Phy2SUDOE

European Regional Development Fund

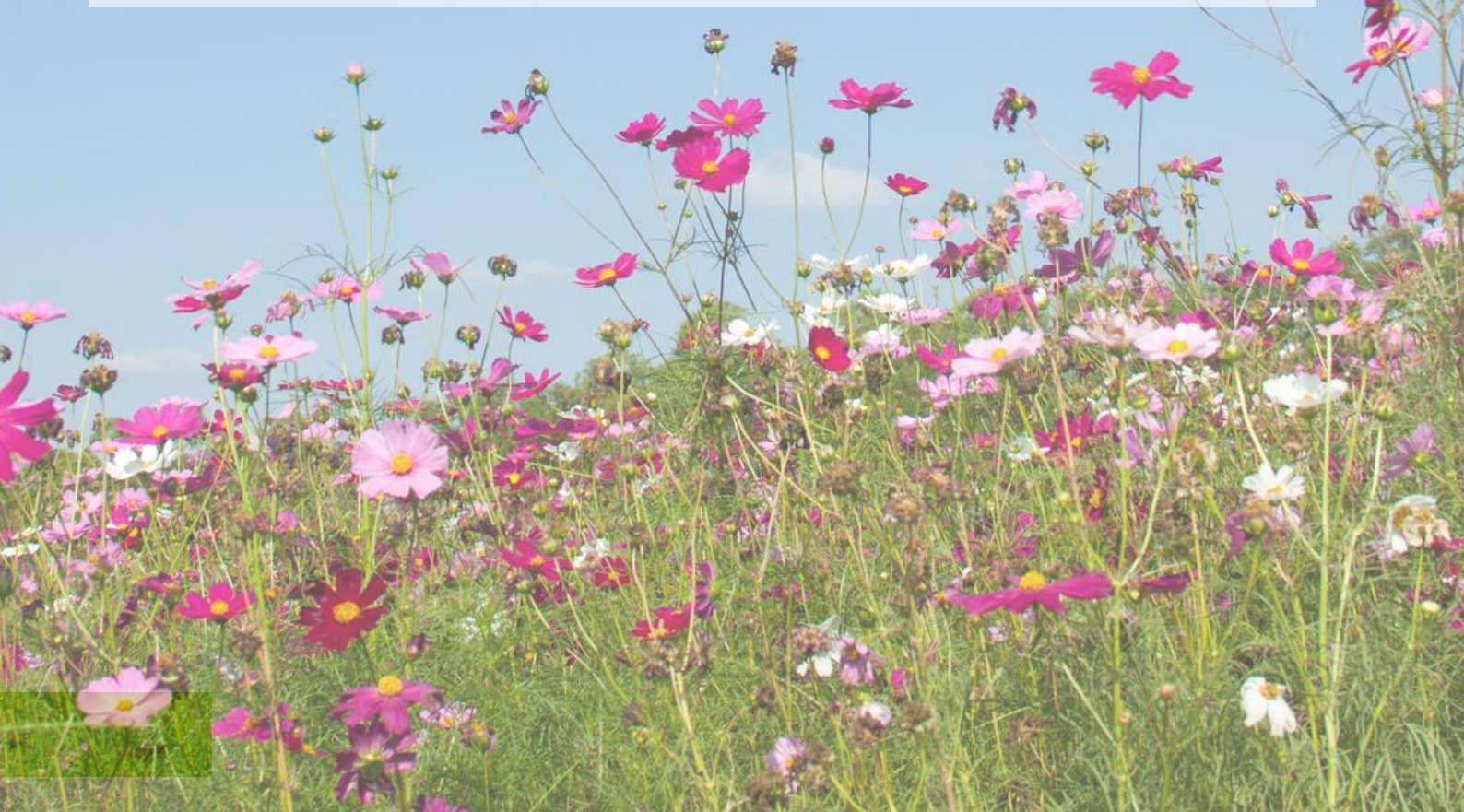
Avanzando en la aplicación de estrategias innovadoras de fitogestión en zonas contaminadas del espacio SUDOE

