

The background of the slide is a reproduction of the painting 'Old Town' by Wassily Kandinsky, dated 1902. The painting is an abstract work characterized by vibrant, clashing colors and bold, expressive brushstrokes. It depicts a town with several tall, thin towers and buildings, set against a backdrop of a bright, cloudy sky. The foreground is filled with a mix of green, yellow, and brown tones, suggesting a landscape or a field. The overall style is non-representational, focusing on the emotional and spiritual impact of color and form.

Medio Ambiente, Sostenibilidad y ODS

Soluciones basadas en la naturaleza para la remediación de suelos

Dr. Txema Becerril
(josemaria.becerril@ehu.eus)
Dpto. Biología Vegetal y Ecología,
UPV_EHU

Espacios/suelos degradados

Suelo sano vs suelo enfermo

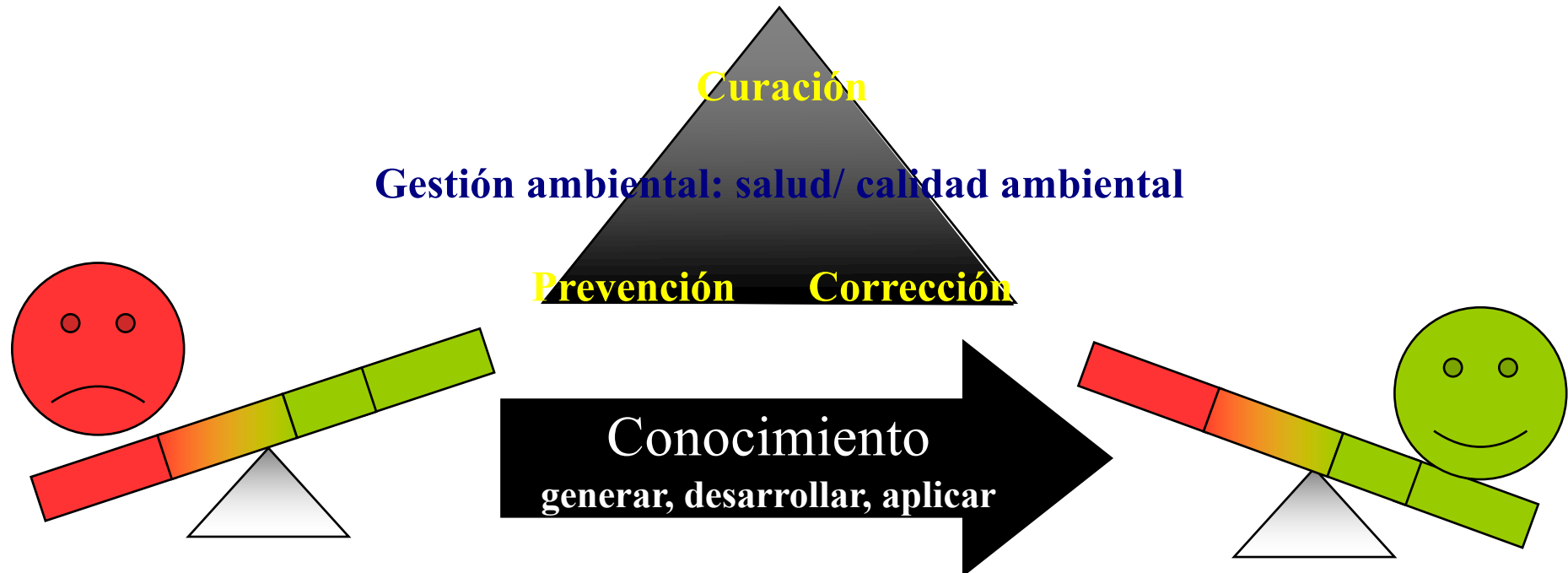
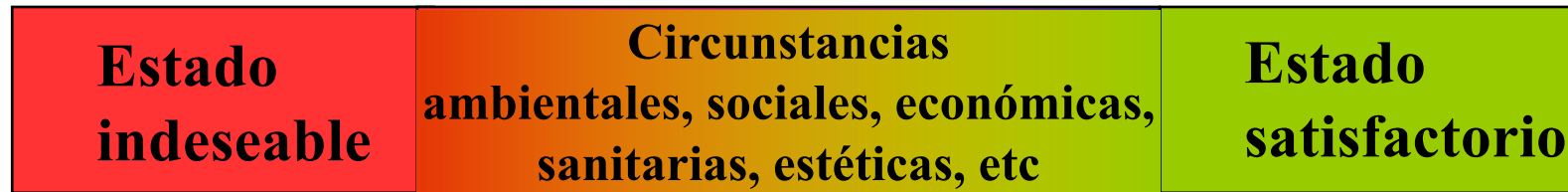
Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

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



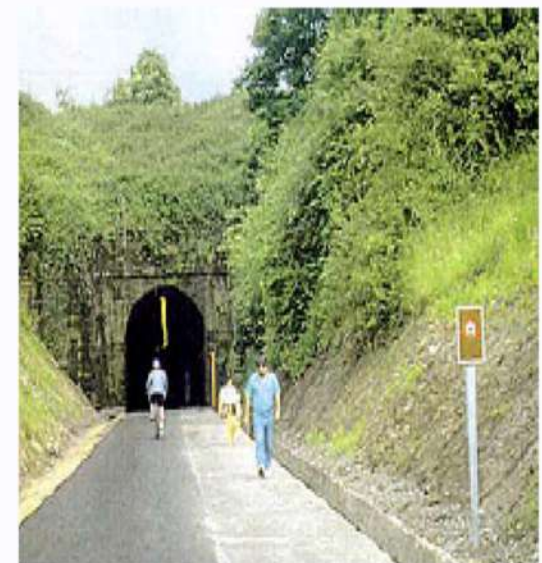
INVESTIGAR para CONOCER... CONOCER para GESTIONAR

