

A landscape painting by Wassily Kandinsky titled "Old Town" (1902). It depicts a town with red-roofed buildings and tall towers in the background, situated on a hillside covered in green and yellow vegetation. The foreground shows a path or road leading towards the town.

Medio Ambiente, Sostenibilidad y ODS

Soluciones basadas en la naturaleza para la remediación de suelos

Dr. Txema Becerril
[\(josemaria.becerril@ehu.eus\)](mailto:josemaria.becerril@ehu.eus)
Dpto. Biología Vegetal y Ecología,
UPV_EHU

Espacios/suelos degradados

Suelo sano vs suelo enfermo

Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

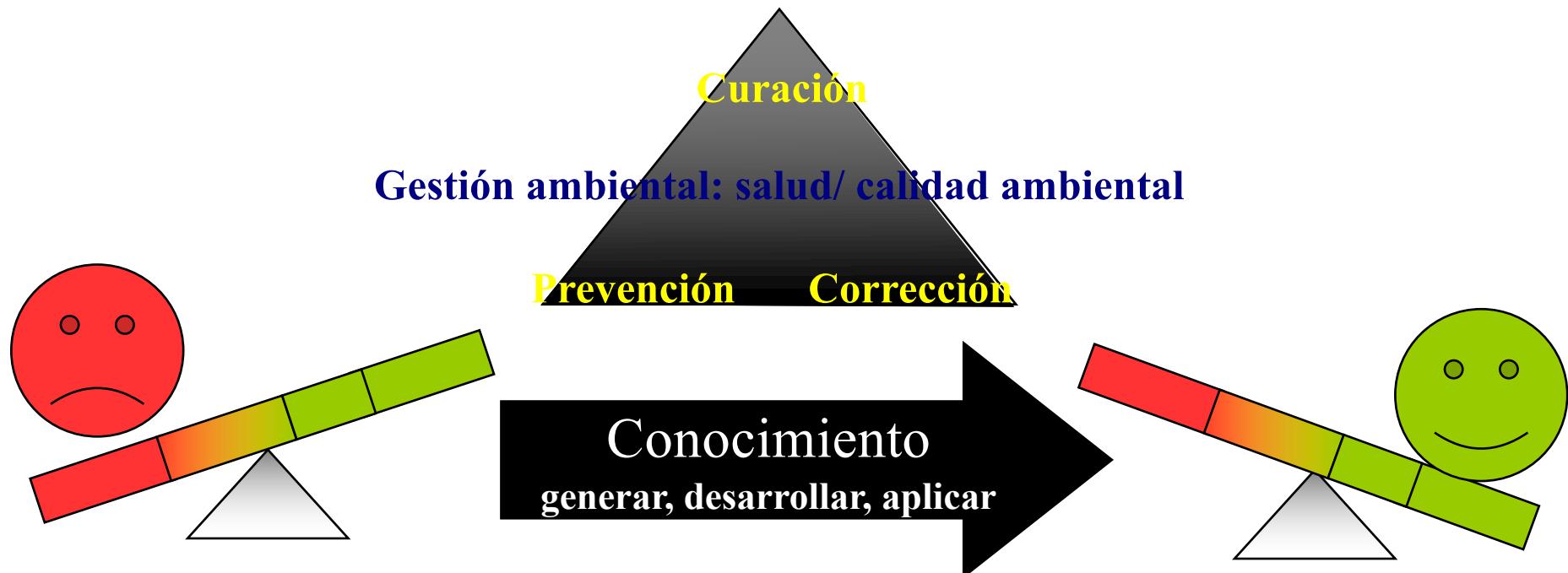
Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)

Fitorremediación/Fitogestión

**Caso de estudio: Recuperación de un suelo industrial en el
cinturon verde de Vitoria-Gasteiz**

Espacios degradados: Entorno que está en un estado indeseable comparado con otro estado que consideramos satisfactorio

Estado indeseable	Circunstancias ambientales, sociales, económicas, sanitarias, estéticas, etc	Estado satisfactorio
-------------------	--	----------------------



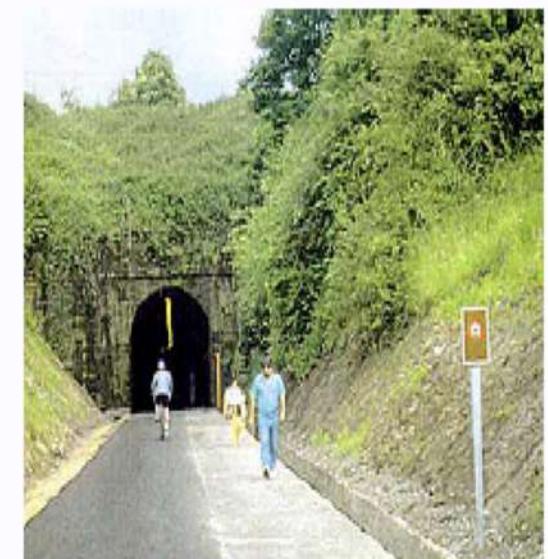
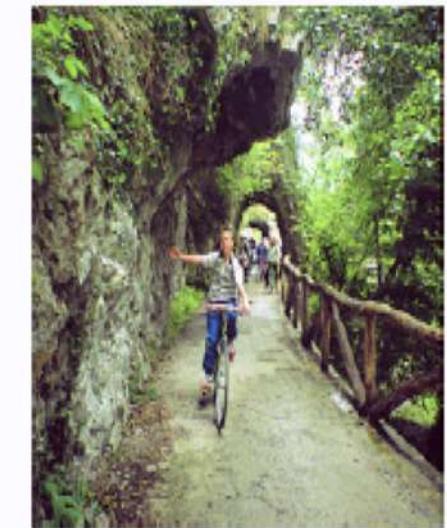
INVESTIGAR para CONOCER... CONOCER para GESTIONAR

Espacios en declive o abandonados

Actividad: vías pecuarias y férreas, nucleos rurales y espacios periurbanos e industriales

Problema y oportunidad

Opciones Tradicional- potenciar actividad (trashumante)
 Alternativo: turismo rural, vías verdes



Sobreexplotación o actividad desordenada

Actividad: agrícola (abandono o intensiva), forestal, erosión



Problemas:

Composición nutricional alterada

Suelos removidos, erosión

Cambios hidrológicos

Alteracion de biodiversidad

Especies exóticas

Persistencia de plaguicidas



Grandes Infraestructuras

Actividad: autopistas, carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas, etc.

Espacios afectados: taludes, medianas, espacios bajo viaductos y puentes, zonas de préstamos de áridos, acopio de materiales de construcción, vertederos , etc.



Vertederos

Un vertedero es un lugar preparado a propósito donde se depositan los residuos urbanos con garantía de no provocar problemas ambientales.

TIPOS DE VERTEDEROS:

- V. de residuos no peligrosos
- V. residuos peligrosos
- Celdas de Seguridad
- V. incontrolado
- V. Controlado
- V. Clausurado
- V. no clausurado

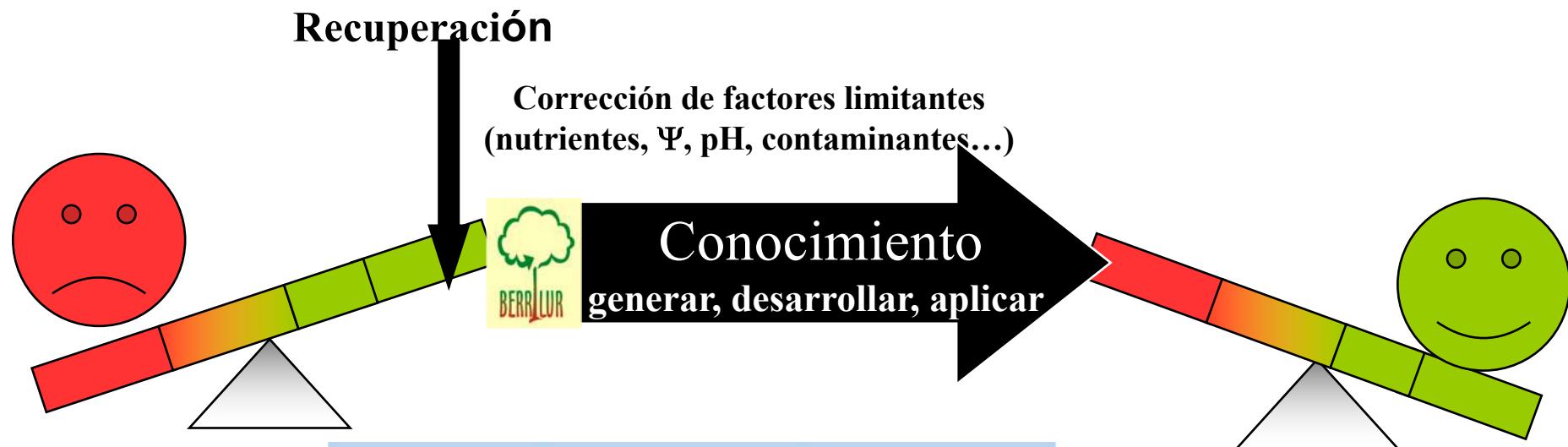


Suelos contaminados por minería

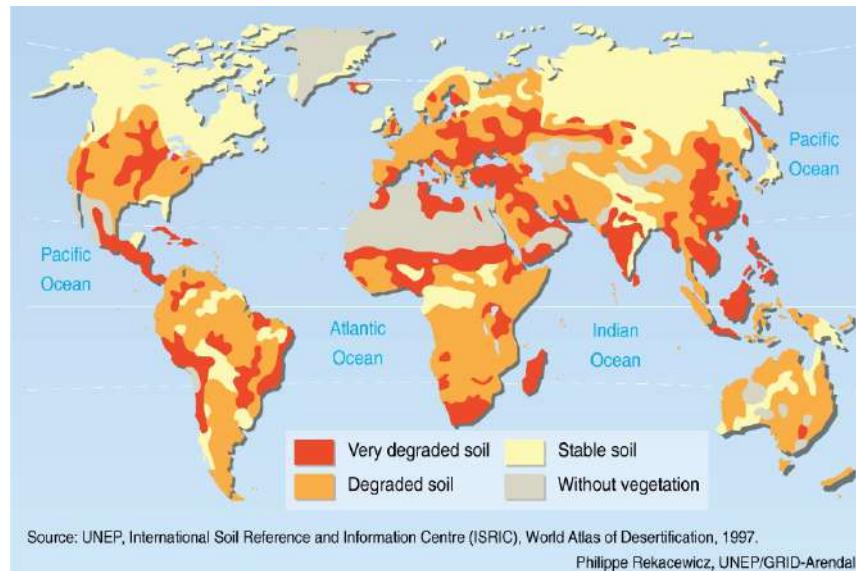
Actividad: actividades mineras relacionadas con fuentes de energía, metales, rocas industriales, ornamentales, canteras, graveras, etc...



Un entorno degradado lleva asociado un suelo degradado o inexistente



Entre 1/3 y 1/2 de la superficie de la Tierra ha sido transformada por la actividad humana



**Espacios/suelos degradados
Suelo sano vs suelo enfermo**

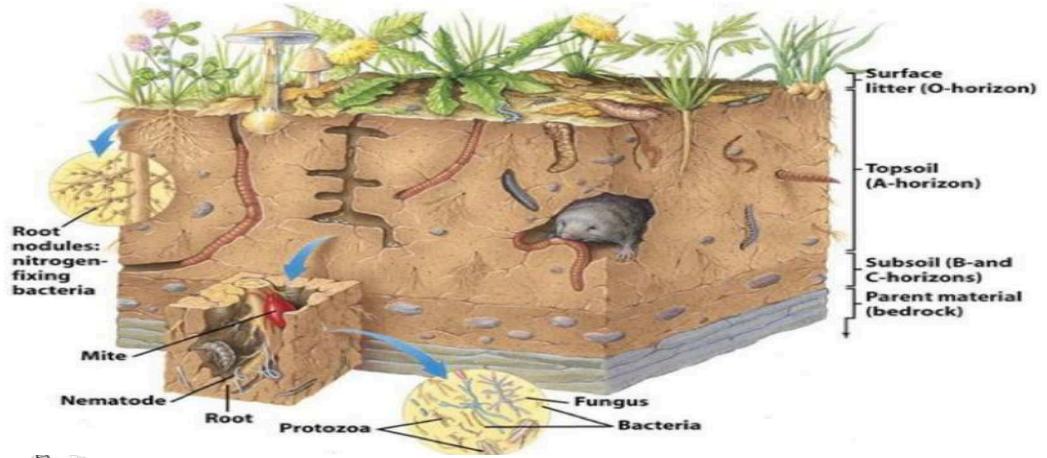
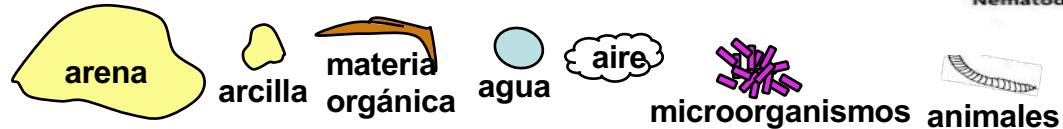
Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

**Fitotecnologías de recuperación de suelos contaminados
Fitorremediación/Fitogestión**

**Caso de estudio: Recuperación de un suelo industrial en el
cinturon verde de Vitoria-Gasteiz**

El suelo es un ente **vivo con estructura y con funcionalidad**

Estructura: los ingredientes del suelo



Función: ¿Qué hacen?