NEIKER MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE · CSIC · MBG MISIÓN BIOLÓGICA DE GALICIA · USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA · UPV EHU · CEA Centro de Estudios Ambientales · INRAE · CHARENTE LE DÉPARTEMENT · Fertil'innov ENVIRONNEMENT · UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA · CloverStrategy

Interreg Sudoe · EUROPEAN UNION · Phy2SUDOE European Regional Development Fund

Contenido

PRESENTACIÓN.....3
INTRODUCCIÓN.....4
EMPLAZAMIENTOS 5
¿QUÉ ES LA FITOGESTIÓN?.....6
GRUPO DE TRABAJO 1 – Mantenimiento y monitorización de los emplazamientos de la red mediante metodología armonizada 8
GRUPO DE TRABAJO 2 – Incorporación de nuevos emplazamientos y opciones de fitogestión bajo diversas condiciones edafoclimáticas 10
GRUPO DE TRABAJO 3 – Identificación y conservación de la biodiversidad endémica de los emplazamientos para su explotación potencial.....12
GRUPOS DE TRABAJO TRANSVERSALES 14
LO QUE HEMOS APRENDIDO.....15



Estimado/a lector/a,

Me complace presentar el proyecto europeo Phy2SUDOE de investigación de técnicas de fitogestión para la recuperación de espacios degradados. Phy2SUDOE ha conseguido consolidar la red de emplazamientos fitogestionados formada en el anterior proyecto que desarrollamos en ese ámbito, denominado PhytoSUDOE, y ampliarla con nuevas casuísticas de contaminación y estrategias innovadoras de fitogestión. Además, se ha potenciado la conservación de la biodiversidad endémica en algunos emplazamientos que albergan biota de interés conservacionista y biotecnológico, a la vez que se ha promovido la biodiversidad de especies adaptadas a la contaminación.

En definitiva, en Phy2SUDOE hemos demostrado la capacidad de la fitogestión para combinar la reducción de la concentración de contaminantes, la conservación de la biodiversidad y la generación de productos y servicios ecosistémicos valiosos. Pero, probablemente, la característica más importante de la fitogestión es que considera el suelo contaminado no como un problema, sino como una oportunidad para crear valor económico y ecológico, también en el espacio SUDOE.

Agradezco a todos los socios y colaboradores su participación y apoyo, que han permitido que Phy2SUDOE fuera un éxito.

Carlos Garbisu
Coordinador del proyecto (NEIKER)

Phy2SUDOE es un proyecto europeo que ha formado una red de emplazamientos, contaminados principalmente por metales y metaloides, que han sido utilizados para investigar aplicaciones de fitogestión.

Objetivos del proyecto:

1. Consolidar la red de emplazamientos formada en el anterior proyecto PhytoSUDOE.
2. Ampliar dicha red con nuevas casuísticas de contaminación (suelos contaminados con compuestos orgánicos o contaminación mixta) y estrategias innovadoras de fitogestión basada en la mezcla de especies de plantas.
3. Potenciar la conservación de la biodiversidad endémica en algunos emplazamientos que albergan biota de interés conservacionista y biotecnológico, a la vez que se promueve la biodiversidad a través de la implementación de estrategias de fitogestión.
4. Valorizar los emplazamientos contaminados por metaloides y/o compuestos orgánicos en la región SUDOE mediante el empleo de estrategias de fitogestión encaminadas a la generación de productos y servicios ecosistémicos en dichos emplazamientos, a la vez que se minimiza el impacto ambiental que los contaminantes pudieran ocasionar.

Socios del proyecto

1. NEIKER
2. CSIC
3. USC
4. UPV EHU
5. CEA
6. INRAE
7. CHARENTE
8. FERTIL'INNOV
9. UCP-CRP
10. CLOVERSTRATEGY

Socios asociados: IHOBE, Ayuntamiento de Gernika-Lumo, Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, Strategic Minerals Spain, Álava Agencia de Desarrollo S.A., Consejo Departamental 64, Pôle de compétitivité XYLOFUTUR, Ets LYONNET, Bordeaux Métropole – Departamento de Espacios Verdes, Municipio de Bordes, Econick, Associação de Municípios Parque das Serras do Porto, EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A., Câmara Municipal de Celorico de Basto.