Espacios en declive o abandonados

Actividad: vías pecuarias y férreas, núcleos 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

Alteración 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

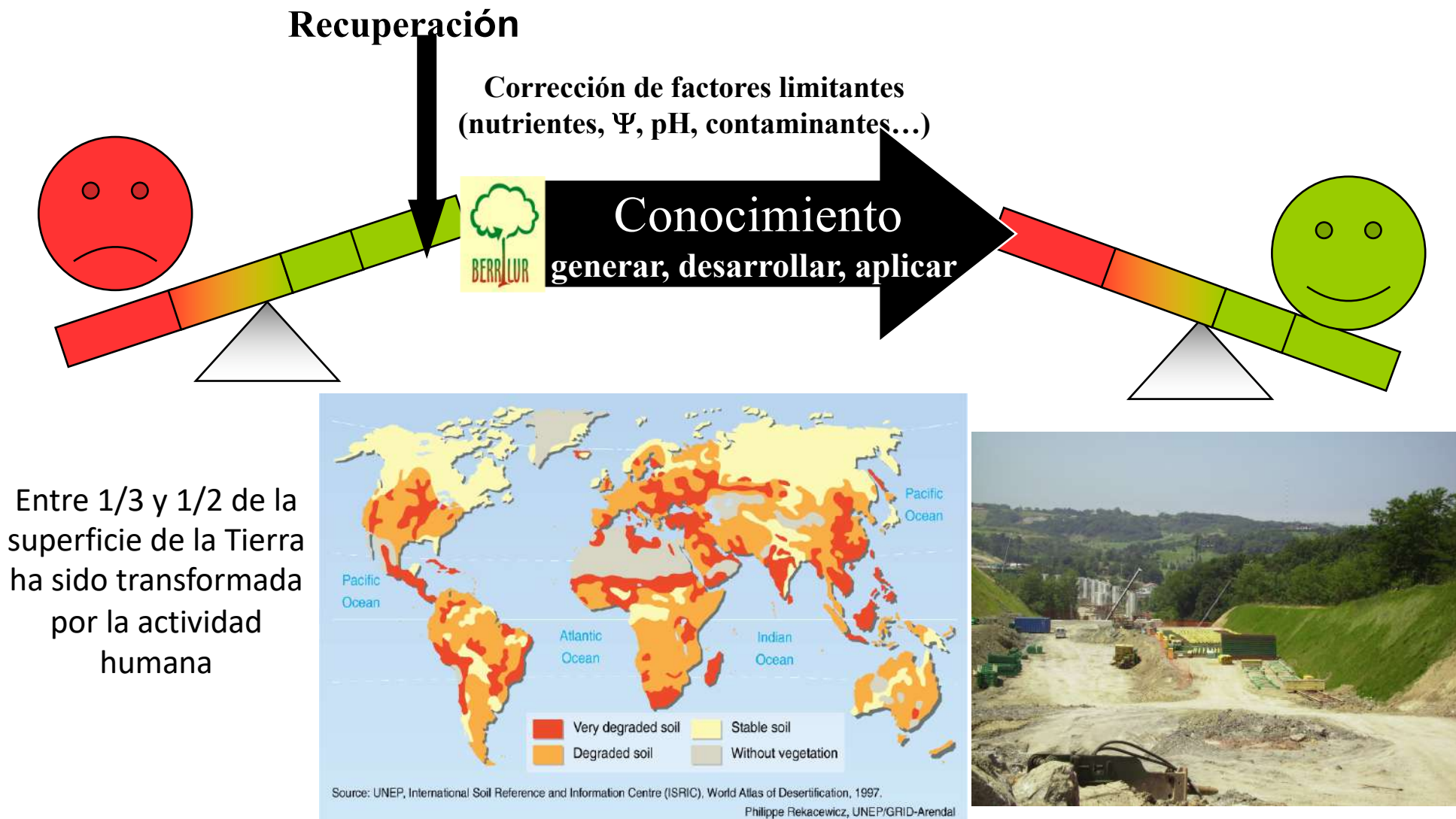


Suelos contaminados por minería

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



Espacios/suelos degradados

Suelo sano vs suelo enfermo

Suelos contaminados: ¿Cómo?, ¿Cuándo?