Agua

organismos (P, A, M)
evita inundaciones
filtra contaminantes

Aire

con plantas purifica aire (O)
sumidero C

Nutrientes

recicla residuos → recursos
alimentos
sumidero de C

Habitat

organismos
biodiversidad

-¿Qué es un suelo sano y un suelo enfermo?

SUELO SANO

un suelo con su estructura y funcionamiento adecuado que tiene la capacidad de funcionar como un sistema vivo en los ecosistemas naturales o humanizados manteniendo o incluso mejorando la calidad del aire y del agua promoviendo la salud de los organismos, incluida la salud humana

SUELO ENFERMO

un suelo que ha sido afectado en su composición y/o en su funcionalidad



	Función ¿Qué hacen?	
Agua	organismos (P,A,M) evita inundaciones filtra contaminantes	
Aire		purifica aire (O)
Nutrientes		recicla residuos sumidero de C alimentos recursos
Habitat		organismos biodiversidad

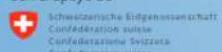
Funciones del Suelo

Los suelos aportan servicios ecosistémicos que permiten la vida en la Tierra



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Con el apoyo de



Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAEK
Federal Office for Agriculture FOAG

Swiss Confederation

¿Qué pasa si se enferma un suelo?



Si el suelo enferma nosotros enfermamos

-¿Cómo enferma un suelo?

¿Cómo enferma un suelo? El suelo es un sistema continuamente amenazado



Las amenazas a nuestros Suelos

2015
Año Internacional
de los Suelos
fao.org/soils-2015
#IYS2015

Solución: gestión sostenible de los suelos

- Gobernanza inclusiva del suelo
- Aumentar la inversión en la gestión sostenible de los suelos
- Promoción / sensibilización
- Establecer sistemas de información de suelos
- Desarrollar capacidades y fortalecer la extensión sobre los suelos

**Restaurar/rehabilitar
suelos degradados
o contaminados
SOLUCIONES
BASADAS
EN LA
NATURALEZA**



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Pero.... tenemos ¿Suelos contaminados?

12.500 emplazamientos en la CAPV (1,3% de nuestro suelo)

Mayor densidad de emplazamientos potencialmente contaminados: municipios en torno a las tres capitales vascas y en aquellos pertenecientes a las comarcas de Durangaldea, Debabarrena, Debagoiena y Urola-Kostaldea.

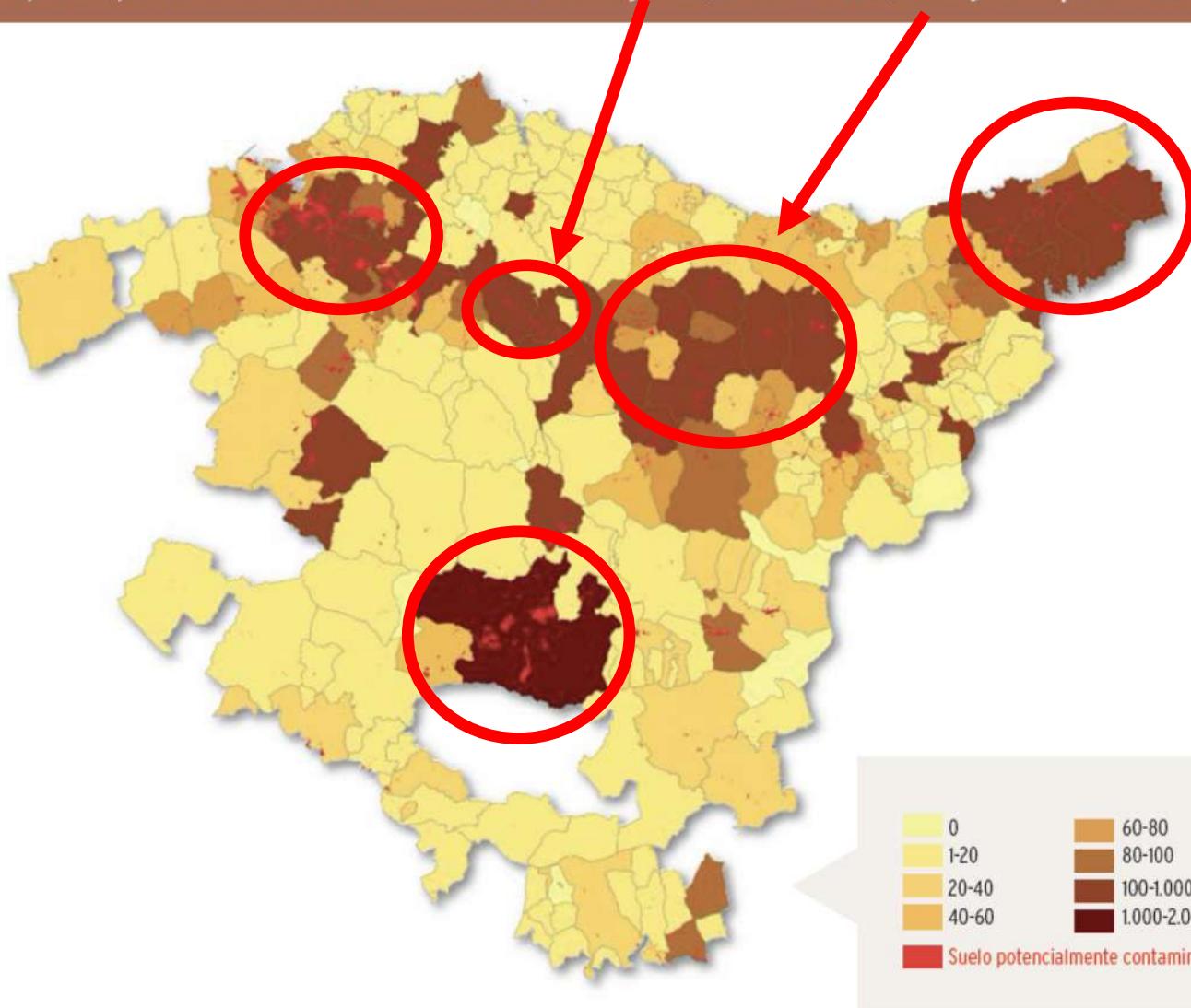


Fig1

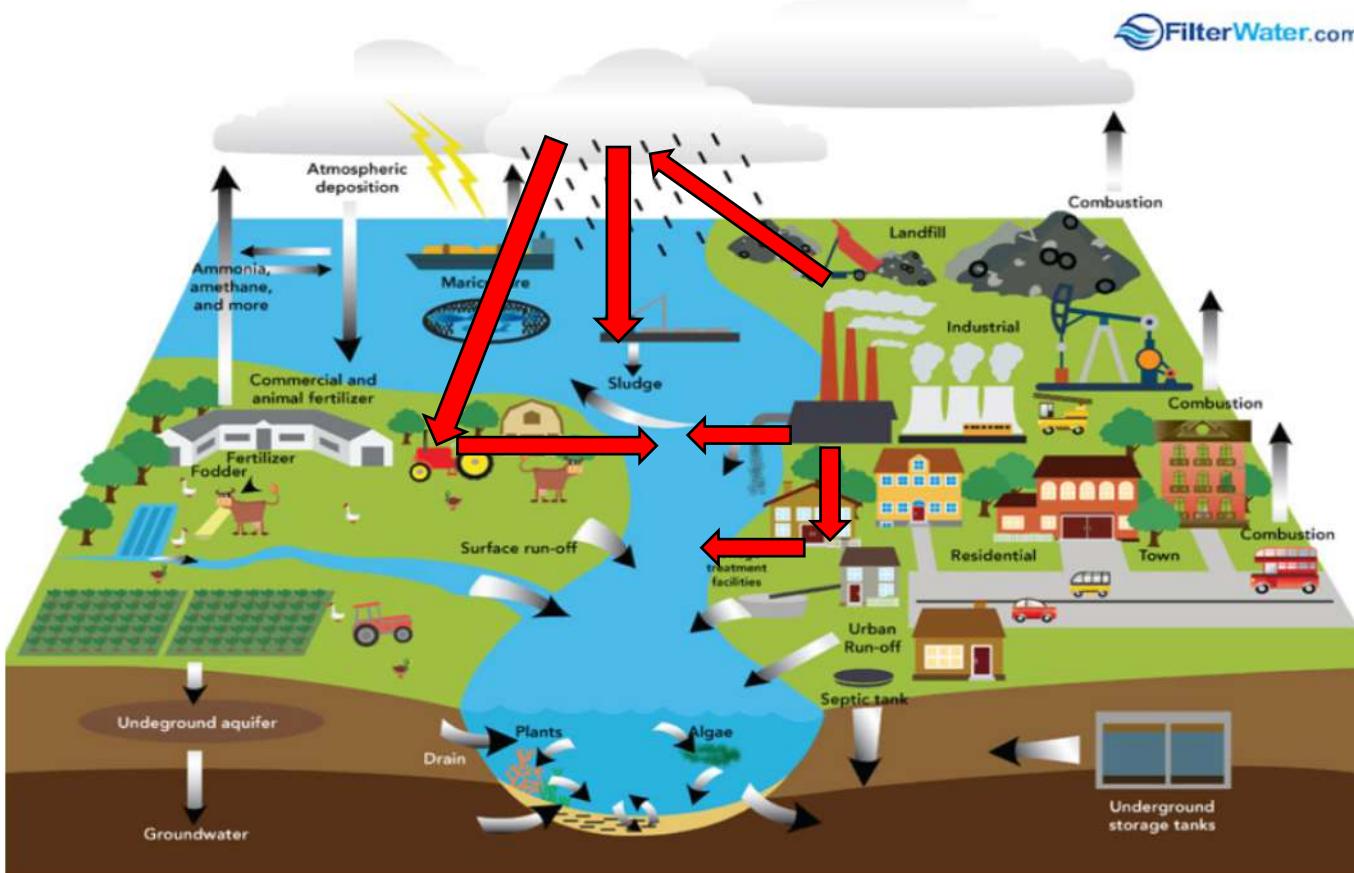
Perfil ambiental de Euskadi. Suelos (Ihobe, 2020)



The ONE paradigm: UN PLANETA

UNA SALUD: la salud de todos y todo son interdependientes

UNA CONTAMINACIÓN vision holística del problema de la contaminación del suelo



La descontaminación de nuestros suelos es necesaria soluciones urgentes y sostenibles

Las amenazas a nuestros Suelos



**Espacios/suelos degradados
Suelo sano vs suelo enfermo**

Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

**Fitotecnologías de recuperación de suelos contaminados
Fitorremediación/Fitogestión**

**Caso de estudio: Recuperación de un suelo industrial en el
cinturon verde de Vitoria-Gasteiz**

FASES de INVESTIGACIÓN de un emplazamiento potencialmente contaminado



Ley 4/2015; Decreto 209/2019 (desarrollo de ley)

Legislación: <https://www.euskadi.eus/legislacion-sobre-suelos-contaminados/web01-a2inglur/es/>

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA



Ley 4/2015; Decreto 209/2019 (desarrollo de ley)

Legislación: <https://www.euskadi.eus/legislacion-sobre-suelos-contaminados/web01-a2inglur/es/>