La aplicación de técnicas innovadoras de fitogestión para la gestión de espacios contaminados requiere de **actuaciones piloto** y de demostración a nivel local, regional y nacional, cubriendo tantos escenarios diferentes como sea posible.

Phy2SUDOE parte de una **red transnacional de emplazamientos** ya creada (PhytoSUDOE Network) que se ha completado con 8 nuevos emplazamientos para incrementar el número de escenarios cubiertos. Los emplazamientos de la red cubren una **gran variedad de condiciones edafo-climáticas**, tipos de degradación y alternativas de fitogestión.

Red de emplazamientos PhytoSUDOE (S1-S8)
S1. ST MÉDARD D'EYRANS (Gironde, FR). Zona industrial abandonada, Cu/PAH (INRA).
S2. CHABAN-DELMAS (Gironde, FR). Zona industrial abandonada en área urbana, metal(oid)es/PAH/hidrocarburos alifáticos (INRA).
S3. BORRALHA (Montalegre, PT). Área minera, Ag/W/Cu/Pb (UCP-CRP, LNEG).
S5. ARIÑEZ (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES). Zona abandonada en área periurbana, As/Pb/PCB/PAH/acetona/hidrocarburos (UPV, NEIKER, CEA).
S6. MENDIGURENTXO (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES). Zona abandonada en área periurbana, metales (UPV, NEIKER, CEA).
S7. PEDRAFITA (Galicia, ES). Escombrera minera, Cd/Zn/Pb (CSIC, USC).
S8. TOURO (Galicia, ES). Escombrera minera, Cu (CSIC, USC).

Nuevos emplazamientos Phy2SUDOE (NS1-NS8)
NS1. DURANDEAU (Charente, FR). Terreno baldío (Angulema), contaminación mixta (Charente).
NS2. LES AVINIÈRES (Gard, FR). Zona minera, Pb, Zn, Cd, Ni (Fertil'Innov).
NS3. SENTEIN (Ariège, FR). Zona minera, Pb, Zn (INRAE).
NS4. BORDES (Pyrénées-Atlantiques, FR). Antiguos vertederos (INRAE, CD64).
NS5. BANDEIRA (Galicia, ES). Cantera, Ni, Cr (CSIC, USC).
NS6. GERNIKA (País Vasco, ES). Contaminación mixta procedente de la aplicación incontrolada de lodos de depuradora (UPV).
NS7. ZUMABAKOTXA (Vitoria-Gasteiz, País Vasco, ES). Zona periurbana-industrial con contaminación mixta (CEA).
NS8. ESTARREJA (Aveiro, PT). Zona industrial, contaminación mixta (UCP-CRP, CloverStrategy).

Dentro del proyecto Phy2SUDOE, se han aplicado herramientas para la mejora de la fitogestión:

Enmiendas

Compuestos que se añaden al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, favoreciendo el crecimiento de las plantas (por ejemplo: enmienda de materia orgánica a través de la adición de compost).

Bioaumentación

Consiste en la inoculación de plantas con microorganismos que puedan potenciar el crecimiento vegetal o la tolerancia a los contaminantes, o influir en la acumulación de metales traza o la degradación de contaminantes orgánicos. En el caso de Phy2SUDOE se han usado inóculos bacterianos (endófitos y rizósfericos) y hongos (para formar micorrizas).

Se han testado también distintas especies vegetales y patrones de cultivo:

Plantación forestal

Se han cultivado árboles con probada capacidad fitorremediadora como chopos y sauces (entre otras especies). En general, se han utilizado especies de rápido crecimiento y tolerantes a la contaminación.

Cultivos agrícolas

En la mayoría de las parcelas Phy2SUDOE se han cultivado especies herbáceas (colza, gramíneas, etc.) o de elevada biomasa (girasol, tabaco) en sistemas de rotación.

