, en países como Francia, desde los años 90 se implementaron humedales en más de 2.000 comunas rurales, favorecidos por políticas públicas que validaron este sistema por su bajo coste y buena integración (Constructed wetland - Wikipedia). En Asia y Latinoamérica, el interés ha aumentado recientemente: China ha incorporado humedales a proyectos de eco-ciudades y saneamiento rural; India ha adoptado tecnologías locales (como Soil Bio-Technology) en pequeñas plantas urbanas; y en Latinoamérica programas gubernamentales y ONGs instalan filtros verdes en comunidades sin acceso a depuración.

El mercado objetivo principal son municipios pequeños y medianos, desarrollos turísticos rurales, industrias agroalimentarias y, en general, cualquier entidad con necesidad de tratar efluentes orgánicos con bajos recursos energéticos. Dentro de este mercado, las empresas de fitoremediación se posicionan ofreciendo menores costes de ciclo de vida y simplicidad, como refleja la literatura: la vida útil de un humedal bien diseñado supera los 20 años con gastos operativos mínimos (no requiere productos químicos ni apenas energía), resultando en costes significativamente inferiores a los de plantas convencionales (Constructed wetland - Wikipedia). Esa ventaja económica y de mantenimiento es un punto de venta clave frente a competidores.

En cuanto a competidores principales, por un lado están las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales (fosas sépticas, biodigestores, plantas compactas prefabricadas, lodos activados extendidos, etc.) provistas por empresas de ingeniería del agua consolidadas. Estas tecnologías tradicionales a menudo compiten en contextos rurales si hay subsidios o marcos regulatorios que favorecen soluciones estandarizadas. No obstante, en zonas donde la disponibilidad eléctrica es baja o se prioriza la sostenibilidad, las soluciones de fitoremediación ofrecen una propuesta diferenciada. Por otro lado, existe competencia entre las propias empresas especializadas en fitoremediación: cada país puede tener varias firmas compitiendo por proyectos similares. Por ejemplo, en España empresas como Aquaphytex deben diferenciarse de otras compañías de bioingeniería o constructoras que ofertan humedales; en EE. UU., las firmas de “natural systems” compiten por proyectos piloto con enfoques distintos (algas vs. plantas superiores, etc.). A menudo, más que competir directamente entre sí, estas empresas luchan por convencer a los clientes de adoptar una solución verde en lugar de una convencional.

Un fenómeno destacable es que varias startups exitosas del sector han sido absorbidas o respaldadas por corporaciones mayores del ámbito de agua y

ambiente. Esto indica una maduración del mercado: gigantes como Veolia, Suez, Acciona u otros han incorporado divisiones de soluciones basadas en la naturaleza, ya sea mediante alianzas con pequeñas empresas innovadoras o desarrollando sus propios departamentos de nature-based solutions. Así, las empresas pequeñas acceden a recursos y mercados globales, pero también enfrentan la presión de demostrar que sus métodos alcanzan los estándares normativos igual que una planta clásica. La "tasa de éxito" de las startups de fitoremediación ha sido variable: algunas han prosperado encontrando nichos (por ejemplo, Organica Water integrándose en proyectos de gran escala con apoyo de un socio global), mientras que otras con buenas ideas (e.g. sistemas experimentales de algas o máquinas vivientes) no lograron escalabilidad comercial y quedaron relegadas a casos muy puntuales.

En términos de análisis de mercado, se observan ciertas barreras: la regulación ambiental a veces no contempla explícitamente las plantas como tecnología de depuración y puede exigir pruebas piloto prolongadas; también la disponibilidad de terreno puede limitar la adopción (en zonas densamente pobladas es difícil destinar hectáreas a un humedal). Sin embargo, las tendencias recientes –objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, economía circular, adaptación al cambio climático– juegan a favor de la fitoremediación. Por ejemplo, el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo del Agua 2018 destacó que las soluciones basadas en la naturaleza podrían suplir las deficiencias de saneamiento en áreas donde las soluciones grises no llegan, con beneficios colaterales como la recarga de acuíferos y la creación de espacios verdes. En consecuencia, muchos países están incorporando humedales artificiales en sus planes de saneamiento rural, y se espera que la cuota de mercado de esta industria continúe en alza.

6.2. Restauración de suelos contaminados por metales pesados: una estrategia basada en la revalorización de residuos y la biorremediación

https://kohesio.ec.europa.eu/en/projects/Q3187387

Resumen

Este proyecto propone una solución integral para la problemática ambiental derivada de la contaminación de suelos por metales pesados, especialmente en zonas afectadas por la minería metálica. Parte del reconocimiento de que la aplicación de las nuevas normativas de niveles genéricos de referencia (NGR) en España es difícil por falta de metodologías objetivas. Por ello, el proyecto busca desarrollar un protocolo de evaluación de riesgo ambiental (ERA) que sirva para determinar de forma rigurosa si un suelo está realmente contaminado y si, tras ser tratado, puede considerarse descontaminado.

Objetivos principales

- Diseñar un protocolo de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA):
  - Basado en propiedades del suelo, bioensayos de toxicidad, y características químicas y biológicas.
  - Aplicado a casos reales contaminados por minería metálica.
- Aplicar técnicas de biorremediación ecológica, mediante:
  - Revalorización de residuos y subproductos mineros (ej. lodos del mármol) y agroindustriales (compost, vermicompost, alperujo micorremediado).
  - Introducción de hongos simbióticos y saprobios para restaurar el equilibrio biodinámico y la biodiversidad del suelo.
- Evaluar el impacto en:
  - La fisiología vegetal.
  - La calidad química y microbiológica del suelo recuperado.
- Promover el uso de residuos y especies microbiológicas para tratamientos sostenibles que respeten criterios ecológicos.

Participantes

CSIC (Granada)

Financiación

Estrategias y acciones clave

- Análisis químico y microbiológico de suelos contaminados.
- Aplicación en escenarios reales con diferentes fuentes de contaminación minera.
- Reutilización de residuos industriales y agrícolas como enmiendas de suelo.
- Uso de hongos beneficiosos (simbiotróficos y saprobios) para regenerar el suelo.
- Generación de conocimiento aplicable a políticas ambientales.