FASES de INVESTIGACIÓN de un emplazamiento potencialmente contaminado

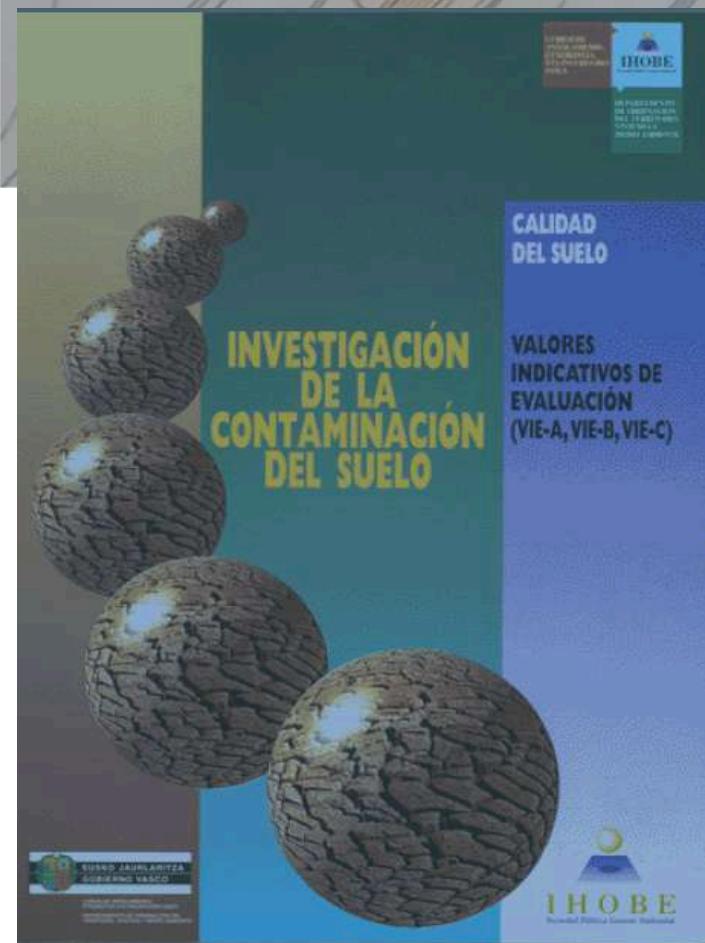


Ley 4/2015; Decreto 209/2019 (desarrollo de ley)

Legislación: <https://www.euskadi.eus/legislacion-sobre-suelos-contaminados/web01-a2inglur/es/>

INVESTIGACIÓN DETALLADA

Análisis químico exhaustivo en superficie/profundidad de los puntos con contaminación en la investigación exploratoria



Calidad del Suelo

Valores Indicativos de Evaluación

Ihobe; RD 9/2005 (BOE 18 de Enero 2005)

Niveles de Riesgo

VIE-

Sin

VIE-B

Aceptable según uso

VIE-

Inaceptable

23 ppm

Area juego infantil= 30 ppm

35 ppm

Huerta = 30 ppm

Residencial = 30 ppm

Parque publico = 30 ppm

Arsénico

As

Industrial = 200 ppm

FASES de INVESTIGACIÓN de un emplazamiento potencialmente contaminado



Ley 4/2015; Decreto 209/2019 (desarrollo de ley)

Legislación: <https://www.euskadi.eus/legislacion-sobre-suelos-contaminados/web01-a2inglur/es/>

Espacios/suelos degradados
Suelo sano vs suelo enfermo
Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?
Soluciones Basadas en la Naturaleza
Fitorremediación/Fitogestión

**Caso de estudio: Recuperación de un suelo industrial en el
cinturon verde de Vitoria-Gasteiz**

Research and innovation

Home > Research by area > Environment > Nature-based solutions

Nature-based solutions

Nature-based solutions and how the Commission defines them, the global context, funding, collaboration and jobs, projects and results, knowledge platforms, latest publications, news and events.

The EU and nature-based solutions

The ambition of research and innovation policy is to position the EU as leader in innovating with nature to achieve more sustainable and resilient societies.

The Commission defines nature-based solutions as

"Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions."

Nature-based solutions must therefore benefit biodiversity and support the delivery of a range of ecosystem services.

[Read more about Commission research and innovation policy on nature-based solutions](#) 

Nature-based solutions

The AMBITION of research and innovation policy:

to position the EU as leader in innovating with nature to achieve more sustainable and resilient societies.

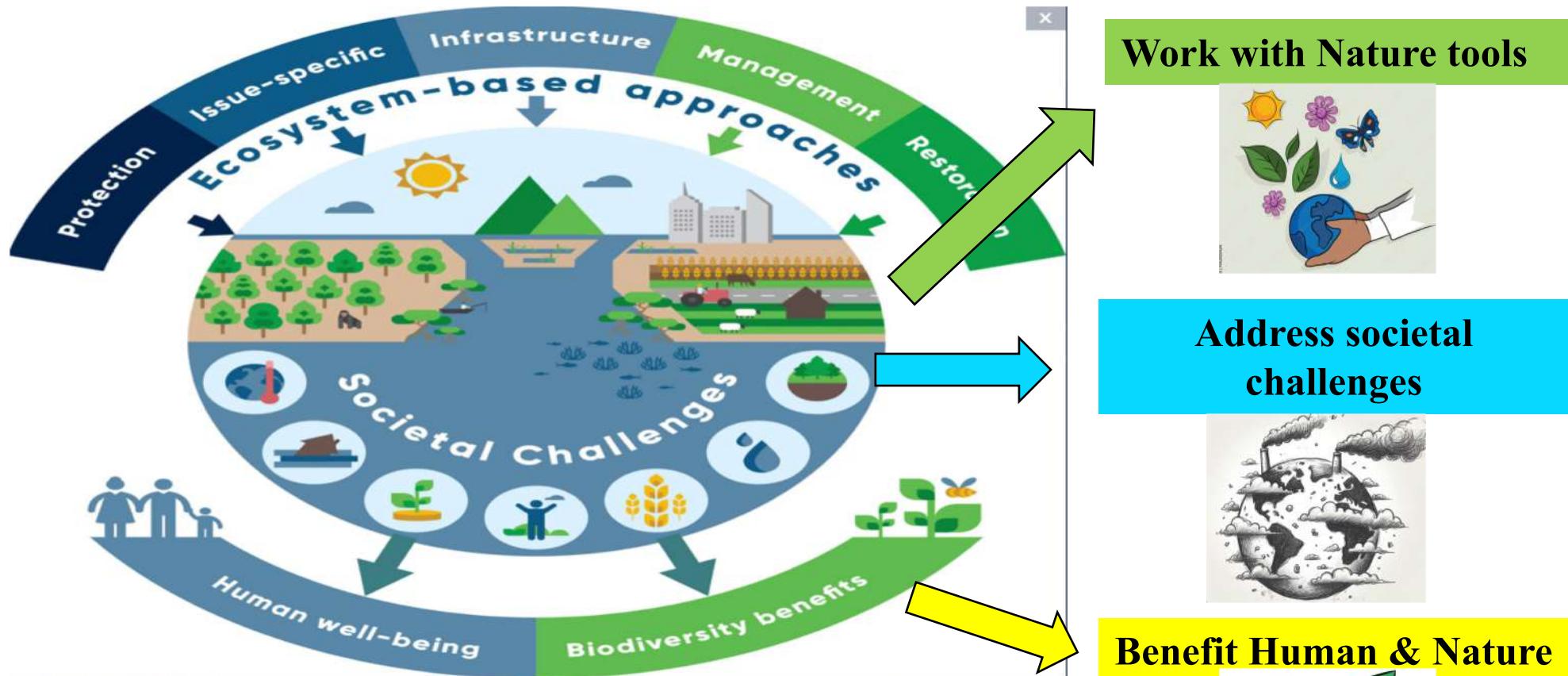
DEFINITION OF Nature-based Solutions by European Commission

“Solutions that are inspired and supported by nature, which are **cost-effective**, simultaneously **provide environmental, social and economic benefits** and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into **cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions.**”

Nature-based solutions must therefore benefit biodiversity and support the delivery of a range of ecosystem services.

NATURE-BASED SOLUTIONS (NbS)

Sustainable actions to protect, manage and restore ecosystems
to address societal challenges to benefit human and nature



Work with Nature tools



Address societal challenges



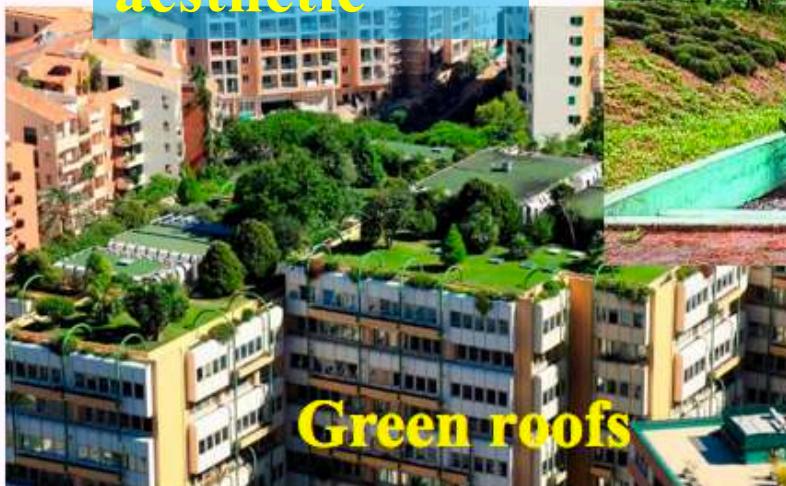
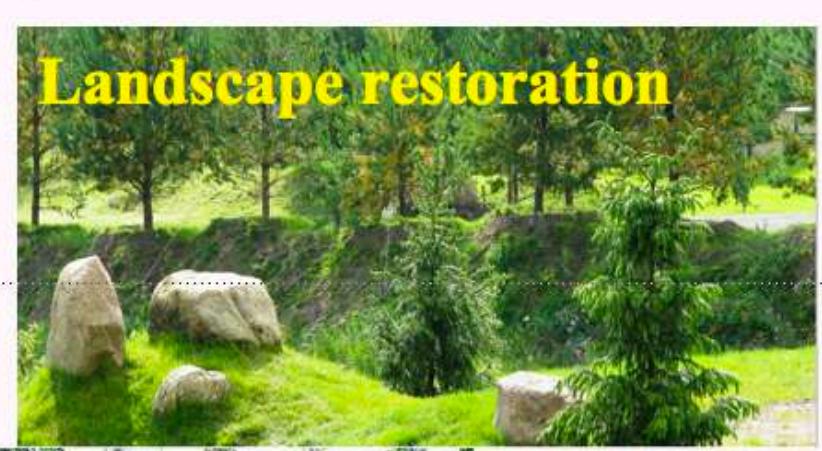
Benefit Human & Nature



Phytotechnologies: implement scientific and engineering solutions with plants to solve problems



Architectural aesthetic



SOIL REMEDIATION TECHNOLOGIES

TRADITIONAL PHYSICO-CHEMICAL -technologies

Physical and Chemical Treatment

Sedimentation	Excavation	Distillation
Centrifugation		Soil flushing/washing
Flocculation		Chelation
Oil/water separation		Liquid/liquid
Heavy media separation		Extraction
Evaporation		Supercritical
Air stripping		Carbon Adsorption
Steam stripping		Reverse Osmosis
Extraction		Ion Exchange
Filtration		Electrodialysis