Sistemas agroforestales

Para potenciar la fitorremediación, en algunas parcelas se han intercalado plantaciones forestales con cultivos agrícolas, incluyendo leguminosas o plantas asociadas a microorganismos fijadores de nitrógeno (por ejemplo, *Salix/Populus* con *Alnus*).

Fitoextracción

La planta absorbe los contaminantes (principalmente metales) a través de las raíces y los acumula en grandes cantidades en la biomasa aérea, retirándose los contaminantes a través de su cosecha. Cuando el metal puede ser recuperado de la biomasa (biomena), obteniendo un beneficio económico, el proceso se denomina fitominería.

Fitoestabilización

Mediante distintos mecanismos, la planta es capaz de secuestrar o inmovilizar los contaminantes en la raíz y/o en su zona de influencia. Este proceso limita la migración y biodisponibilidad de los contaminantes y, por tanto, reduce significativamente los posibles efectos adversos al medio ambiente y su transferencia a la cadena trófica.

Rizodegradación

Las raíces de las plantas liberan ciertos compuestos (exudados) al suelo de su entorno (rizosfera), estimulando la supervivencia, el crecimiento y la actividad de los microorganismos de la rizosfera que degradan los contaminantes orgánicos. La eficiencia puede ser incrementada incorporando microorganismos con capacidad de degradar contaminantes orgánicos o de aumentar su biodisponibilidad (bioaumento) y/o mediante la adición de compuestos que estimulan procesos de simbiosis planta-microorganismo (bioestimulación).

Fitovolatilización

Algunas plantas captan contaminantes (como el selenio o algunos xenobióticos orgánicos) y los liberan en una forma menos tóxica a la atmósfera a través de la transpiración. Dentro de la planta el contaminante es transformado o degradado antes de ser liberado.

La fitogestión de suelos contaminados busca **mitigar el riesgo de la transferencia de la contaminación** mediante distintas estrategias de manipulación del sistema suelo-planta. Produce una biomasa de alto valor y/o de interés ecológico y **mejora las funciones ecológicas** del suelo y el suministro de servicios ecosistémicos. El mantenimiento de ensayos a largo plazo es esencial para evaluar el éxito de las estrategias adoptadas.

Cebada de invierno (izquierda), Kernza (centro) y vetiver (derecha). © Mench / INRAE

El GT1 se ha centrado en el mantenimiento y monitorización de la red de emplazamientos degradados o contaminados, fitogestionados por la Red PhytoSUDOE. Se han ejecutado tareas de mantenimiento de infraestructuras en los emplazamientos.

Muestreo de contaminación en el emplazamiento S5b. © David Sedan / DINAM

En las áreas con elevadas limitaciones climáticas, como **St Médard d'Eyrans** (FR), **Ariñez** (ES) y **Mendigurentxo** (ES) se han repuesto especies arbóreas. Para evaluar el éxito a largo plazo de las estrategias de fitogestión adoptadas, se han monitorizado:

Operario de un plan de empleo desbrozando vegetación adventicia. © Lídia Mingoranc / CEA

1. Las propiedades fisicoquímicas, biológicas y bioquímicas del suelo.
2. Los niveles de contaminantes (fracción total y biodisponible) en el suelo.
3. La transferencia de los contaminantes a las plantas.
4. La supervivencia y estado nutritivo de los cultivos.

Resultados

En general, se ha demostrado que **la fitogestión favorece la recuperación de las funciones del suelo** y el suministro de servicios ecosistémicos. Se ha constatado una **mejora gradual de numerosos indicadores edáficos**, tales como el aumento de la materia orgánica y de secuestro de carbono, el descenso de la concentración de contaminantes orgánicos y de la biodisponibilidad de metal(oid)es, la mejora de las actividades enzimáticas, y un aumento notable de la biodiversidad (microbiana, vegetal y de invertebrados).

Bormuellera tymphaea (Ni-hiperacumuladores) en el yacimiento de Bandeira. © Rodríguez et al / CSIC

El GT2 ha tenido como objetivo evaluar los vínculos de contaminación de los emplazamientos, la viabilidad de las soluciones basadas en fitotecnologías y las estrategias de remediación y/o fitogestión implementadas.