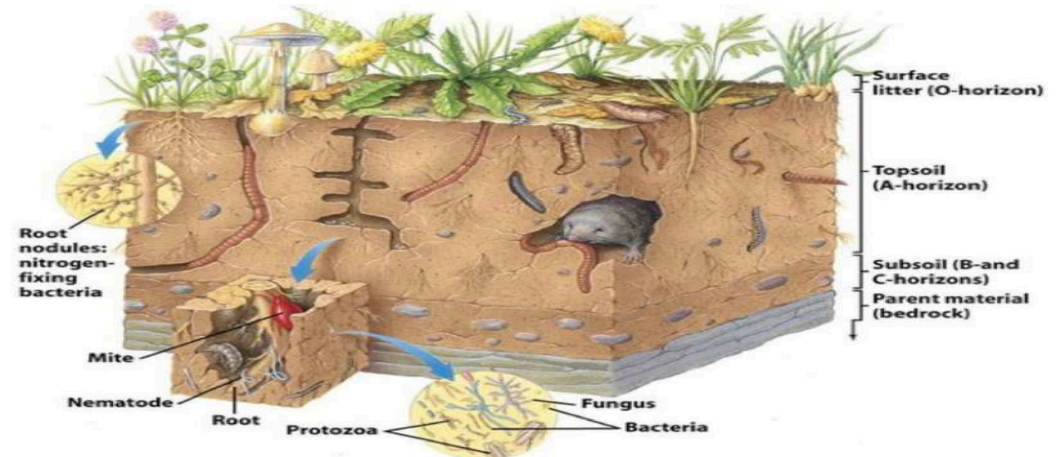
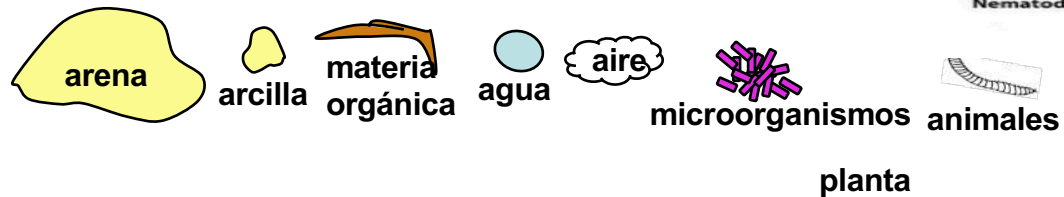
Fitotecnologías de recuperación de suelos contaminados

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

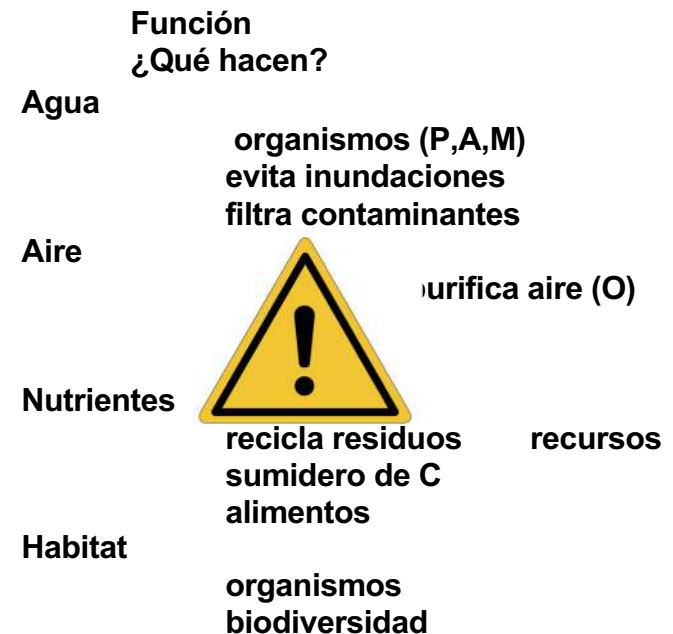
-¿Qué es un **suelo sano** y un **suelo enfermo**?

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



¿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



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.