Impacto esperado

- Protocolos estandarizados para identificar y validar suelos contaminados y su recuperación.
- Disminución del riesgo toxicológico y mejora de la salud del suelo.
- Restauración ecológica efectiva de zonas degradadas.
- Reutilización productiva de residuos, reduciendo su impacto ambiental.
- Potencial replicabilidad del modelo en otros territorios afectados por contaminación de origen industrial o minero.
- Base para aplicar correctamente la legislación nacional de suelos contaminados en las comunidades autónomas.

7.- Esquema de un proyecto de fitorremediación en entornos rurales

7.1. Introducción y Objetivo del Proyecto

- Breve diagnóstico de la situación del agua en la población.
- Objetivo: implementar un sistema de depuración natural, sostenible, eficiente y adaptable a la estacionalidad demográfica.

7.2. Análisis del Entorno

- Marco normativo (directivas europeas, leyes nacionales y autonómicas).
- Análisis geográfico, hidrológico, climático y demográfico.
- Identificación de zonas protegidas (ZEC, ZEPA, Red Natura 2000).

7.3. Evaluación de la Situación Actual

- Infraestructura de saneamiento existente.
- Calidad del agua y riesgos ambientales/sanitarios.
- Problemas asociados a la estacionalidad (picos turísticos).

7.4. Objetivos del Proyecto

- Ambientales (mejora calidad del agua, protección ecosistemas).
- Sociales (salud pública, educación ambiental, recreación).
- Técnicos y operativos (eficiencia, bajo mantenimiento).
- Económicos (costes reducidos, fácil gestión local).

7. 5. Selección del Sistema de Tratamiento

- Preferentemente sistemas híbridos de humedales artificiales subsuperficiales (verticales y horizontales).
- Adaptación al clima local, espacio disponible y estacionalidad.

7.6. Diseño Técnico

- Línea de tratamiento: pretratamiento → fosa séptica → humedales.

- Elección de especies vegetales adaptadas al clima y funcionalidad (Typha, Phragmites, Scirpus, Iris).
- Estimación de caudales y superficie necesaria.

7.7. Viabilidad y Presupuesto

- Presupuesto orientativo.
- Costes de instalación, operación y mantenimiento.
- Estrategia de financiación: subvenciones públicas, fondos NextGen, colaboración público-privada.

7.8. Plan de Gestión y Mantenimiento

- Planes de monitoreo, limpieza y control fitosanitario.
- Implicación de la comunidad local.

7.9. Estrategia de Participación y Educación Ambiental

- Actividades con escuelas, turismo de naturaleza, senderos didácticos.
- Comunicación del valor del proyecto (agua, biodiversidad, economía circular).

8.- Estrategia de venta y atractivos para inversores o ayuntamientos

- Coste 10 veces menor que una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) convencional.
- Cumplimiento con normativas de vertidos.
- Respeto por el medio ambiente.
- Mantenimiento simple y local: jardinería básica, sin necesidad de personal técnico especializado.
- Conversión del sistema en espacio verde y recreativo para el municipio.
- Creación de entornos paisajísticos únicos.
- Compatible con energías renovables (bombas solares, molinos).
- Alta aceptación social: se puede visitar, disfrutar, enseñar y replicar.
- Genera valor turístico, educativo y ecológico.
- Alineación con políticas de economía circular, biodiversidad y cambio climático.

9.- Dimensionamiento de una startup de fitorremediación:

Las siguientes funciones deben estar cubiertas, o bien mediante contratación directa o bien mediante subcontratación de una ingeniería, una consultoría, una gestoría…

Algunas de las siguientes funciones pueden ser compatibilizadas por la misma persona.

Dirección técnica (1 persona)

- Alternativas: Ingeniero/a Ambiental / Agrónomo/a / Hidrólogo/a
- Funciones: diseño y dimensionamiento del sistema de depuración, relación con la normativa, coordinación general del proyecto y coordinador obra civil, cumplimiento normativo.

Especialista en vegetación y suelos (1 persona)

- Alternativas: Biólogo/a especializado/a en ecología / Restauración de ecosistemas
- Funciones: selección de especies fitorremediadoras (p. ej., Typha, Phragmites, Scirpus), análisis del suelo, control ecológico del sistema, seguimiento de la salud vegetal.

Especialista en paisajismo y jardinería (1 persona)

- Alternativas: Biólogo/a especializado/a en ecología / Restauración de ecosistemas, paisajista, jardinería,
- Funciones: diseño estético del sistema como parque natural, integración visual en el entorno rural, planificación del mantenimiento vegetal, mejora del atractivo del espacio para su uso recreativo o turístico.

Coordinador/a de comunidad y formación (1 persona)

- Alternativas: Educador/a ambiental / Sociólogo/a rural / Técnico/a de desarrollo local
- Funciones: actividades participativas, talleres escolares, señalética y comunicación del valor ecológico del proyecto, conexión con la población local.

Operario/a de mantenimiento (1 o más según escala)

- Alternativas: Personal con formación en jardinería / agricultura / fontanería básica
- Funciones: limpieza, riego, control de vegetación, pequeñas reparaciones, limpieza de rejillas, control del crecimiento vegetal, retirada de sedimentos, tareas básicas de fontanería y jardinería.

Administración y estrategia de financiación (1 persona)

- Alternativas: Economista / Técnico/a en gestión de proyectos europeos
- Funciones: tramitación de subvenciones, elaboración de memorias, relación con financiadores.

Dirección comercial (1 persona)

- Alternativas: Sin titulación específica para este cargo, pero con buen instinto comercial.
- Funciones: presentación de propuestas, búsqueda de contactos, elaboración de ofertas, seguimiento de leads, ...

Las siguientes necesidades deben estar también contempladas en el plan económico financiero.

Necesidades de infraestructura básicas:

- Vehículo tipo furgoneta.
- Ordenadores
- Móviles
- Herramientas de medida y diseño
- Oficinas
- Fincas, ... almacén plantas, invernadero...