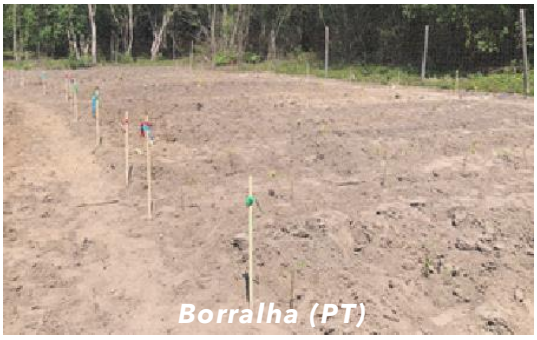
Comunidad vegetal en el ensayo fitogestionado en agosto de 2022. © Departamento de Charente / Jardins de l'Angoumois / INRAE Mench

Resultados

El GT2 ha ampliado la red de emplazamientos fitogestionados en la región SUDOE, y ha demostrado **la efectividad y los límites de las fitotecnologías para recuperar suelos contaminados** en 8 emplazamientos. Estos incluyen zonas mineras, periurbanas e industriales, con el objetivo de ampliar la gama de usos futuros (cinturones verdes periurbanos, parques, cultivos industriales, etc.). La fitogestión indujo **cambios en la diversidad de la comunidad bacteriana del suelo**, mejorando las propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad y la prestación de otros servicios ecosistémicos.

5 meses después de la fitoestabilización © Departamento de Charente / Jardins de l'Angoumois / INRAE Mench

Se establecieron parcelas in situ en algunos lugares (por ejemplo, Les Avinières) para confirmar la **eficacia de la aplicación de compost** y optimizar el ensamblaje de especies vegetales y microbianas utilizadas para la fitoestabilización. Las poblaciones de bacterias útiles adaptadas a la exposición a los contaminantes se conservaron en las zonas no tratadas.



Despliegue de cebo-lamina y ensayo de campo en el emplazamiento de Esterreja. © UCP

Ensayo de fitogestión en el yacimiento de Gernika. © Soto / UPV

La fitoestabilización mejora las propiedades del suelo, como la materia orgánica, el nitrógeno total y la biomasa microbiana. El seguimiento de la composición de las praderas, los bancos de semillas y las comunidades microbianas del suelo muestra una **clara rehabilitación y un aumento de la calidad y la biodiversidad del suelo**, vinculados a la fitoestabilización de los metales y la disipación de los compuestos orgánicos residuales.

Los emplazamientos dependen de las administraciones y empresas que han formado parte del proyecto, lo que facilita la transferencia de resultados. En general, se ha puesto de manifiesto la **viabilidad y eficiencia de las soluciones sostenibles basadas en fitotecnologías** para sanear estas tierras marginales y situarlas en la trayectoria de un nuevo (socio)ecosistema con mayores servicios ecosistémicos.

Parcelas fitogestionadas en el yacimiento de Zumabakotxa. © Vilela et al / CEA

El GT3 proponía **describir y preservar la biodiversidad en emplazamientos contaminados en zonas mineras**. Además de tener un valor intrínseco y de conservación, esta biodiversidad puede utilizarse en aplicaciones biotecnológicas.

Silene uniflora (acumulador de metal(loide). © Beatriz Rodríguez-Garrido / CSIC

Se han realizado **estudios de plantas, microorganismos y macroinvertebrados adaptados a altas concentraciones de metales y metaloides** (por ejemplo, Zn, Pb y Cd) en 4 emplazamientos de la red Phy2SUDOE: Bandeira (ES), Borralha (PT); Sentein-Bulard, (FR), y Lanestosa (ES).

Resultados

El estudio botánico ha permitido **identificar más de 250 especies de plantas metalófitas**. Se han recolectado las metalófitas más representativas y/o endémicas de cada lugar para identificar sus mecanismos de tolerancia a los metales. Varias han mostrado ser (hiper)acumuladoras o excluidoras de metales, siendo de especial interés para enfoques de fitorremediación y fitogestión. También se han identificado especies de interés para la conservación, cuyas semillas se conservan en el Banco de Germoplasma de Olarizu (ES).