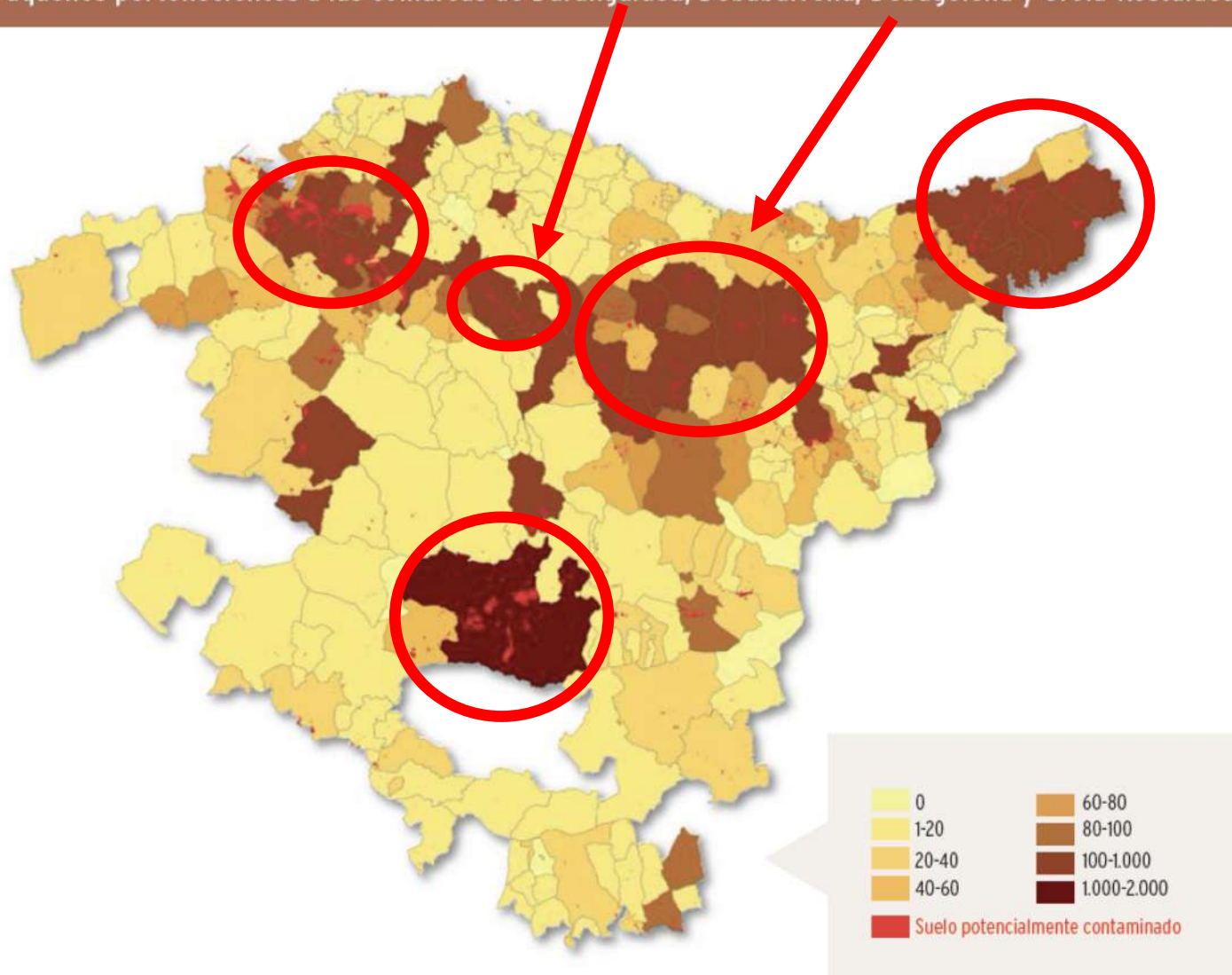
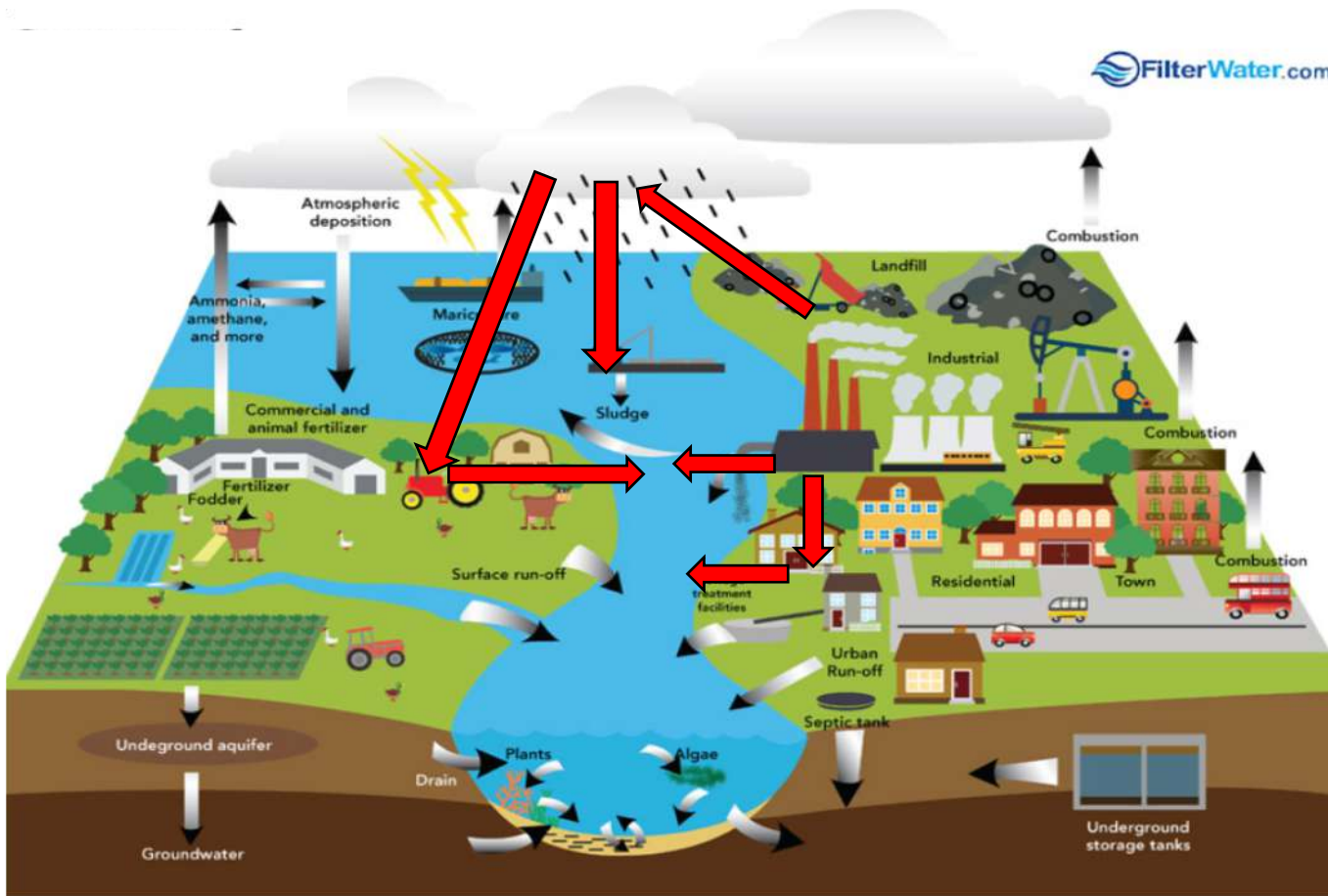