10.- Marco legal de la fitodepuración de aguas residuales en pequeños municipios (Alto Tajo, España):

10.1 Introducción

La **fitorremediación de aguas residuales** –también conocida como fitodepuración o depuración mediante humedales construidos– se presenta como una alternativa natural y de bajo coste a las **EDAR** (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales) convencionales. En España, miles de pequeños núcleos rurales (muchos con menos de 2.000 habitantes-equivalentes) aún carecen de un tratamiento adecuado de sus aguas residuales. En zonas como el **Alto Tajo** (Castilla-La Mancha), de alta importancia ecológica y baja densidad de población, es crucial evaluar la **viabilidad legal y técnica** de estas soluciones extensivas. A continuación, se analiza el marco normativo estatal aplicable, los requisitos exigidos (en términos de población, calidad de efluentes y diseño), los límites de vertido autorizables, y consideraciones específicas para un entorno protegido como el Alto Tajo. Se incluyen referencias a normativa oficial, **tablas de umbrales de calidad**, así como **iniciativas y guías técnicas** que respaldan estas tecnologías, con un lenguaje claro enfocado a la toma de decisiones en el ámbito rural.

10.2 Antecedentes aplicables

El proyecto piloto “Tratamientos singulares de carácter experimental de vertidos en pequeñas poblaciones de la cuenca del Duero” puede ser un punto de partida que nos permita afrontar sin empezar de cero y recomendamos encarecidamente su lectura en https://www.chduero.es/proyecto-piloto-tratamiento-vertidos#:~:text=,Ferrer%20y%20Juan%20Jos%C3%A9%20Salas

En la tabla siguiente aparecen las principales tecnologías aplicadas en ese estudio y las poblaciones correspondientes donde fueron estudiadas.

Entre las principales conclusiones se destaca:

El seguimiento de las plantas concluyó que las tecnologías seleccionadas en el programa habían sido adecuadas en general, en particular los sistemas extensivos que permitieron eliminar gran parte de la contaminación con un consumo energético nulo o muy reducido. Los sistemas estudiados permitieron eliminar la contaminación orgánica a un coste por habitante muy inferior al que se habría producido empleando un proceso tradicional de fangos activos. Además, los procesos de fangos activos pueden presentar problemas para el mantenimiento de la biomasa, trabajando en condiciones de dilución extremas como las que se presentan muchas veces en estos vertidos.

Por todo ello se concluye que el tipo de agua residual característico en estas pequeñas poblaciones desaconseja el empleo de la tecnología tradicional de fangos activos, aunque este sea el sistema más ampliamente utilizado en el sector de la depuración de aguas residuales urbanas.

POBLACIÓN	PROVINCIA	HABITANTES EQUIVALENTES	TECNOLOGÍA
Gilbuena	Ávila	200	FOSA SÉPTICA
Mironcillo	Ávila	300	FOSA SÉPTICA
Tardajos y Rabé de las Calzadas	Burgos	1200	TRATAMIENTO PRIMARIO Y HUMEDALES ARTIFICIALES
Gordoncillo	León	2000	TRATAMIENTO PRIMARIO Y HUMEDALES ARTIFICIALES
Gradefes	León	600	TRATAMIENTO PRIMARIO
Arzádegos	Ourense	200	FOSA SÉPTICA. ZANJAS FILTRANTES Y HUMEDAL TRATAMIENTO DE FANGOS
Tariego de Cerrato	Palencia	800	TRATAMIENTO PRIMARIO Y FILTRO BIOLÓGICO
Monleras	Salamanca	800	TRATAMIENTO PRIMARIO Y HUMEDALES ARTIFICIALES
Torreiglesias	Segovia	400	FOSA SÉPTICA
Valdeprados	Segovia	150	FOSA SÉPTICA Y FILTRO VERDE
Vallelado	Segovia	1500	LAGUNAJE Y HUMEDALES ARTIFICIALES
Langa de Duero	Soria	1500	TRATAMIENTO PRIMARIO Y BIODISCOS
Villalba de los Alcores	Valladolid	1400	LAGUNAJE
Castrillo de Guareña	Zamora	300	FOSA SÉPTICA. HUMEDAL TRATAMIENTO DE FANGOS

10.3 Normativa estatal sobre depuración de aguas residuales

La depuración de aguas residuales urbanas en España está principalmente regulada por la **Directiva 91/271/CEE** del Consejo (21 de mayo de 1991) y sus modificaciones (p.ej., Directiva 98/15/CE), junto con su transposición al derecho español mediante el **Real Decreto-ley 11/1995** y el **Real Decreto 509/1996** (desarrollado posteriormente por el RD 2116/1998). Estas normas **aplican a cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas**, ya sea convencional o "natural", y establecen obligaciones en función del tamaño de la aglomeración y la sensibilidad del medio receptor.

Obligatoriedad según habitantes-equivalentes (h-e): La normativa comunitaria exige que todas las **aglomeraciones urbanas** dispongan de sistemas de recogida y tratamiento adecuados a partir de ciertos umbrales de población (BOE.es -

DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.):

- **Más de 15.000 h-e:** Deben contar con sistema colector y **tratamiento secundario** (biológico) completo a más tardar desde el año 2000 (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.).
- **Entre 2.000 y 15.000 h-e:** Deben tener colectores y tratamiento secundario a más tardar desde 2005 (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.) (este rango incluye los núcleos >2.000 h-e del medio rural).
- **Más de 10.000 h-e en zona sensible:** Deben adelantarse, con colectores antes de 1998 (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.) y un tratamiento más riguroso (p. ej. eliminación de nutrientes) según la sensibilidad ambiental (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.)).