Helictrotrichon cantabricum (especie endémica de España y Francia; excluidor de metal(loide). ©CEA

En cuanto a los **microorganismos**, se han aislado más de 150 cepas bacterianas del suelo, que se han caracterizado en función de su tolerancia a los metales y de sus rasgos promotores del crecimiento vegetal, como la capacidad de solubilización de fosfatos. Algunas de estas cepas se han estudiado sobre diferentes suelos mineros y plantas, mostrando un **buen rendimiento en la promoción del establecimiento y crecimiento de las plantas**. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal más prometedoras se conservan en Neiker (ES) y UCP-ESB (PT).

Respecto a los **macroinvertebrados**, se han recogido lombrices de tierra, babosas, saltamontes y caracoles, que sirven como centinelas ambientales en áreas contaminadas. Sus tejidos han sido procesados y conservados en el Banco de Bioespecímenes Ambientales de la Bahía de Vizcaya (ES).

Todas estas colecciones se han convertido en **repositorios de especímenes autóctonos de interés** para las administraciones locales/regionales/nacionales e instituciones de investigación, cuyo uso puede extenderse a la búsqueda de nuevas líneas de investigación y a actividades de recuperación en otros emplazamientos con problemas de contaminación similares.

Erica arborea, excluidor de metal(loid). ©UCP

GT. T1 – Gestión

Las tareas de gestión han sido coordinadas por NEIKER, con la ayuda de los responsables de los Grupos de Trabajo.

1. Gestión administrativa y coordinación diaria del proyecto.
2. Toma de decisiones políticas y técnicas.
3. Sistema de comunicación interna.
4. Organización interna para la elaboración de informes de ejecución.
5. Gestión financiera del proyecto.

GT. T2 – Comunicación

El socio responsable de comunicación (CEA) ha llevado a cabo diversas acciones de divulgación:

1. Creación y actualización de la web del proyecto.
2. Creación y actualización de perfiles de redes sociales (Twitter, Facebook).
3. Cuatro newsletters informativas
4. Tres talleres con partes interesadas.
5. Vídeo resumen del proyecto.
6. Difusión de publicaciones científicas.

GT. T3 – Seguimiento y evaluación

En este GT las tareas han sido:

1. Medir el progreso del proyecto y de sus entregables.
2. Realizar un seguimiento y una evaluación del proyecto.
3. Hacer una gestión de los riesgos del proyecto y el control de su calidad.

La colaboración de entidades diversas del Sudoeste de Europa nos ha permitido seguir avanzando en una mejor comprensión del entorno climático y ambiental de esta parte del mundo, y ha facilitado construir un conocimiento compartido sobre el suelo y sobre su gestión mediante técnicas alternativas a las tradicionales y que son más respetuosas con el medio ambiente.

Hemos visto que existen varios factores fundamentales para el éxito de la fitogestión: la aplicación de buenas prácticas, el mantenimiento en el tiempo de la fitogestión, la biomonitorización y la gestión del agua, entre otros.

Tras un proceso que exige paciencia, se han llegado a recrear ecosistemas con múltiples servicios asociados, incluyendo la producción de biomasa, el control de la contaminación, la estimulación de los organismos del suelo para un ciclo eficiente de los nutrientes y el secuestro de carbono.

Todo ese nuevo conocimiento se ha puesto a disposición pública para que, en el futuro, otros proyectos e investigaciones lo utilicen de base para continuar contribuyendo a la mejora el mundo en el que vivimos.

Phy2SUDOE

Informe final

www.phytosudoe.eu

www.facebook.com/PhytoSUDOE

www.twitter.com/PhytoSUDOE

https://www.youtube.com/@phy2sudoeproject926

El proyecto PhytoSUDOE (SOE4/P5/E1021) ha sido financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Comisión Europea) a través del IV Programa Interreg Sudoe