Fig1 **Perfil ambiental de Euskadi. Suelos (Ihobe, 2020)**



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 necesita soluciones urgentes y sostenibles

Las amenazas a nuestros Suelos

**Pérdida
biodiversidad**

Salinización

**Escasez
de agua** **Solución:
gestión sostenible
de los suelos**

Compactación

**Inseguridad
alimentaria**

Sellado

**Cambio
climático**

Contaminación

**Pobreza
Pérdida
salud
Migración**

Acidificación

Erosión

**Pérdida
Materia
orgánica**

**Reducción
Servicios
ecosistémicos**

**Impulsores de la
degradación
del suelo**

**Tipos de
degradación
del suelo**

**Consecuencias de
la degradación
del suelo**

- Analizar y evaluar la condición del suelo
- Aumentar el contenido de materia orgánica del suelo
- Mantener la superficie del suelo cubierta
- Usar los nutrientes sabiamente
- Labranza mínima
- Rotación de cultivos
- Reducir la erosión
- Eliminación adecuada de residuos
- Tratamiento de aguas residuales
- Implementar la planificación del uso de la tierra
- Detener la degradación del suelo
- Restaurar/rehabilitar suelos degradados



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Con el apoyo de



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



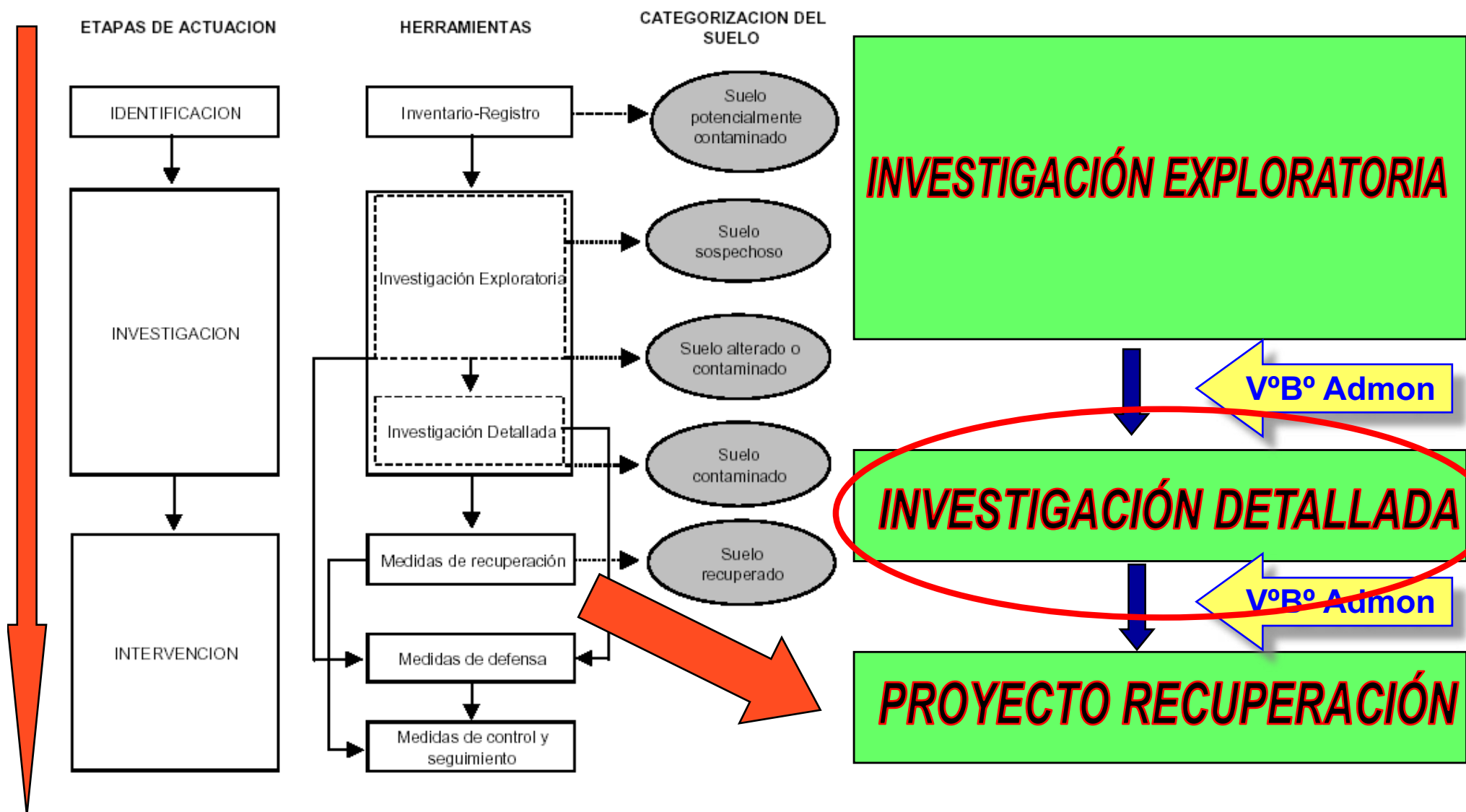
Ley 4/2015; Decreto 209/2019 (desarrollo de ley)