Para **pequeñas poblaciones (<2.000 h-e)** la Directiva 91/271/CEE exige un **"tratamiento adecuado"** de las aguas residuales, si bien **no fija valores numéricos concretos** para el efluente en estos casos. El tratamiento adecuado se define como aquel que permite que las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad que las normas establecen (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). En la práctica, esto implica que incluso en núcleos muy pequeños **no se pueden verter aguas sin depurar** si ello impide alcanzar las metas ambientales (por ejemplo, el buen estado ecológico exigido por la Directiva Marco del Agua). Aunque la legislación española no impone límites de emisión específicos para <2.000 h-e, **se recomienda adoptar los valores de un tratamiento secundario completo** como referencia de buenas prácticas. En otras palabras, **los humedales u otras soluciones extensivas deben diseñarse para lograr niveles de depuración similares a los de una EDAR convencional**, especialmente en DBO_5, DQO y sólidos, tal como veremos en la sección de límites de vertido.

Excepciones y flexibilidad: La normativa prevé ciertos supuestos de flexibilidad para circunstancias especiales:

- Si la instalación de un sistema colector o depuradora **no aporta ventaja ambiental o resulta de coste desproporcionado**, se permiten **sistemas individuales u otros sistemas adecuados** siempre que ofrezcan un **nivel de protección ambiental equivalente** (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Esta cláusula abre la puerta legal a soluciones descentralizadas en entornos rurales dispersos (por ejemplo, fosas sépticas

mejoradas, lechos filtrantes o humedales locales), siempre bajo autorización y con rendimientos aceptables.

- En **regiones de alta montaña** (altitud >1.500 m) donde un proceso biológico convencional resulte difícil por las bajas temperaturas, se admite un **tratamiento menos riguroso** que el secundario, **si estudios detallados confirman que el vertido no perjudica el medio ambiente** (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Esto podría ser relevante para pueblos del Alto Tajo situados a gran altitud y clima frío, aunque cualquier excepción debe justificarse técnicamente.
- La Directiva también contemplaba la posibilidad de designar **"zonas menos sensibles"** (p.ej. ciertos medios marinos) donde aglomeraciones costeras intermedias podrían aplicar solo tratamiento primario sin dañar el entorno. No obstante, esta excepción **no aplica a ríos de interior de alta calidad ambiental** como el Alto Tajo. En río y aguas dulces, a partir de 2.000 h-e se requiere un tratamiento biológico completo (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.), y por debajo de ese umbral igualmente un tratamiento acorde a las necesidades ambientales.

En resumen, **para cualquier núcleo rural, por pequeño que sea, la legalidad del sistema de depuración depende de que éste garantice la protección del medio receptor**. La normativa no prohíbe los métodos naturales; al contrario, **valida cualquier tecnología que consiga los objetivos de calidad de agua** (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). La fitodepuración puede encajar perfectamente en este esquema siempre que su diseño y operación logren un efluente dentro de los límites autorizables.

10.4 Requisitos de calidad del efluente y límites de vertido autorizables

Las autoridades hidráulicas (las Confederaciones Hidrográficas en cuencas intercomunitarias, como la del Tajo) emiten **autorizaciones de vertido** que fijan los límites de contaminantes en el efluente depurado, de acuerdo con la legislación mencionada. En la siguiente tabla se resumen los **umbrales de calidad** típicamente exigidos para aguas residuales urbanas tratadas, basados en el Anexo I de la Directiva 91/271/CEE (transpuesto por RD 509/1996):

Parámetro	Valor límite (concentración)	Reducción mínima	Aplicabilidad
DBO_5 (20 °C, 5 días)	≤ 25 mg/L O_2	70–90%	Tratamiento secundario estándar (poblaciones >2.000 h-e) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de

Parámetro	Valor límite (concentración)	Reducción mínima	Aplicabilidad
			1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.).
DQO	≤ 125 mg/L O_2	75%	Tratamiento secundario estándar (poblaciones >2.000 h-e) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.).
Sólidos en suspensión	≤ 35 mg/L	90% (≥10.000 h-e)70% (2.000–10.000 h-e)	Tratamiento secundario (el % de reducción es más laxo en pequeñas aglomeraciones) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.).
Nitrógeno total (N)	≤ 15 mg/L N (10.000–100.000 h-e)≤ 10 mg/L N (>100.000 h-e)	70–80%	**Tratamiento terciario** en zonas sensibles (control de eutrofización) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Solo exigible si el medio receptor está designado como zona sensible y la aglomeración supera 10.000 h-e (en pequeños núcleos normalmente no aplica a menos que la autoridad lo requiera por sensibilidad local).
Fósforo total (P)	≤ 2 mg/L P (10.000–100.000 h-e)≤ 1 mg/L P (>100.000 h-e)	80%	**Tratamiento terciario** en zonas sensibles eutróficas (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Criterios similares al nitrógeno total (aplica típicamente a grandes poblaciones vertiendo a aguas sensibles).

Tabla – Límites típicos de calidad del efluente según RD 509/1996 (transposición de la Directiva 91/271/CEE). DBO_5: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días; DQO: Demanda química de oxígeno. Los porcentajes de reducción se refieren a la

eliminación respecto a la carga contaminante de entrada. (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.))

Como puede observarse, para **DBO_5** se exige una concentración ≤25 mg/L (lo que equivale aproximadamente a un 90% de eliminación de materia orgánica biodegradable), para **DQO** ≤125 mg/L, y para **sólidos en suspensión** ≤35 mg/L en el efluente (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Estos tres parámetros constituyen el rendimiento de un **tratamiento secundario** o biológico convencional, considerado estándar mínimo para proteger ríos y arroyos. En poblaciones pequeñas (2.000–10.000 h-e) la norma tolera un porcentaje de reducción algo menor en sólidos (70% vs 90%) dado que las cargas son más pequeñas (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.), pero **la concentración límite de 35 mg/L de sólidos sigue aplicando**. En la práctica, las Confederaciones exigirán a cualquier sistema (incluido uno extensivo) **cumplir con esos valores de DBO_5, DQO y sólidos**, ya que son los que garantizan la no contaminación del medio receptor.