BIO-technologies

Biological Treatments

Bioremediation
Phytoremediation
Vermiremediation



ORGANIC AND INORGANIC AMENDMENTS

NZVI

NANOPARTICLES



ex situ vs in situ

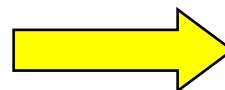


Biological Treatments of soil remediation

Bioremediation

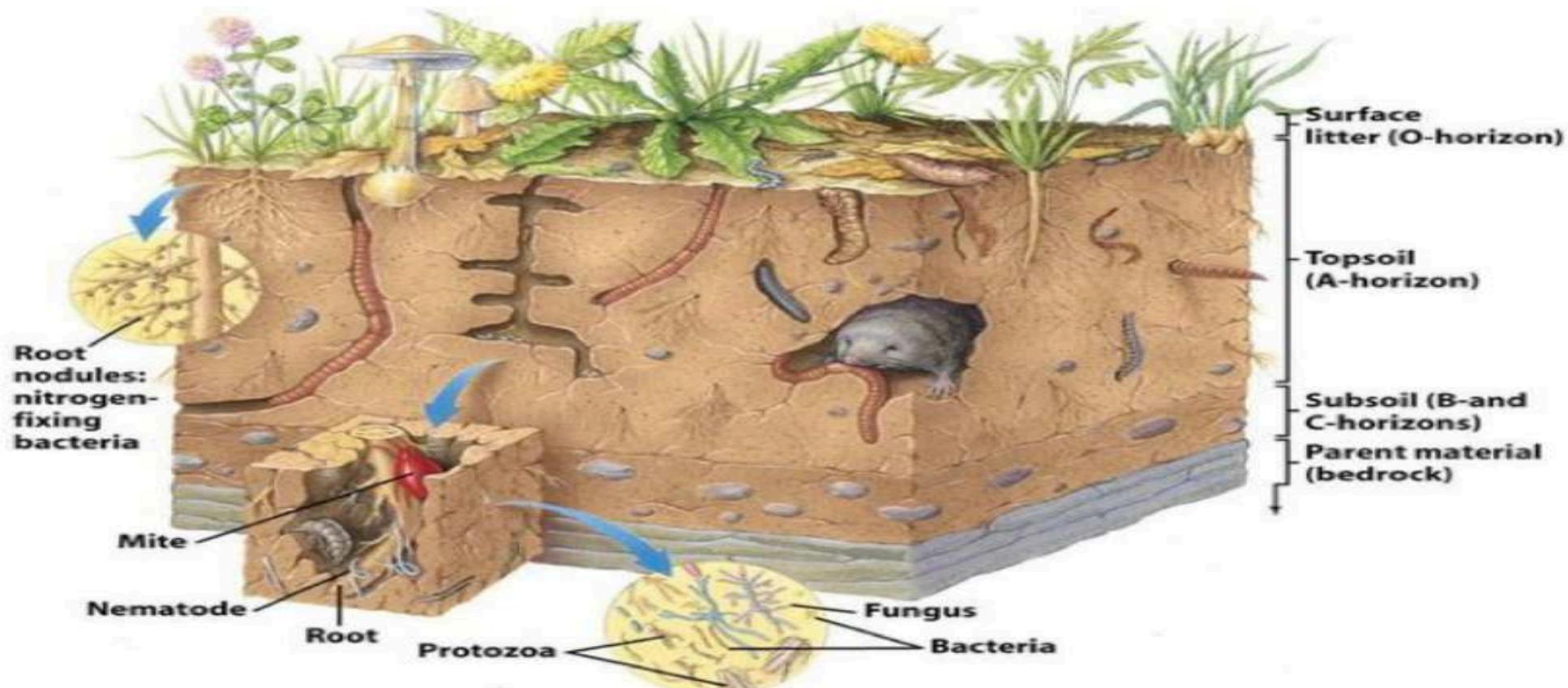
Phytoremediation

Vermiremediation



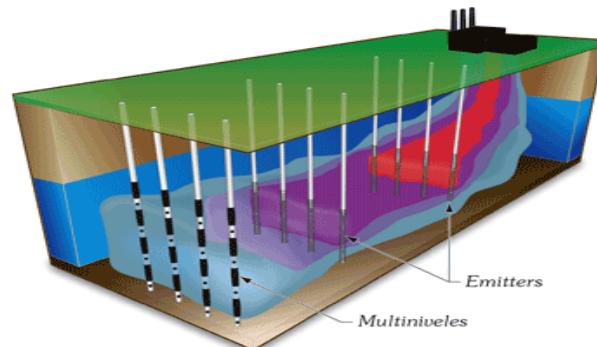
Use of biological processes and systems

- ★ for the reduction or elimination of pollutants
- ★ considering also the recovery of soil health



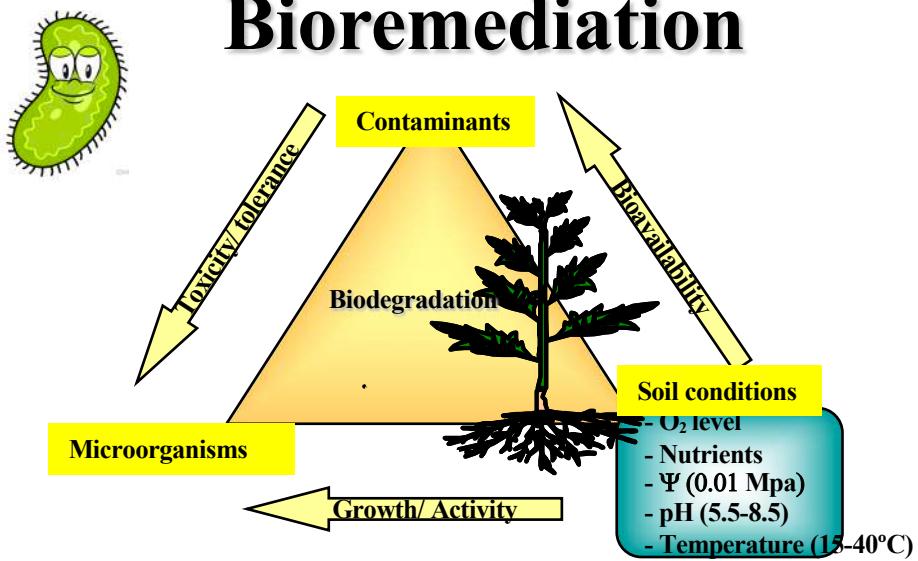
Monitoring

Natural Atenuation

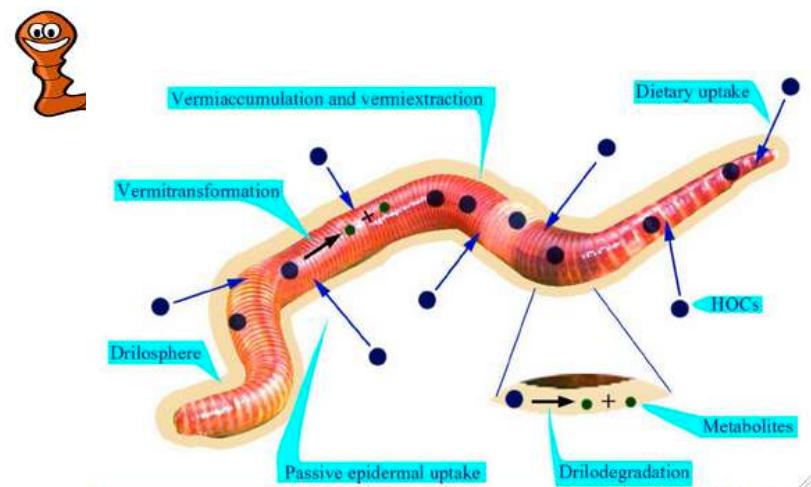


Intervention & Monitoring

Bioremediation

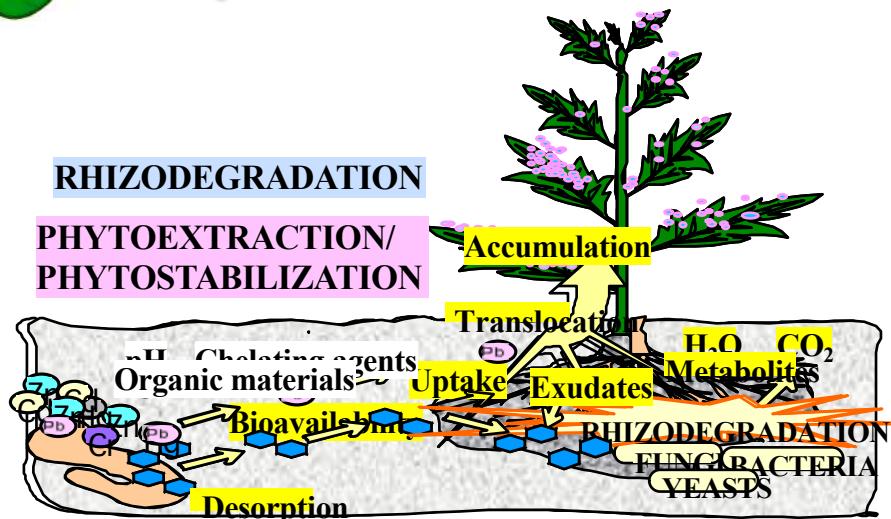


Vermiremediation



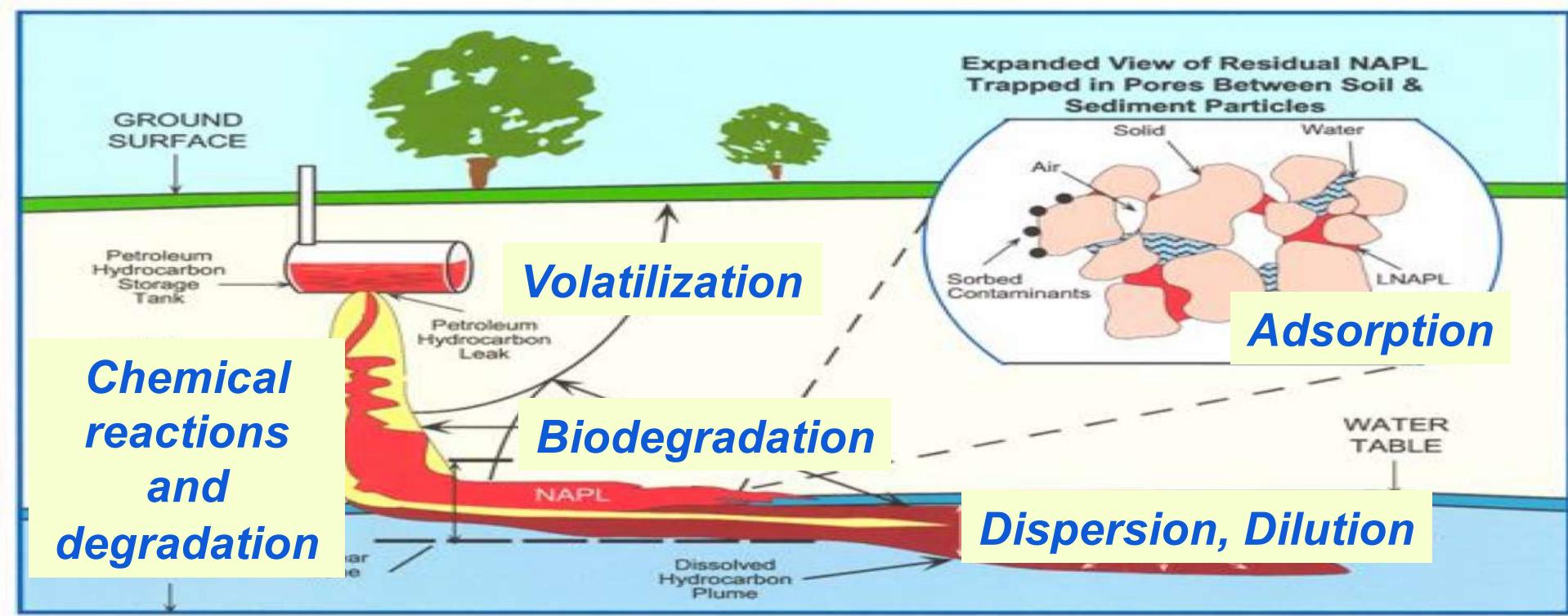
(Figure after Shi et al., 2019)

Phytoremediation



Natural Attenuation (only monitoring)

Natural processes are allowed to reduce contaminant concentrations to acceptable levels.