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

[illegible]

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

Parámetro	Unidad	NGR	VIE-B	2825-PDM30-S-M1
benzo(a)antraceno	mg/kgms	---	0,2	0,20
benzo(b)fluoranteno	mg/kgms	---	0,2	0,27
benzo(a)pireno	mg/kgms	---	0,02	0,22
dibenzo(a,h) antraceno	mg/kgms	---	0,03	0,05
dieldrino	µg/kgms	---	10	21
hidrocarburos totales C10-C40	mg/kgms	50	---	100

Calidad del Suelo

Valores Indicativos de Evaluación

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

Niveles de Riesgo

VIE-

VIE-B

VIE-

Sin

Aceptable según uso

Inaceptable

23 ppm

Area juego infantil= 30 ppm

35 ppm

Huerta = 30 ppm

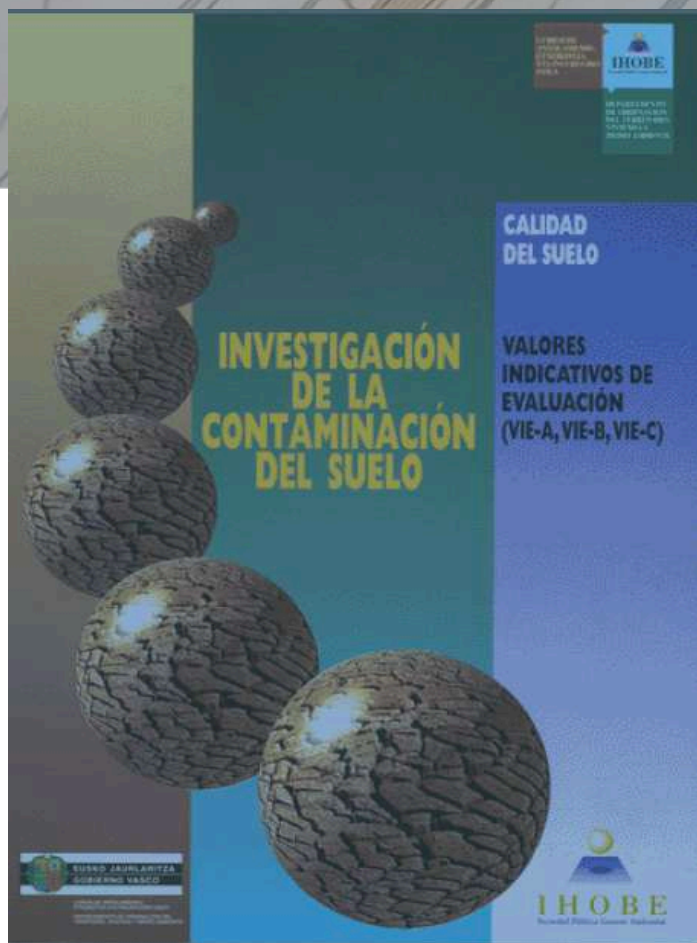
Residencial = 30 ppm

Parque publico = 30 ppm

Industrial = 200 ppm

Arsénico

As



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](#) 

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en

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.

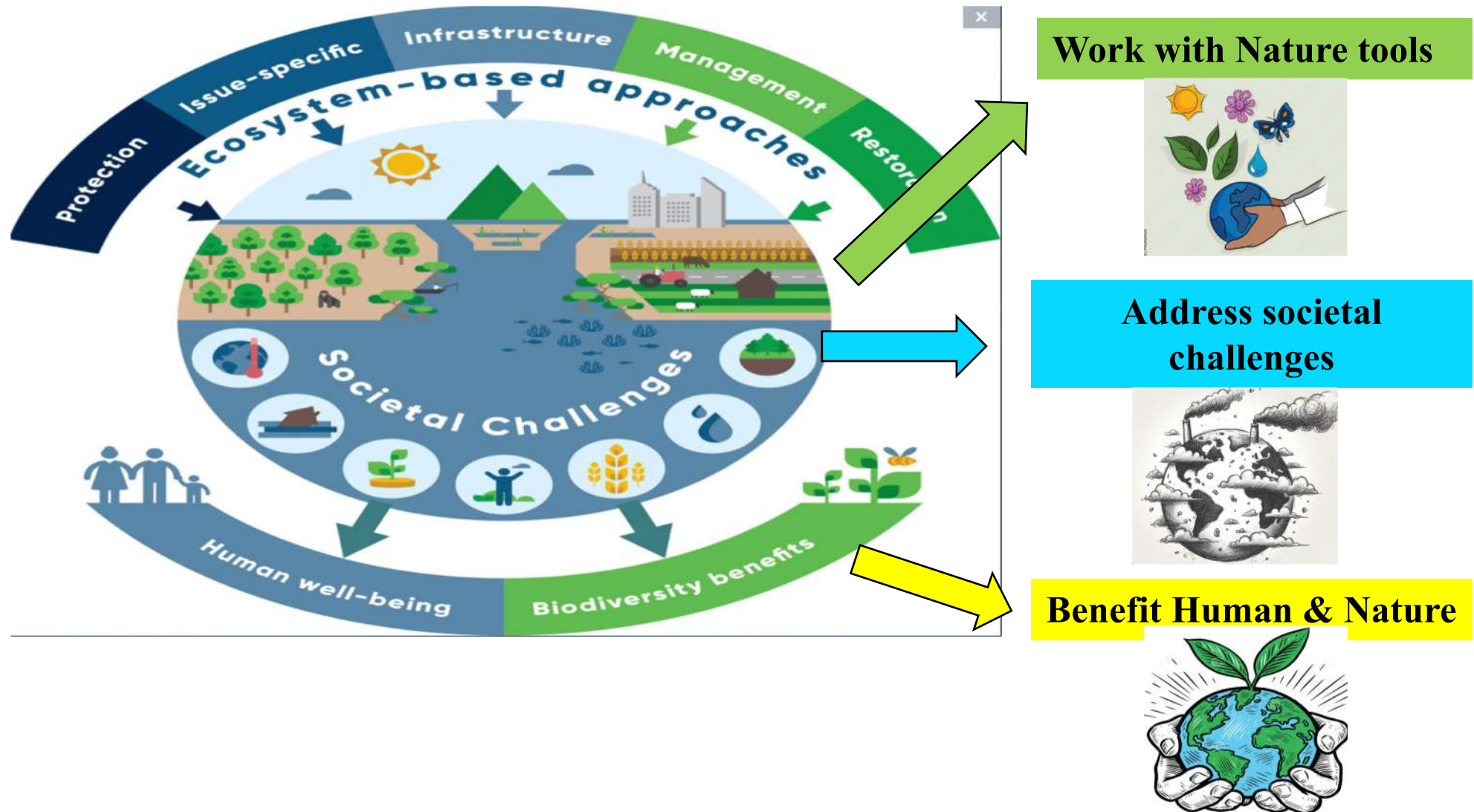
DEFINITION OF Nature-based Solutions by European Commission