Respecto a **nutrientes (N y P)**: solo en **"zonas sensibles"** por eutrofización (por ejemplo, embalses o tramos vulnerables a proliferación de algas) la normativa impone eliminar nitrógeno y fósforo adicionalmente (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). En tales casos, el efluente debe quedar por debajo de 10–15 mg/L de N total y 1–2 mg/L de P total (según el tamaño de la población servida) con al menos 70–80% de reducción (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). **El Alto Tajo no está catalogado oficialmente como zona sensible eutrófica**, al ser un río de montaña bien oxigenado, por lo que en principio a pequeños núcleos de la zona no se les exigiría la eliminación específica de nutrientes. Sin embargo, **dada la alta calidad ecológica del río, las autoridades podrían requerir ciertos esfuerzos en minimizar nutrientes** si, por ejemplo, el vertido fuese a una zona de escaso caudal o hábitats particularmente sensibles. En cualquier caso, los humedales construidos bien diseñados suelen contribuir también a la **reducción de nitrógeno y fósforo** (mediante procesos de desnitrificación, absorción por plantas, sedimentación de partículas, etc.), lo cual es un argumento a favor de estas soluciones naturales en entornos frágiles.

Otros requisitos de vertido: Además de estos parámetros principales, la autorización de vertido puede incluir límites en otros contaminantes según el contexto (p.ej., **pH** del efluente en torno a 6–9, concentraciones de **aceites y grasas**, **concentración de amonio** si aplica para proteger la biota acuática, etc.). También, la normativa de aguas residuales exige que **las instalaciones de tratamiento estén equipadas para toma de muestras representativas de la entrada y salida** (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.), y que las

aguas industriales biodegradables que entren al sistema urbano reciban un **pretratamiento** si es necesario para no dañar el proceso (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Esto significa que, si en el pueblo existe alguna pequeña industria (por ejemplo, una quesería, matadero o taller) vertiendo al alcantarillado, deberá controlarse que no aporte contaminantes tóxicos o cargas anómalas que comprometan el humedal; de ser necesario, se le exigirá tratamiento previo independiente.

En síntesis, **una estación de fitodepuración se considerará válida a efectos normativos siempre que el agua depurada cumpla con los límites de vertido mencionados**. Estos límites serán formalmente establecidos en la autorización otorgada por la Confederación Hidrográfica del Tajo. Lograr, de forma consistente, una DBO_5 ≤25 mg/L, DQO ≤125 mg/L y sólidos ≤35 mg/L en el efluente **es el criterio clave**. Diversos estudios y experiencias en España demuestran que los **humedales artificiales bien dimensionados pueden cumplir con creces estos objetivos para aguas residuales domésticas** de pequeñas comunidades (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero) (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero), todo ello con un coste de operación muy inferior al de una depuradora convencional.

10.5 Fitodepuración y humedales artificiales: requisitos técnicos y reconocimiento legal

No existe en España una "normativa específica" exclusiva para humedales artificiales; se les aplica la misma legislación que a cualquier EDAR urbana. Por tanto, **los requisitos legales clave son de desempeño ambiental más que de tipo de tecnología**. Sin embargo, para **justificar la viabilidad técnica** de un sistema de fitodepuración ante las administraciones, conviene tener en cuenta:

- **Diseño acorde a buenas prácticas:** Las estaciones de fitodepuración suelen incorporar un tratamiento primario (fosa séptica, decantador-digestor tipo Imhoff, etc.) seguido del humedal propiamente dicho. Esto cumple con la recomendación técnica de **eliminar previamente los sólidos gruesos y flotantes**, evitando obstrucciones y mejorando la eficacia global. Aunque la ley no dice explícitamente "debe tener fosa séptica", en la práctica las **guías técnicas oficiales** (CEDEX, Confederaciones) aconsejan pretratamientos antes de un humedal ((Microsoft PowerPoint - Depuracion aguas residuales en n\372cleos urbanos2)). A efectos legales, este tren de tratamiento (primario + humedal) puede considerarse equivalente a un tratamiento secundario completo, siempre que logre los valores de salida exigidos. De hecho, la propia definición de "tratamiento secundario" en la Directiva es amplia e incluye **"cualquier proceso que cumpla los requisitos del Cuadro 1 del Anexo I"** (los límites de 25/125/35 mg/L) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas

residuales urbanas.). Un humedal que alcance dichos niveles **es, en la práctica, un tratamiento secundario válido** ante la ley.

- **Autorización de vertido y control:** Como cualquier EDAR, una planta natural deberá solicitar y obtener **autorización de vertido al dominio público hidráulico**. En la solicitud se presenta el proyecto técnico, justificando que la instalación puede tratar el caudal y carga prevista y adjuntando los **cálculos de dimensionamiento, tiempo de retención, superficie por habitante, especies vegetales a utilizar**, etc. No hay requisitos de diseño preestablecidos en la norma, pero la Confederación evaluará si con esas características se puede cumplir la calidad del efluente. Una vez en marcha, se exige realizar **controles periódicos** del efluente (por lo general analíticas trimestrales o semestrales de DBO_5, DQO, SS, etc.) para verificar el cumplimiento (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Legalmente, la explotación de un humedal está sujeta a las mismas inspecciones y sanciones por incumplimiento que una depuradora convencional.
- **Gestión de lodos y residuos:** Los humedales generan mucha menos cantidad de lodo que un sistema de fangos activados, pero eventualmente habrá lodos acumulados en fosas sépticas o sedimentadores que deben retirarse y gestionarse conforme al **Real Decreto 1310/1990** (utilización de lodos en agricultura) y normativa de residuos. Esto es un aspecto técnico a contemplar (vaciado cada pocos años), aunque no difiere del requisito para pequeñas depuradoras prefabricadas con fosa.
- **Alcance de "tratamiento adecuado":** Para poblaciones muy pequeñas, como se indicó, la ley pide **"tratamiento adecuado"** más que el cumplimiento de un valor fijo. Un humedal bien operado típicamente reducirá >90% la DBO_5 y ~90% los sólidos, lo que sin duda calificaría como adecuado según la definición legal (garantizar objetivos de calidad en el receptor) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.). Por ejemplo, la Confederación Hidrográfica del Duero reportó en su proyecto piloto que estos sistemas **eliminan gran parte de la contaminación orgánica con consumo energético nulo o muy bajo**, cumpliendo con las exigencias ambientales y con un coste por habitante mucho menor que el de tecnologías convencionales (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). Esto refuerza que **técnicamente son capaces de lograr los estándares exigidos y por tanto son soluciones autorizables**.