Pollutants: Petroleum hydrocarbons, solvents, pesticides, and other organic chemicals

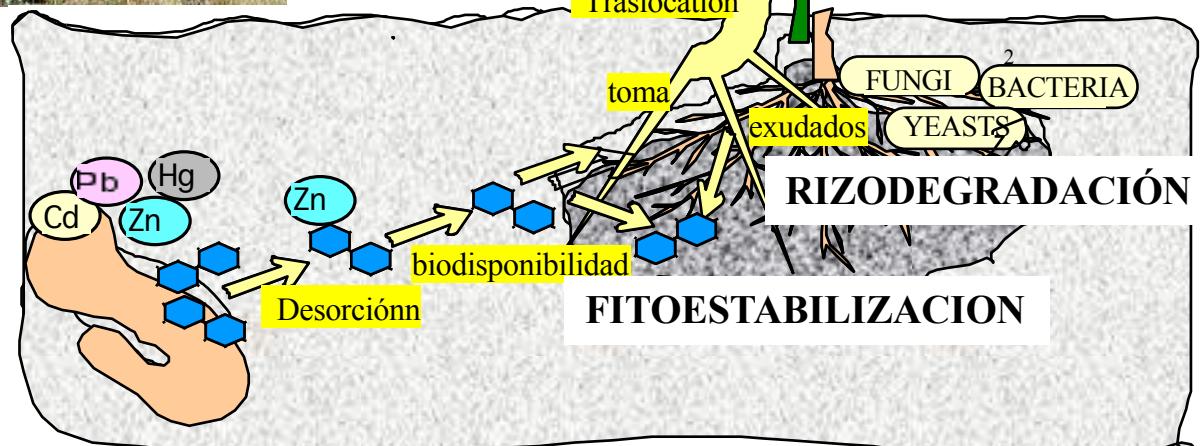
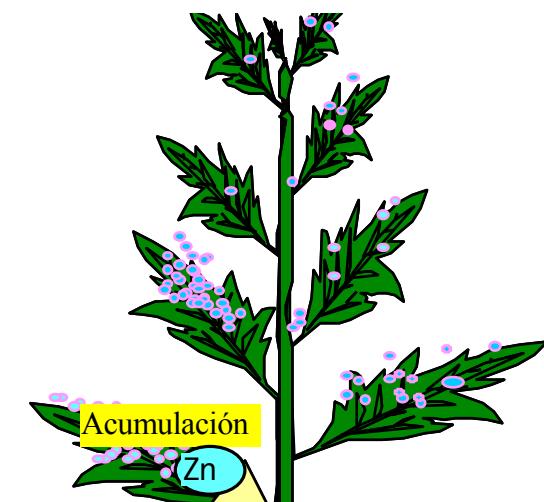
Duration: Long-term technology which may take several years.

¿Qué es la Fitorremediación?

Fitorremediación es un conjunto de tecnologías que utilizan PLANTAS y sus MICROORGANISMOS asociados para eliminar o inmovilizar los contaminantes de suelos, sedimentos, aire o agua mejorando la SALUD ambiental



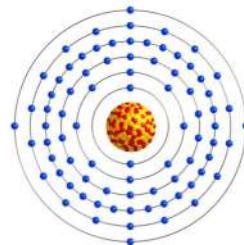
FITOEXTRACCIÓN



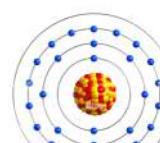
¿QUÉ TIPO DE CONTAMINANTES HAY?

INORGÁNICOS (METALES PESADOS)

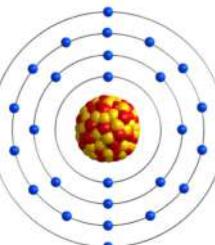
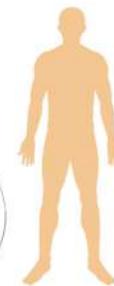
Pb



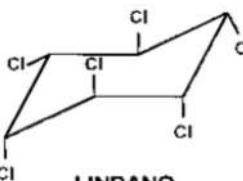
Cu



Fe

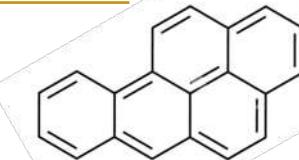


NO biodegradable
BAJO peso molecular
se parecen a nutrientes de plantas
absorción por la raíz
presente de forma natural en los suelos

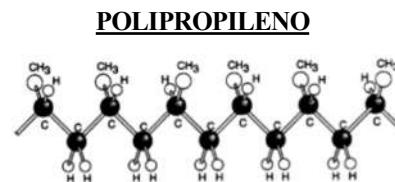


LINDANO

ORGÁNICOS



BENZO(a)PIRENO



POLIPROPILENO

biodegradable
ALTO peso molecular
NO se parecen a nutrientes de plantas
NO es facil la absorción por la raíz
NO presente de forma natural en los suelos

¿FITOTECNOLOGÍAS DE DESCONTAMINACIÓN?

EXTRACCION



FITOEXTRACCION

INERTIZACIÓN



FITOESTABILIZACION

INERTIZACIÓN



FITOESTABILIZACION

DEGRADACIÓN

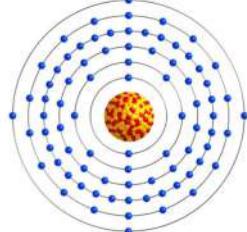


RIZODEGRADACION

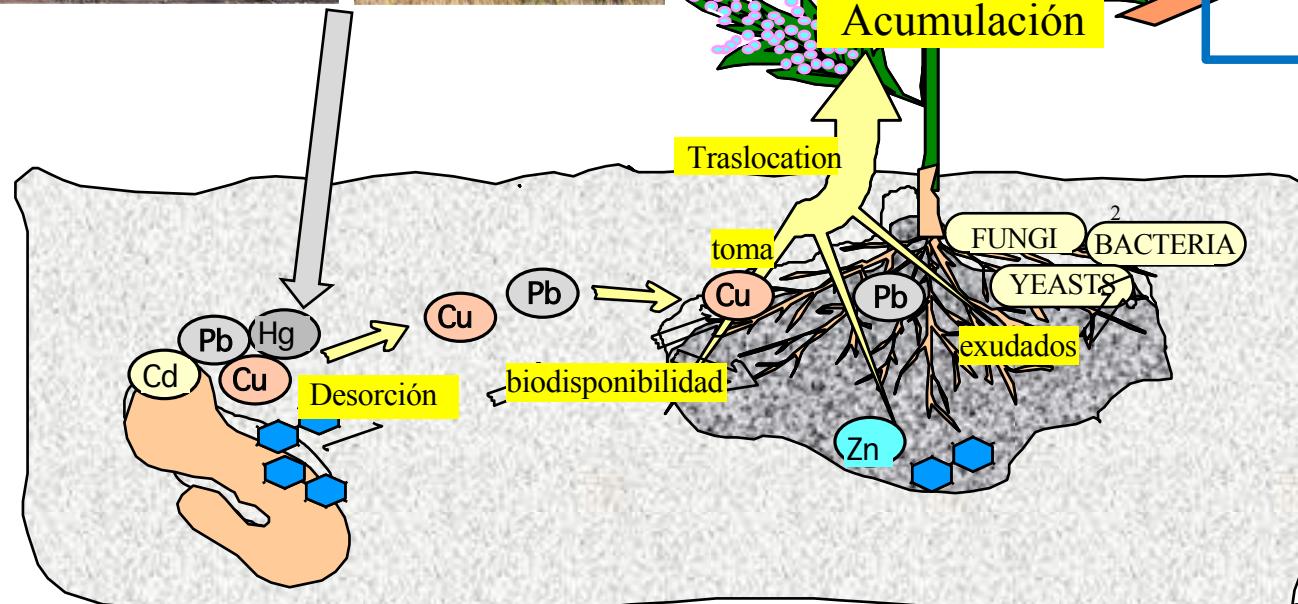
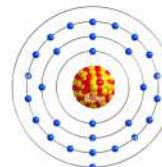
FITOEXTRACCIÓN

INORGÁNICOS

Pb



Cu



Cultivares agrícolas



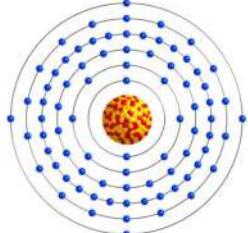
Hiperacumuladoras



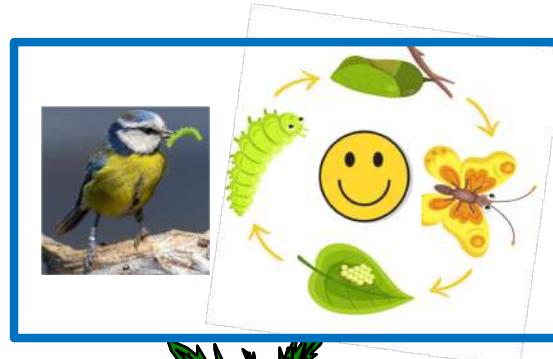
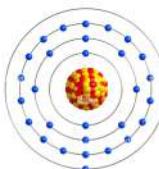
FITOESTABILIZACION

INORGÁNICOS

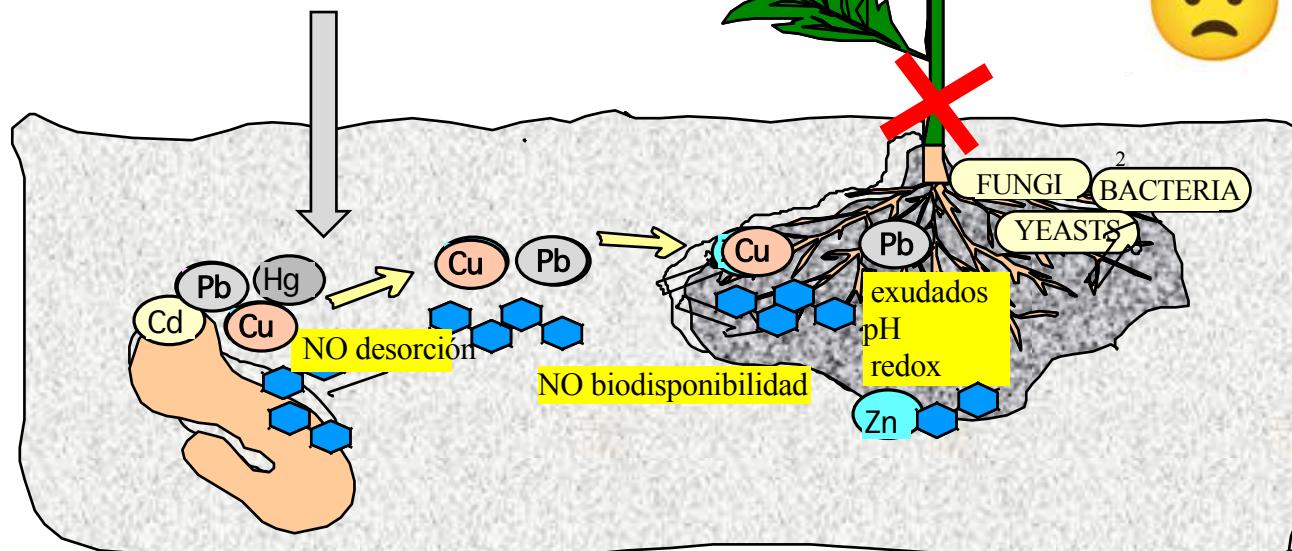
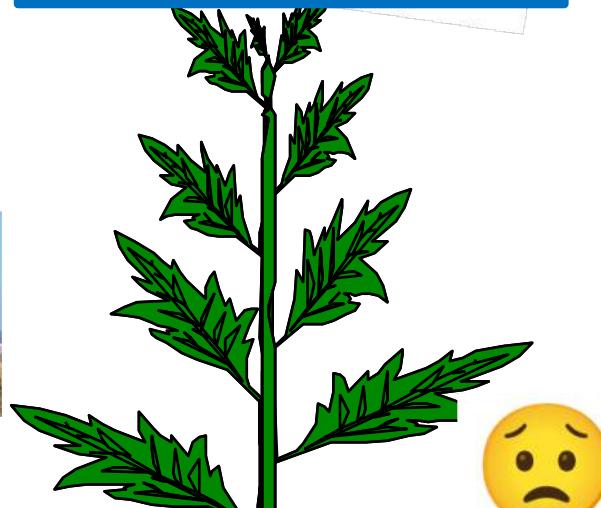
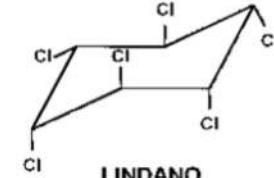
Pb



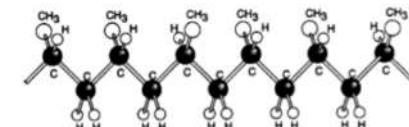
Cu



ORGÁNICOS



POLIPROPILENO



Exclusoras



LOS SUELOS MINEROS

¿EL MILAGRO DE SOBREVIVIR EN UN SUELO MINERO?

Festuca rubra

¿Un problema?

¿Un recurso ecológico?

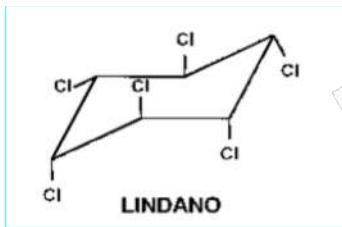
¿Una lección de co-cultivo?