“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.**”

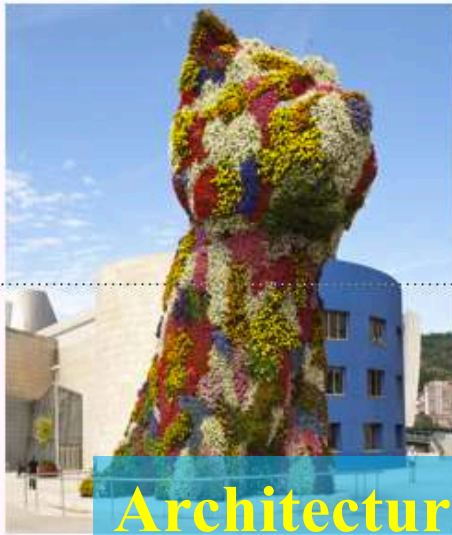
Nature-based solutions must therefore benefit biodiversity and support the delivery of a range of ecosystem services.

NATURE-BASED SOLUTIONS (NbS)

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



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



**Architectural
aesthetic**



Vertical gardens



Landscape restoration



Artificial wetlands



Green roofs



Soil remediation

SOIL REMEDIATION TECHNOLOGIES

TRADITIONAL PHYSICO-CHEMICAL -technologies

BIO-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

Biological Treatments