En conclusión, **no hay impedimento legal para implantar humedales artificiales como sistemas de depuración**, siempre y cuando se cumplan las **mismas condiciones que a cualquier sistema**: autorización previa, correcta operación y cumplimiento de los límites de vertido. Las administraciones reconocen la fitodepuración como opción válida, especialmente indicada en escenarios rurales. De hecho, en los últimos años **se han elaborado manuales y se han desarrollado proyectos piloto para facilitar su implantación**, como veremos a continuación.

10.6 Incentivos, guías técnicas y proyectos piloto de apoyo a la depuración natural

Consciente del desafío de depurar las aguas residuales en pequeños municipios, el Estado y varias comunidades autónomas han promovido estudios e iniciativas para impulsar **tecnologías extensivas de bajo coste**. Algunos hitos y recursos destacados son:

- **Manual del Ministerio (CEDEX-CENTA, 2010):** El Ministerio de Medio Ambiente publicó el *"Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones"* (450 páginas) elaborado por expertos del CEDEX y el CENTA (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). Este manual técnico –de referencia a nivel nacional– analiza las condiciones específicas de las pequeñas poblaciones, **establece criterios de selección de la solución más adecuada en cada caso** y da recomendaciones de diseño y operación para humedales, lagunajes, filtros percoladores, etc. Incluye casos prácticos y desempeños esperados, sirviendo como guía para ingenieros y gestores municipales. La existencia de este manual oficial muestra el **respaldo institucional a las soluciones extensivas**: lejos de ser algo "alegal", están documentadas y promovidas desde el propio Ministerio.
- **Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015:** Dentro de este plan estatal se reconoció la necesidad de actuar en núcleos <2.000 h-e. Se apoyaron iniciativas piloto a través de Confederaciones Hidrográficas. Por ejemplo, la **Confederación Hidrográfica del Duero (CHD)** ejecutó el *Proyecto Piloto de Tratamientos Singulares en Pequeñas Poblaciones*, instalando y evaluando humedales, lagunas, filtros verdes y otras tecnologías en 14 núcleos rurales de entre 200 y 2.000 h-e (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). Los resultados fueron muy positivos: **todas las tecnologías extensivas ensayadas lograron efluentes dentro de normativa** (especialmente los humedales, lagunajes y biodiscos), confirmando su eficacia (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). LaCHD posteriormente elaboró una *Guía Práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones* (Guía práctica depuración pequeñas poblaciones - CHDuero), de libre acceso, donde se expone la problemática y se **orienta a los ayuntamientos sobre qué sistemas son más apropiados según sus características** (clima, terreno disponible, sensibilidad del río, etc.). Este esfuerzo ha sido una referencia que otras cuencas han seguido.
- **Iniciativas autonómicas:** Comunidades como Andalucía (a través del centro **CENTA**), Galicia, Castilla y León, etc., han desarrollado proyectos de depuración natural en sus pueblos. En el caso de **Castilla-La Mancha**, la Junta ha mostrado interés en soluciones sostenibles. Por ejemplo, **Talavera de la Reina** ha acogido una planta piloto demostrativa con 16 tecnologías distintas orientadas a depuración en municipios <2.000 h-e, incluyendo **humedales de nueva generación y procesos con algas** en el marco del

proyecto europeo LIFE "Intext" (Castilla-La Mancha respalda soluciones sostenibles en depuración y reutilización en pequeños municipios). Este proyecto (2017–2021, con 9 socios de 5 países) ha sido cofinanciado por la UE y sus resultados pretenden guiar la implementación de tecnologías extensivas mejoradas en entornos rurales, con énfasis en bajo consumo energético y posible reutilización del agua depurada. La participación de entidades de CLM en este Life demuestra **voluntad de innovar y escalar estas soluciones en la región**. Adicionalmente, el organismo público *Infraestructuras del Agua de Castilla-La Mancha* (encargado de la gestión del ciclo del agua regional) ha incluido en sus planes de depuración la opción de sistemas adecuados al medio rural, con inversión prevista para dotar de depuradoras (convencionales o naturales, según proceda) a decenas de núcleos que aún carecen de ellas (Castilla-La Mancha refuerza la depuración de aguas con ... - RETEMA).

- **Incentivos y financiación:** Para pequeños municipios, existen fondos europeos (FEDER, Fondo de Cohesión) y nacionales destinados a obras de saneamiento. En el contexto del **reto demográfico y la despoblación rural**, la mejora del saneamiento es elegible para financiamiento. Por ejemplo, el PERTE (Proyecto Estratégico) de digitalización del ciclo del agua del MITECO contempla líneas para mejorar redes y depuración en pequeños núcleos, y las **Diputaciones provinciales** a veces cofinancian depuradoras modulares o naturales para pueblos de su territorio. Aunque no hay una "subvención para humedales" específica, **los proyectos bien justificados técnicamente pueden obtener financiación pública igual que una EDAR convencional**, con la ventaja de que su coste suele ser menor. Asimismo, los ahorros en consumo eléctrico y mantenimiento que ofrecen las soluciones extensivas suponen un incentivo económico a largo plazo para los ayuntamientos con presupuestos limitados.

En resumen, **existe respaldo institucional y experiencia acumulada** que avalan la fitodepuración en pequeñas localidades. Las administraciones han publicado guías técnicas oficiales y han invertido en proyectos demostrativos. Esto proporciona **argumentos sólidos** para defender la viabilidad de un humedal artificial ante cualquier organismo: no se trata de algo experimental sin referencia, sino de una **tecnología conocida, probada en España** y que encaja en las políticas de sostenibilidad actuales (economía circular, infraestructuras verdes, etc.).