Rumex acetosa

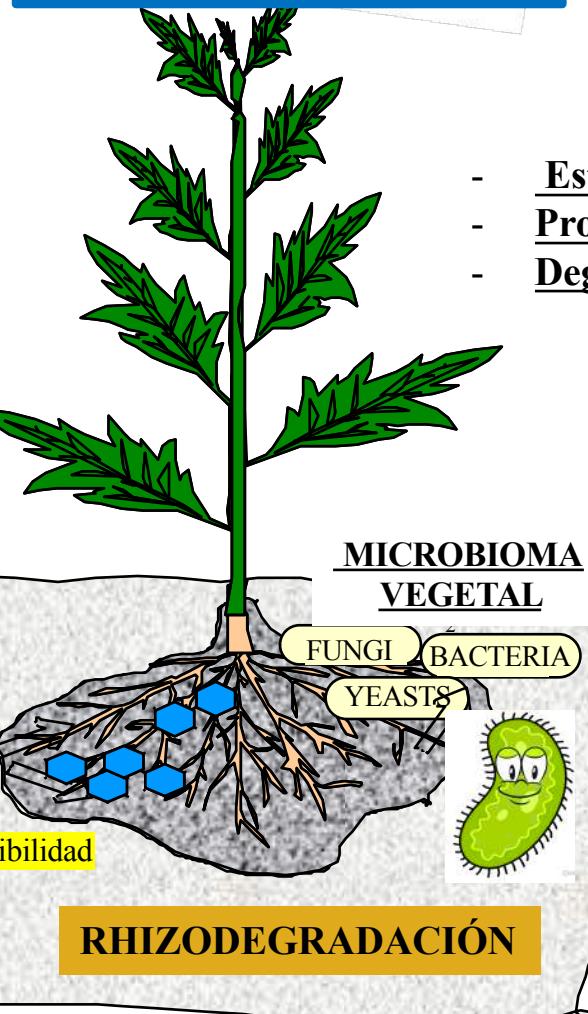
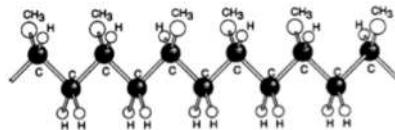
Noccaea caerulescens

RHIZODEGRADACIÓN

ORGÁNICOS

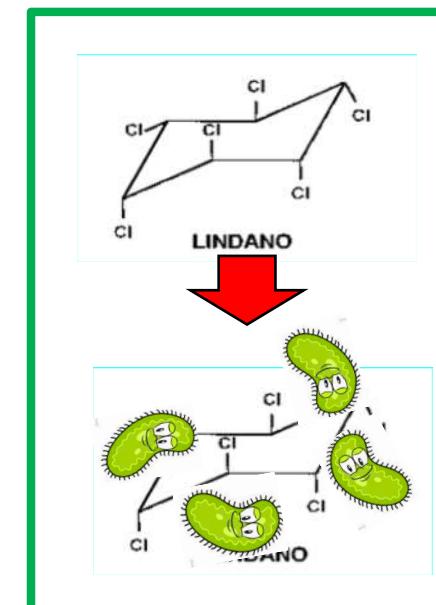


POLIPROPILENO



MICROBIOMA VEGETAL
la “joya de la corona” de una planta

- **Estimulan el crecimiento y salud de plantas**
- **Protegen a las plantas de enfermedades**
- **Degradan los contaminantes orgánicos**

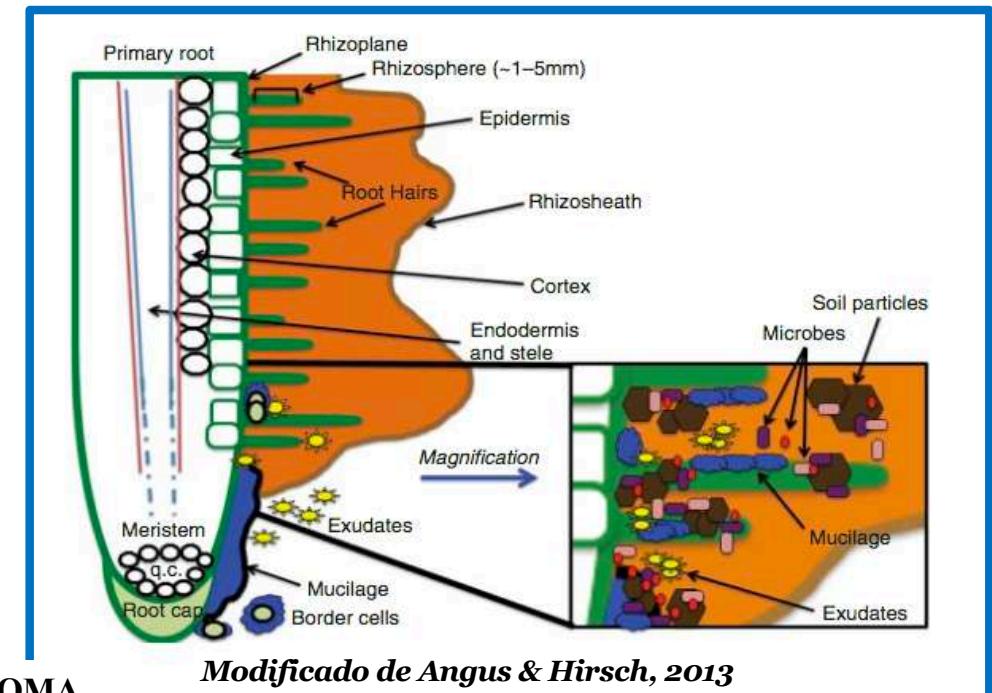
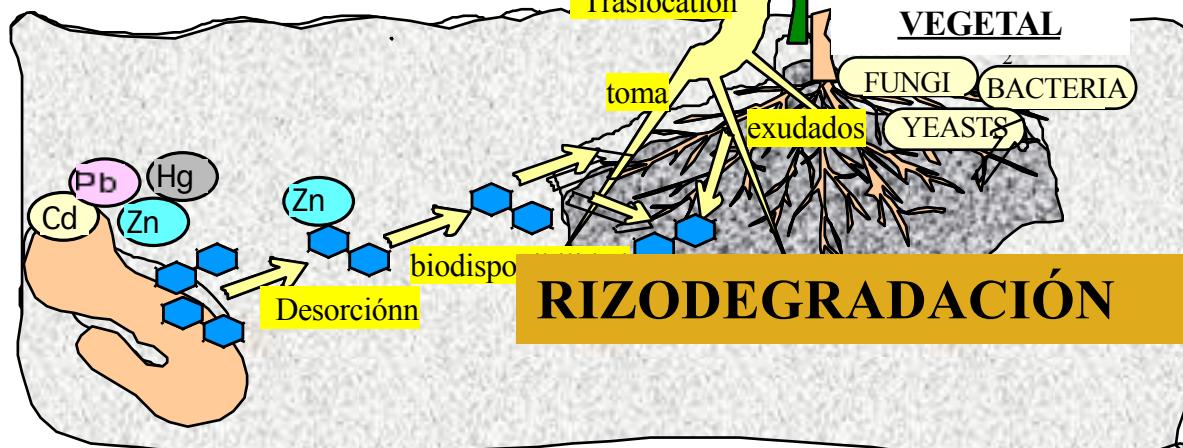
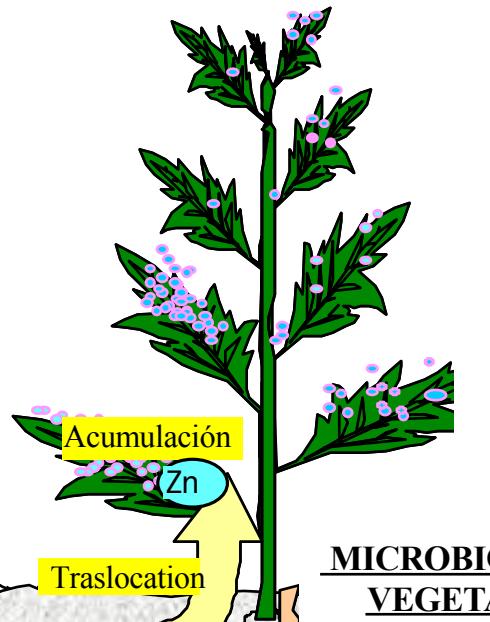
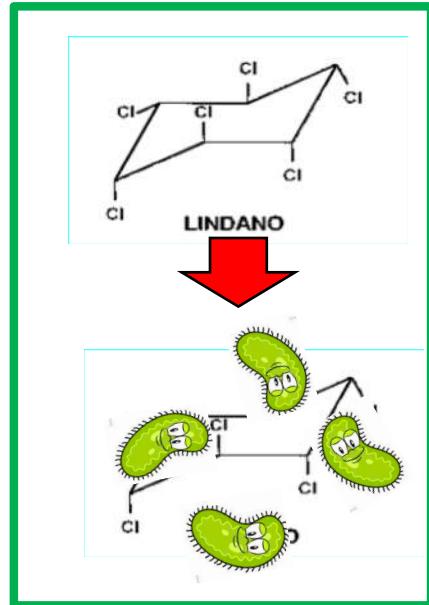


SUEÑOS

“COUCHING” PLANTAS Y MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS



Las plantas seducen a los microorganismos químicamente



Hoy por ti mañana por mí

Lo anterior puede ser cierto pero seamos realistas... tiene muchas dificultades

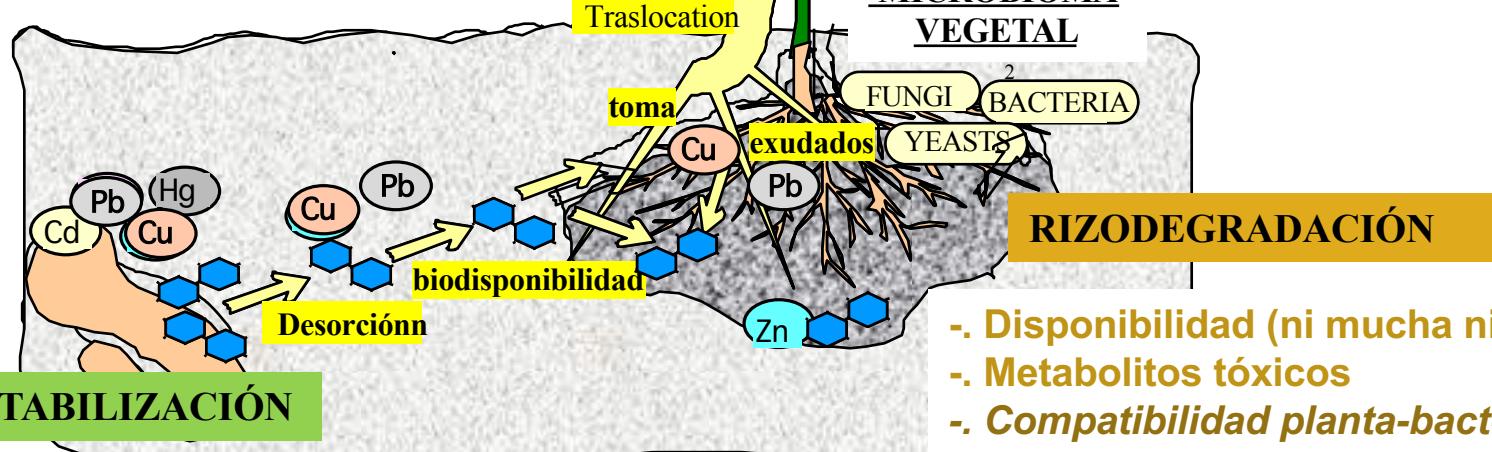
- Concentración de contaminantes (tolerancia, efectividad de plantas)
- Biodisponibilidad de contaminantes
- Condiciones climáticas
- Nutrientes en el suelo
- ¿Qué planta?
- ¿En qué lugar?

¿EFFECTIVIDAD?: baja
¿CUANTO TIEMPO?: mucho



FITOEXTRACCIÓN

- Disponibilidad (ni mucha ni poca)
- Biomasa vegetal vs concentración de contaminantes.
- Entrada de contaminantes en la cadena trófica.