10.7 Consideraciones específicas para la zona del Alto Tajo

El **Alto Tajo** es un entorno singular desde el punto de vista ambiental y jurídico. Parte de la comarca se encuentra protegida bajo la figura de **Parque Natural** (declarado por Castilla-La Mancha) y está incluida en la **Red Natura 2000** de la UE, con varias Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) designadas (El Alto Tajo, un espacio con gran diversidad de

hábitats, biodiversidad y poca población). Estas designaciones implican ciertos requisitos adicionales a tener en cuenta:

- **Protección de ecosistemas acuáticos:** Los ríos y arroyos del Alto Tajo mantienen aguas de alta calidad y albergan especies de interés comunitario (trucha común, nutrias, macroinvertebrados sensibles, etc.). Cualquier vertido, por pequeño que sea, **no debe comprometer el buen estado ecológico** de estas masas de agua ni causar perjuicios a los hábitats del parque. Desde el punto de vista legal, esto se traduce en que la **Confederación Hidrográfica del Tajo** podría fijar condiciones de vertido más estrictas que las estándar si fuera necesario para proteger valores concretos (por ejemplo, podría exigir una DBO_5 aún más baja o ciertos límites de amonio para preservar la vida piscícola, apoyándose en el art. 100 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico modificado por RD 665/2023, que enfatiza la protección del medio receptor). No obstante, si el humedal cumple con los parámetros de un tratamiento secundario normal, es muy probable que el efecto en el río sea **nulo o incluso positivo** (comparado con la situación actual de vertido no tratado).
- **Autorizaciones ambientales:** Al estar en Red Natura 2000, instalar una nueva infraestructura de depuración puede requerir una evaluación ambiental simplificada. La normativa de conservación de la naturaleza (Ley 42/2007 y legislación autonómica) obliga a evaluar los proyectos que puedan afectar a espacios protegidos. En este caso, **un sistema de fitodepuración** se consideraría una **mejora ambiental** (reduce la carga contaminante al río), por lo que es de esperar que obtenga la autorización ambiental sin trabas, siempre que se ubique y diseñe adecuadamente. Eso sí, podrían imponerse medidas precautorias: por ejemplo, elegir una localización del humedal alejada de zonas de ribera sensibles, usar especies vegetales autóctonas en la plantación del humedal, y evitar movimientos de tierra en épocas de reproducción de fauna. Estas medidas asegurarían que la obra **no solo no daña el entorno, sino que lo integra y potencia** (un humedal construido puede incluso servir de hábitat para aves acuáticas y anfibios locales).
- **Reglamentos y planes locales:** Habría que consultar el **PRUG (Plan Rector de Uso y Gestión)** del Parque Natural del Alto Tajo, por si impone restricciones a infraestructuras de saneamiento. En general, los planes de parques naturales suelen permitir las actuaciones necesarias para saneamiento de aguas residuales de pueblos existentes, pues se consideran de interés público. Es posible que el PRUG indique preferencias por sistemas de bajo impacto visual y que minimicen olores, donde la fitodepuración encaja perfectamente. Asimismo, el **Plan Hidrológico de la Demarcación del Tajo** vigente identifica las presiones por vertidos en la cuenca; la instalación de depuradoras en pequeños municipios del Alto Tajo seguramente figura como actuación necesaria para cumplir los objetivos de la planificación hidrológica. Esto significa que la propia planificación de cuenca **respalda la puesta en marcha de soluciones depurativas** en esos núcleos, pudiendo incluso prever fondos para ello.

- **Zonas de especial protección del agua:** El río Tajo, desde su nacimiento hasta el pueblo de Peralejos de las Truchas, está declarado **Reserva Natural Fluvial** (ríos en estado prácticamente prístino), también puede estar sujeto a otras figuras hidrológicas. En las Reservas Naturales Fluviales se busca mantener la máxima naturalidad, y las Confederaciones suelen restringir al máximo cualquier vertido. Si el pueblo en cuestión vierte a un tramo declarado Reserva, habría que coordinar con la Confederación la mejor estrategia (quizá derivar el efluente depurado aguas abajo de la zona más sensible, o extremar la depuración para que el vertido sea imperceptible). En cualquier caso, un **vertido depurado con valores de DBO_5 cercanos a 10-15 mg/L y nutrientes muy reducidos difícilmente alterará la calidad** de un río caudaloso como el Tajo en su cabecera. Un humedal podría lograr que el efluente final tenga características casi similares a las de un agua natural de salida de manantial, sobre todo si se complementa con un pequeño estanque de pulido final o filtración subsuperficial.

En definitiva, **la zona del Alto Tajo impone un listón alto de protección ambiental, pero la fitodepuración está a la altura de ese desafío**. De hecho, implementar este sistema contribuiría a resolver un posible punto negro (vertido de aguas sin depurar) mejorando la situación actual del parque. Con los debidos permisos gestionados (Confederación Hidrográfica para el vertido, informe favorable del organismo del Parque Natural, y evaluación ambiental si procede), **no existen obstáculos normativos insalvables**. Al contrario, se puede argumentar que la alternativa de *no* depurar (por inviabilidad de una EDAR convencional) dejaría un foco de contaminación difusa incompatible con las figuras de protección del Alto Tajo, mientras que la fitodepuración brinda una **solución compatible con los valores ecológicos** del lugar (infraestructura verde, integrada paisajísticamente y con mejora neta de la calidad del agua).

10.8 Conclusiones

Para un pequeño municipio del Alto Tajo sin posibilidad de costear una depuradora convencional, un sistema de fitoremediación de aguas residuales **es técnica y legalmente viable**, apoyándose en los siguientes argumentos clave:

- **Cumplimiento normativo:** La solución propuesta se enmarca plenamente en la legislación vigente (Directiva 91/271/CEE y RD 509/1996). Un humedal bien diseñado puede cumplir los estándares de un tratamiento secundario (DBO_5 ≤25 mg/L, DQO ≤125 mg/L, SST ≤35 mg/L) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.), satisfaciendo así los requisitos que la ley exige para núcleos urbanos. Al ser un tratamiento “adecuado” para la población considerada, daría cumplimiento al Real Decreto-ley 11/1995 sin necesidad de excepciones.
- **Respaldo de las administraciones:** Existen fuentes oficiales (manuales del Ministerio, guías de Confederaciones) que reconocen y promueven los

humedales artificiales como alternativa de depuración en pequeñas poblaciones (Guía práctica depuración pequeñas poblaciones - CHDuero) (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). Además, proyectos piloto nacionales y europeos (p. ej. CH Duero, LIFE) han validado su eficacia en España, aportando datos reales de rendimiento (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero). Esto proporciona **seguridad jurídica**: lejos de ser una ocurrencia aislada, es una solución contrastada que las autoridades del agua conocen y aceptan.