- Disponibilidad (ni mucha ni poca)
- Metabolitos tóxicos
- Compatibilidad planta-bacteria

- No elimina los contaminantes
- Los contaminantes siempre podrán volver a ser disponibles v causar toxicidad
- Fitotecnología NO alineada con la legislación actual



De la FITORREMEDIACIÓN a la FITOGESTION

Empleo de plantas, microorganismos y otras estrategias para disminuir el impacto de los contaminantes en el ambiente maximizando los beneficios ECOLOGICOS, ECONÓMICOS Y SOCIALES minimizando los riesgos para la salud humana y la de los ecosistemas

Jundiz (Vitoria-Gasteiz)



Jundiz (Vitoria-Gasteiz)



AREA AMBIENTAL
FITORREMEDIACIÓN

FITOGESTION

AREA
ECONÓMICA

AREA
SOCIAL



**Espacios/suelos degradados
Suelo sano vs suelo enfermo**

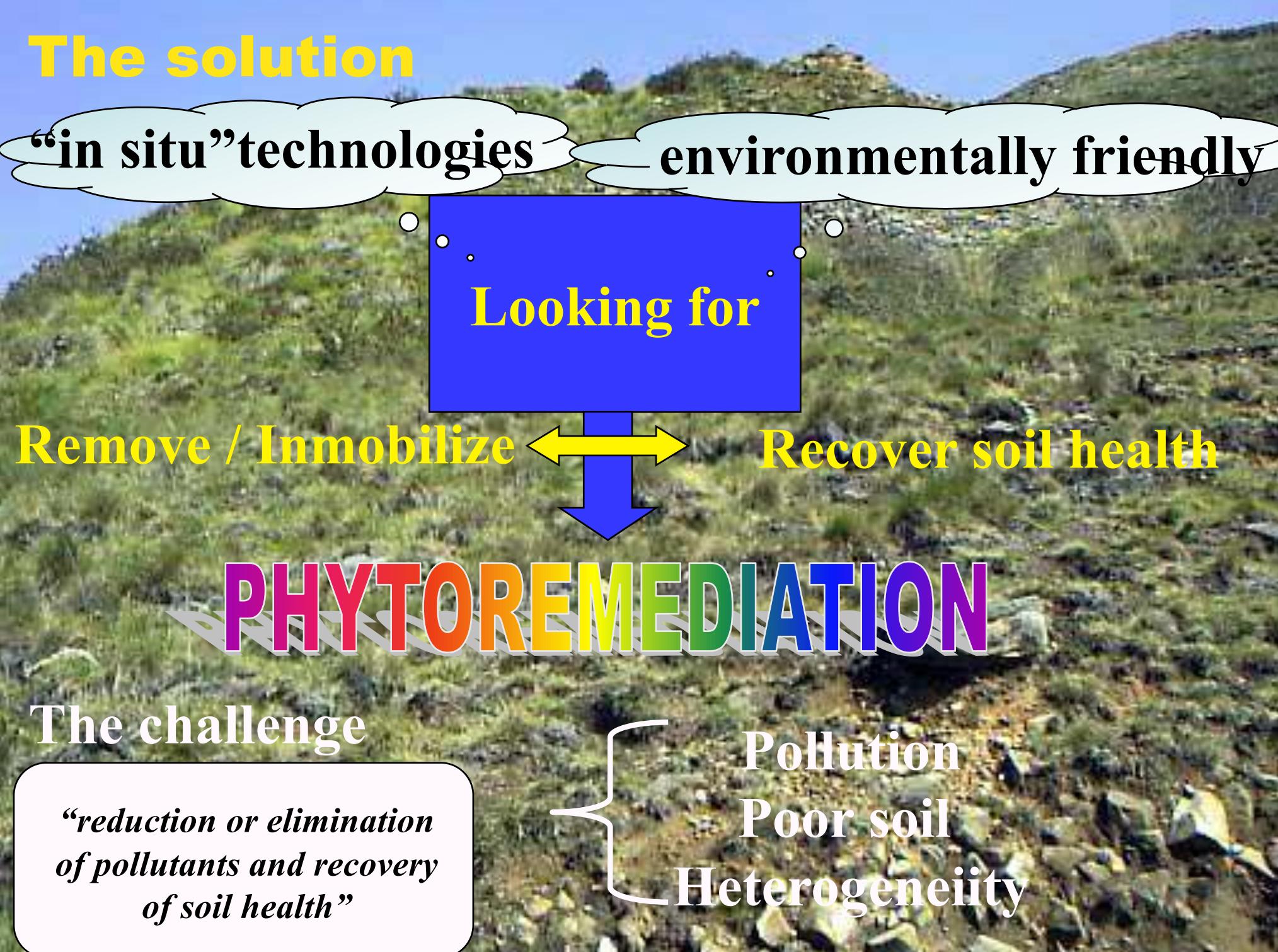
Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

**Fitotecnologías de recuperación de suelos contaminados
Fitorremediación/Fitogestión**

**Caso de estudio: Recuperación de un suelo industrial en el
cinturon verde de Vitoria-Gasteiz**

Un caso real: ¿Podemos sanar un suelo contaminado?... REALIDADES





The solution

“in situ” technologies

environmentally friendly

Looking for

Remove / Inmobilize

Recover soil health

PHYTOREMEDIATION

The challenge

*“reduction or elimination
of pollutants and recovery
of soil health”*

Pollution
Poor soil
Heterogeneity

REALIDADES



REALIDADES



REALIDADES

2016- Acondicionamiento y perfilado del suelo

2016



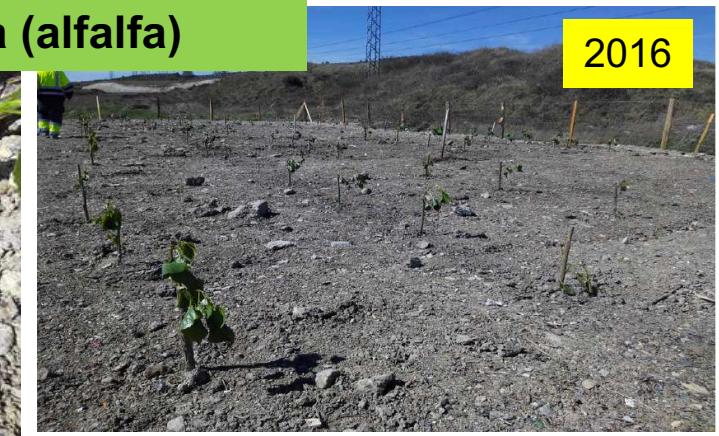
2016- Enmienda orgánica

2016



2016

Trasplante (chopos) y siembra (alfalfa)



**Monitorización
2017, 2018, - 2022**



REALIDADES

TRATAMIENTO

Estrategias de fitogestión

Suelo pobre

Abonado



ENMIENDA



Biofertilización



INOCULO
MICORRIZAS



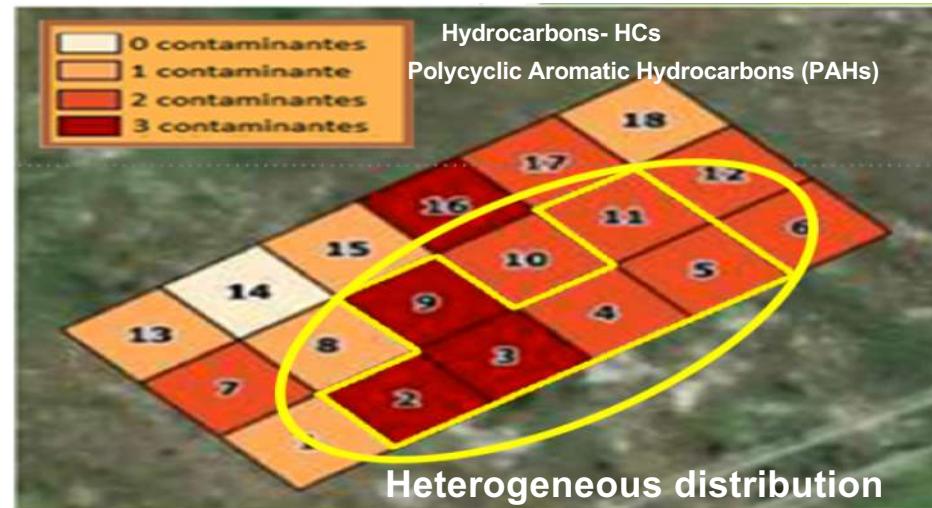
Biodiversidad vegetal



poplar
alfalfa



ARIÑEZ



6 Estrategias

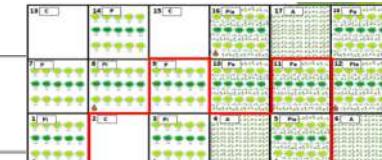
- ▶v: NO INTERVENCIÓN
- ▶a: ALFALFA
- ▶P: CHOPO
- ▶Pa: CHOPO + ALFALFA
- ▶Pi: CHOPO + INOCULUM
- ▶Pia: CHOPO + ALFALFA + INOCULUM



**Mycorrhizal-Assisted
Phytoremediation and Intercropping
Strategies Improved the Health of
Contaminated Soil in a Peri-Urban
Area**

María Teresa Gómez-Sagasti^{1*}, Carlos Garbiáu², Jólen Uriel³, Pátima Miguez⁴,
Uma Álvarez⁵, Antonio Hernández², Juan Vilela⁶, Itziar Alkorta⁷ and José M. Beccari⁸

OPEN ACCESS



ARIÑEZ SITE 2017-2018

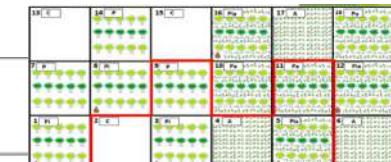
TABLE 2 | Concentration of soil organic contaminants.

Contaminant (mg kg ⁻¹)	Treatment							v
	Sampling time	a	Pa	Pia	Pv	Piv		
		LIMITS						
TPH (C10–C40)	t ₀	50 mg/Kg	220.0	130.0	85.0	70.0	130.0	90.0
	t _f		108.3	173.3	83.3	146.7	118.3	105.0
Total PCBs	t ₀	0.01 mg/Kg	17.0	8.4	9.0	22.0	15.0	9.0
	t _f		16.7	8.9	18.7	15.0	13.7	7.4
Benzo[a]pyrene	t ₀	0.02 mg/Kg	0.06	0.03	0.05	0.09	0.04	0.02
	t _f		0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04
Benzo[b]fluoranthene	t ₀	0.2 mg/Kg	0.09	0.05	0.08	0.14	0.06	0.03
	t _f		0.07	0.06	0.1	0.08	0.07	0.07

REALIDADES

ARIÑEZ SITE 2017-2023-

TABLE 2 | Concentration of soil organic contaminants.

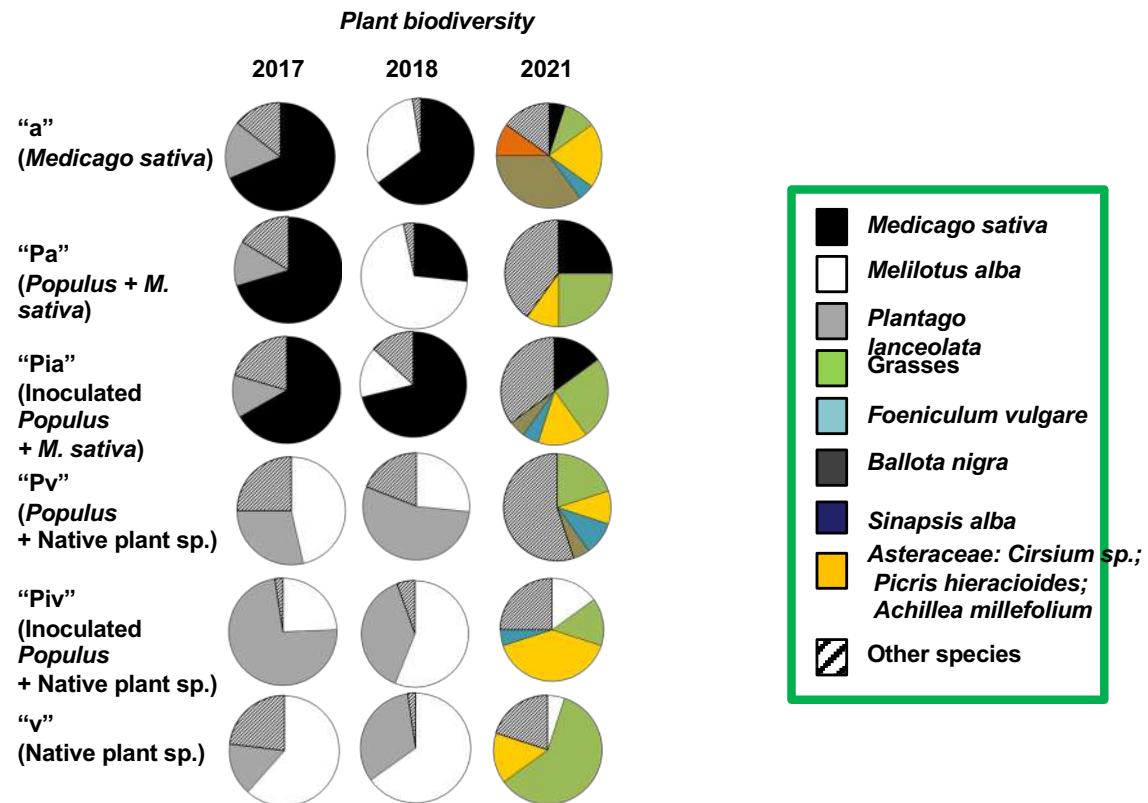
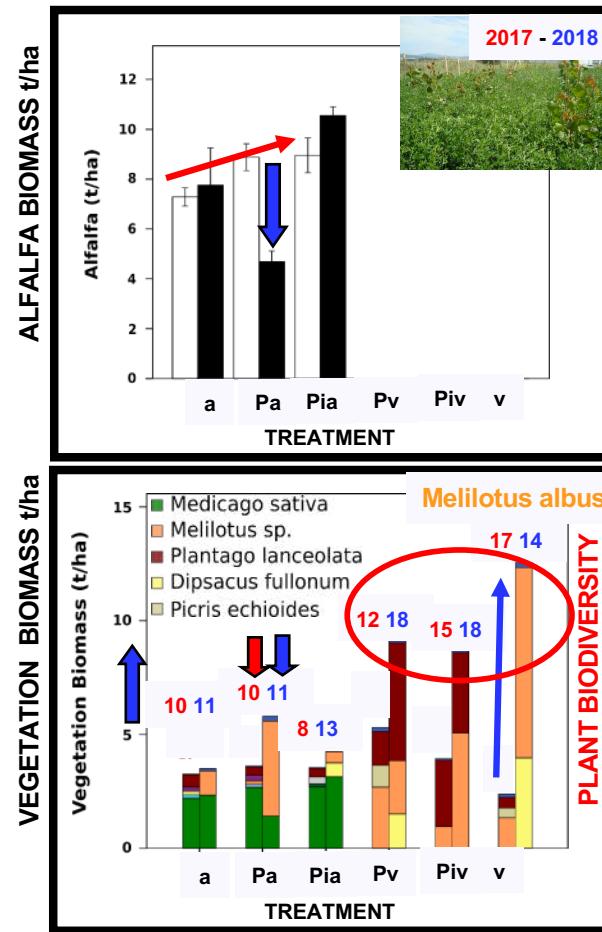


Contaminant (mg kg ⁻¹)	Treatment						v	
	Sampling time	a	Pa	Pia	Pv	Piv		
		LIMITS						
TPH (C10-C40)	50 mg/Kg t ₀	220.0	130.0	85.0	70.0	130.0	90.0	2017
	t _f	71	42	27	27	25	25	2023
Total PCBs	0.01 mg/Kg t ₀	17.0	8.4	9.0	22.0	15.0	9.0	2017
	t _f	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2023
Benzo[a]pyrene	0.02 mg/Kg t ₀	0.06	0.03	0.05	0.09	0.04	0.02	2017
	t _f	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	2023
Benzo[b]fluoranthene	0.2 mg/Kg t ₀	0.09	0.05	0.08	0.14	0.06	0.03	2017
	t _f	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2023

FREE of organic pollutants 6 years after intervention!

REALIDADES

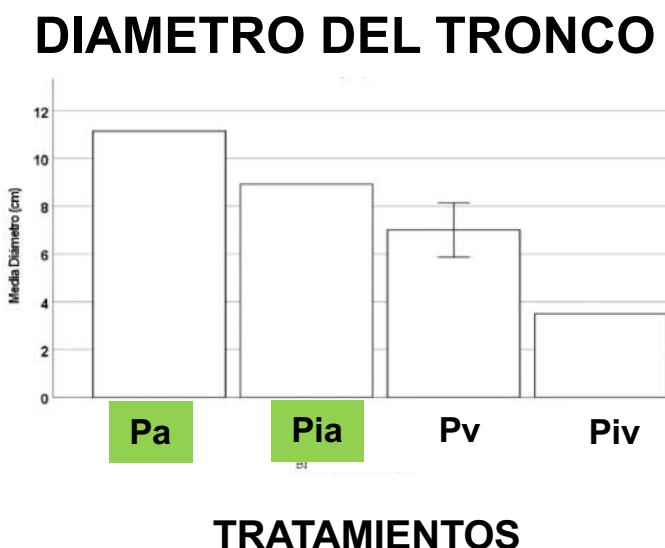
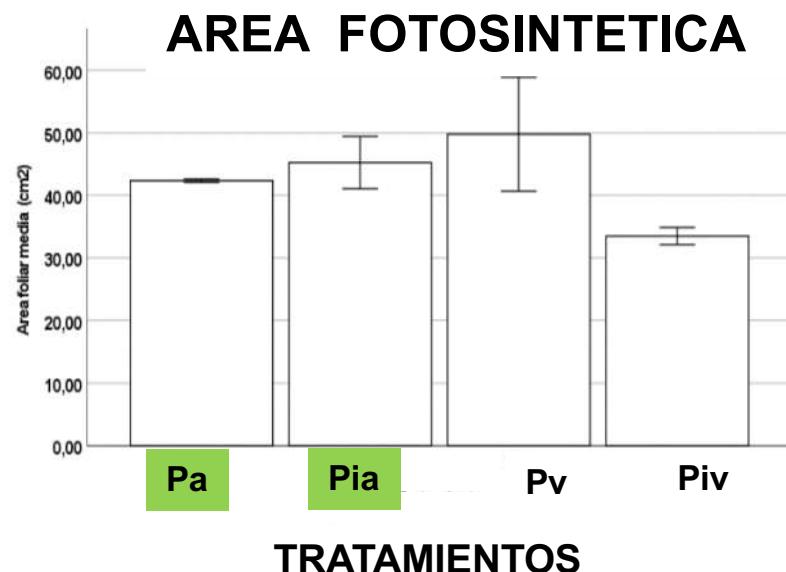
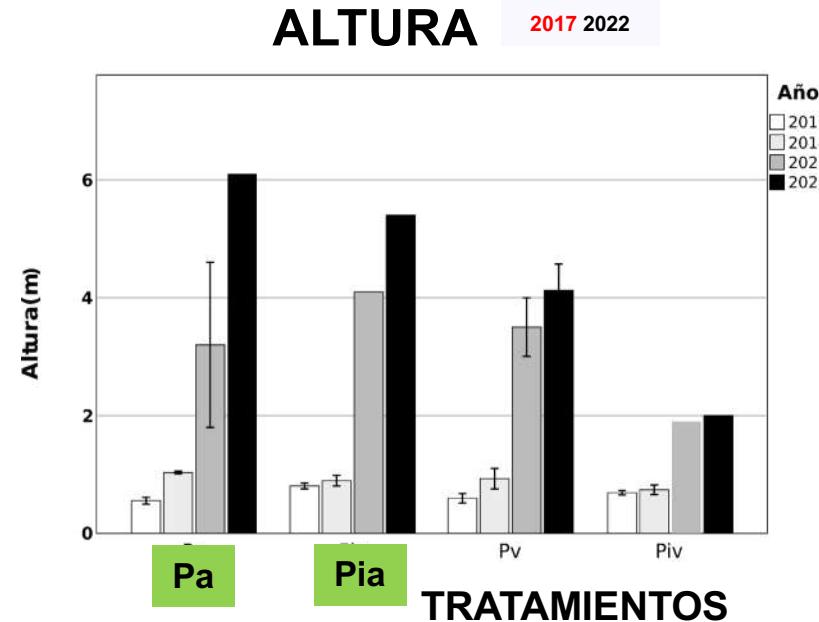
BIOMASA DE LA VEGETACIÓN Y BIODIVERSIDAD



La BIODIVERSIDAD VEGETAL se incrementa con el tiempo...
colonizado por especies espontáneas (gramíneas y llantén)

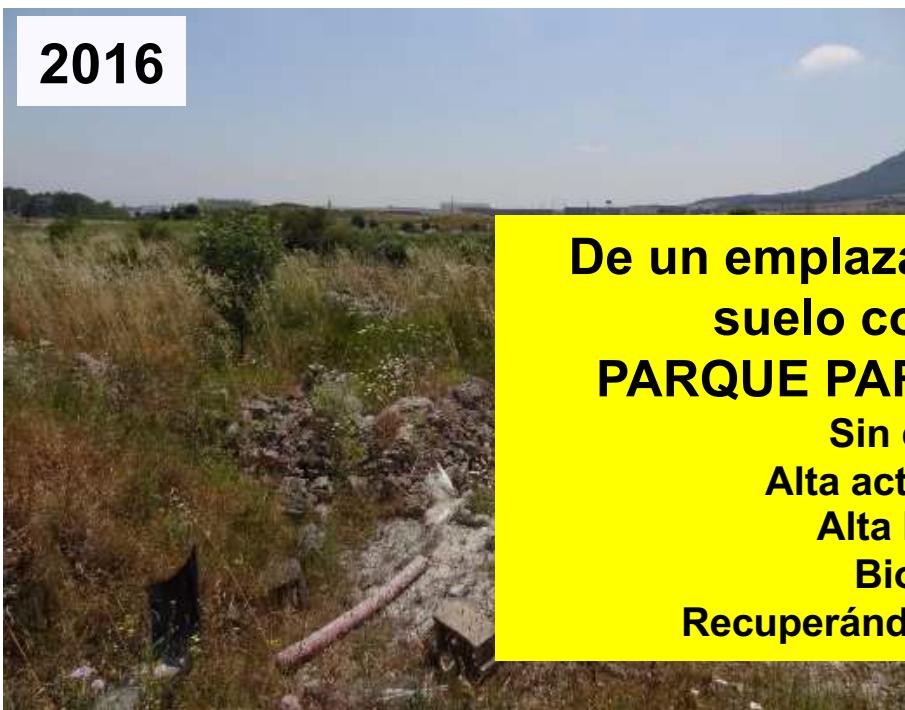
REALIDADES

PARAMETROS BIOMETRICOS DE CHOPOS 2017, 2018, 2021, 2022



REALIDADES

2016



**De un emplazamiento industrial con
suelo contaminado a un
PARQUE PARA USO CIUDADANO**

**Sin contaminantes
Alta actividad microbiana
Alta biodiversidad y
Biomasa vegetal
Recuperándose la salud del suelo**

2022



2018



El co-cultivo de alfalfa-chopo beneficia el establecimiento de los árboles a largo plazo

Mirando al futuro...

Crear alianzas de colaboración entre instituciones y expertos

Combinar estrategias físico-químicas y biológicas

Superar el problema del tiempo y/o baja eficiencia con tecnologías de
FITOGESTION

FITOGESTION:

Combina los
beneficios

AMBIENTALES de la
fitorremediación con
los beneficios

ECONÓMICOS y los
beneficios

SOCIALES

asociados a la
recuperación de las
áreas contaminadas



BENEFICIOS AMBIENTALES:

descontaminación del suelos y
del agua, menor erosión, ciclos
de nutrientes, secuestro de C,
mitigación de cambio climático,
etc

BENEFICIOS ECONÓMICOS:

Biodiesel, fibras, cosméticos,
bienes industriales, catálisis
verde, etc.

BENEFICIOS SOCIALES:

Recuperación del paisaje,
nuevos usos, regeneración
social, etc.

Tenemos que poner a trabajar (PRODUCIR) a nuestros suelos contaminados....



Mensaje para casa...

Las soluciones basadas en la naturaleza como la fitorremediación/fitogestión deben convertirse en herramientas sostenibles comunes para sanar nuestros suelos contaminados.

Puede que el proceso de eliminación de contaminantes sea lento, pero mejorará de forma sostenible la salud del suelo y servicios de los ecosistemas.