- **Adecuación al contexto del Alto Tajo:** La fitodepuración presenta ventajas particulares en entornos rurales protegidos. Al tener **bajo impacto visual, mínimo ruido y nulas emisiones** (sin malos olores significativos si se gestiona bien), **no interfiere con el paisaje ni la fauna** del Parque Natural. Es más, refuerza el objetivo de mantener las aguas limpias, evitando sanciones europeas por incumplimiento de objetivos de depuración en España (tema por el cual nuestro país ha enfrentado procedimientos en el pasado debido a núcleos sin depurar). Legalmente, contribuye al cumplimiento tanto de la Directiva de Aguas Residuales Urbanas como de la Directiva Marco del Agua y la normativa de espacios protegidos, al eliminar un foco de contaminación en origen.
- **Sostenibilidad y economía local:** Desde un punto de vista normativo-promocional, iniciativas como el Pacto Verde Europeo y la Estrategia de Economía Circular fomentan las **Soluciones Basadas en la Naturaleza**. La fitodepuración encaja en esas directrices, pudiendo incluso optar a fondos y apoyos específicos. Para el ayuntamiento, implica menores costes operativos (lo cual facilita cumplir con las exigencias legales de mantenimiento continuo de la depuradora, evitando abandonos por falta de recursos). Además, al no requerir personal especializado permanente, se minimiza el riesgo de incumplimientos por mala operación.

En conclusión, se dispone de **argumentos legales sólidos** para justificar la implantación de un humedal depurador en un pequeño pueblo del Alto Tajo. Cumpliendo los reglamentos de agua y medio ambiente, y con las debidas autorizaciones, este sistema permitiría **alcanzar la calidad de vertido exigida** por la normativa estatal (Procesos extensivos, depuración natural al alcance de todos: Tipos, ventajas e inconvenientes | iAgua), a la vez que se armoniza con la filosofía de conservación del territorio. La fitoremediación no solo es viable normativamente, sino que representa la **opción más lógica y sostenible** en pequeños núcleos rurales donde una EDAR convencional resultaría inviable por coste o complejidad. Con ella, el municipio podrá **garantizar el saneamiento de sus aguas residuales de forma legal, económica y respetuosa con el extraordinario entorno del Alto Tajo**.

Fuentes: Directiva 91/271/CEE y RD 509/1996 (normativa de depuración) (BOE.es - DOUE-L-1991-80646 Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.); Manual CEDEX-CENTA 2010 (depuración en pequeñas poblaciones) (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero); Proyecto CH Duero (humedales en núcleos rurales)

(Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero) (Proyecto piloto depuración pequeñas poblaciones - CHDuero); Proyecto LIFE Intext (tecnologías extensivas en CLM) (Castilla-La Mancha respalda soluciones sostenibles en depuración y reutilización en pequeños municipios); Parque Natural Alto Tajo y Red Natura 2000 (El Alto Tajo, un espacio con gran diversidad de hábitats, biodiversidad y poca población); entre otros.

10.9 Normativa aplicable:

DIRECTIVA 75/440/CEE, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.

DIRECTIVA 78/659/CEE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

DIRECTIVA 86/278/CEE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra sustancias peligrosas.

DIRECTIVA 91/271/CEE, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Se trata de una Directiva fundamental en cuanto a normativa de tratamiento de aguas se refiere, ya que marca los plazos y tratamientos de depuración de las aguas residuales urbanas, estableciendo las características para que determinadas zonas deban ser declaradas como sensibles

DIRECTIVA 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. DIRECTIVA 96/61/CEE, relativa a la prevención y control integrados de la contaminación. DIRECTIVA 98/15/CE, por la que se modifica la DIRECTIVA 91/271/CEE, en relación con determinados requisitos establecidos en su Anexo I

Directiva 2000/60/CE, también conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), que establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

DECISIÓN 2455/2001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la DIRECTIVA 2000/60/CE.

Nacional

LEY 29/85, de Aguas, procedente de la aplicación de las DIRECTIVAS 76/464/CEE y 80/68/CEE

REAL DECRETO 849/86, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos Preliminar, I, IV,VI y VII de la Ley de Aguas.

REAL DECRETO 927/88, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Aguas.

RESOLUCIÓN de 28 de abril de 1.995, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales

REAL DECRETO 484/95, sobre medidas de regularización y control de vertidos.

REAL DECRETO-LEY 11/95, por el que se establecen normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas. Procedente de la aplicación de la DIRECTIVA 91/271/CEE.

REAL DECRETO 509/96, de desarrollo del REAL DECRETO-LEY 11/95, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

REAL DECRETO 2.116/98, por el que se modifica el REAL DECRETO 509/96 de desarrollo del REAL DECRETO-LEY 11/95 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

LEY 46/1999 de modificación de la Ley de Aguas 29/1985.

REAL DECRETO 995/2.000, que establece los objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y modificación del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el R.D. 849/1986.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2001, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (BOE nº 176, de 24 de julio) Los artículos 100 a 106 son los que hacen referencia específica al vertido de aguas al Dominio Público Hidráulico.

LEY 16/2002, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.

REAL DECRETO 606/2003 por el que se modifica el REAL DECRETO 849/1986, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV,V,VI y VIII de la Ley 29 /1985, de Aguas.

Ley 2/2022 de Aguas en Castilla La Mancha

Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo (https://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Paginas/PHT_2021-2027.aspx)