Bioremediation

Phytoremediation

Vermiremediation



ORGANIC AND INORGANIC AMENDMENTS



NANOPARTICLES

ex situ vs in situ

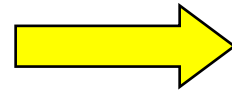


Biological Treatments of soil remediation

Bioremediation

Phytoremediation

Vermiremediation



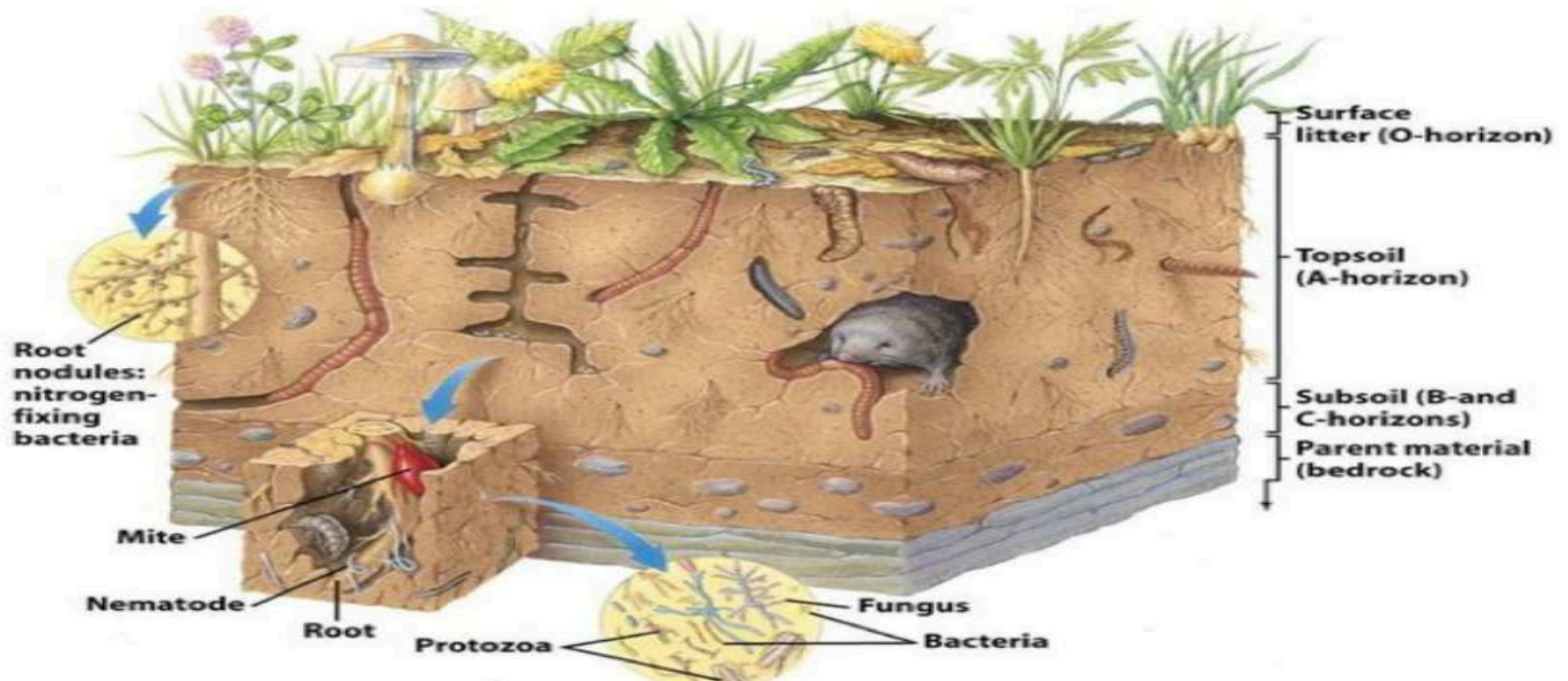
Use of biological processes and systems



for the **reduction or elimination of pollutants**

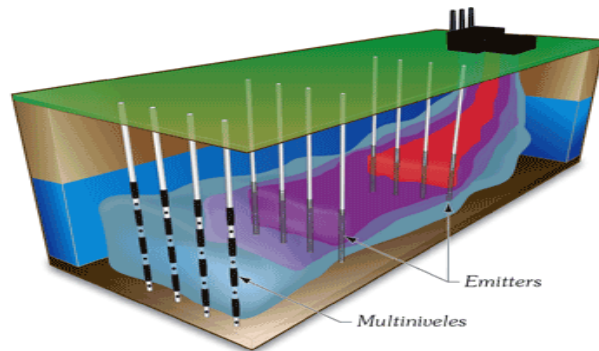


considering also the **recovery of soil health**



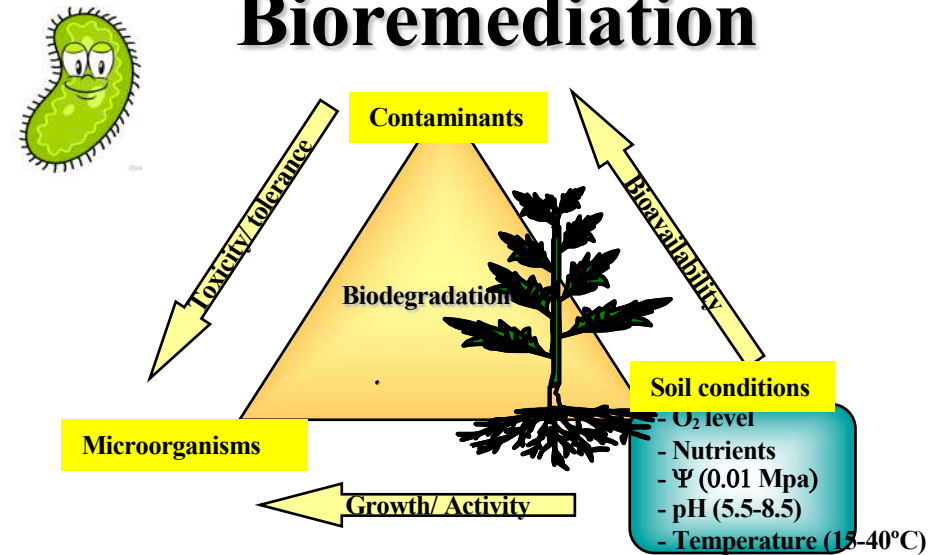
Monitoring

Natural Attenuation

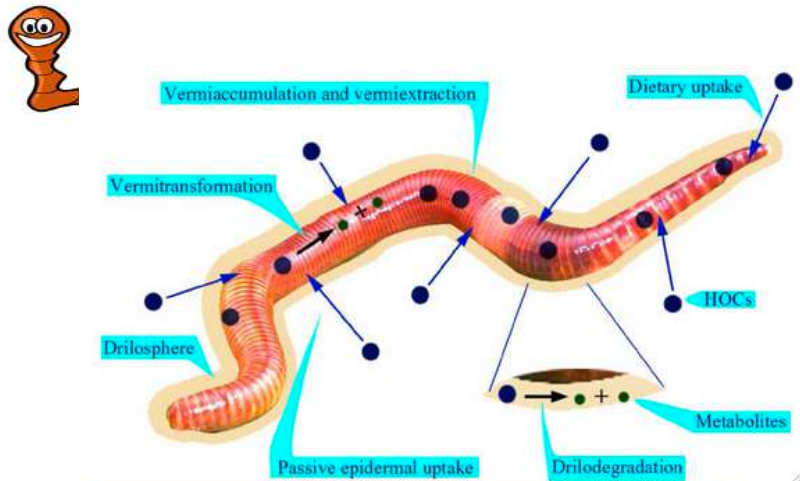


Intervention & Monitoring

Bioremediation

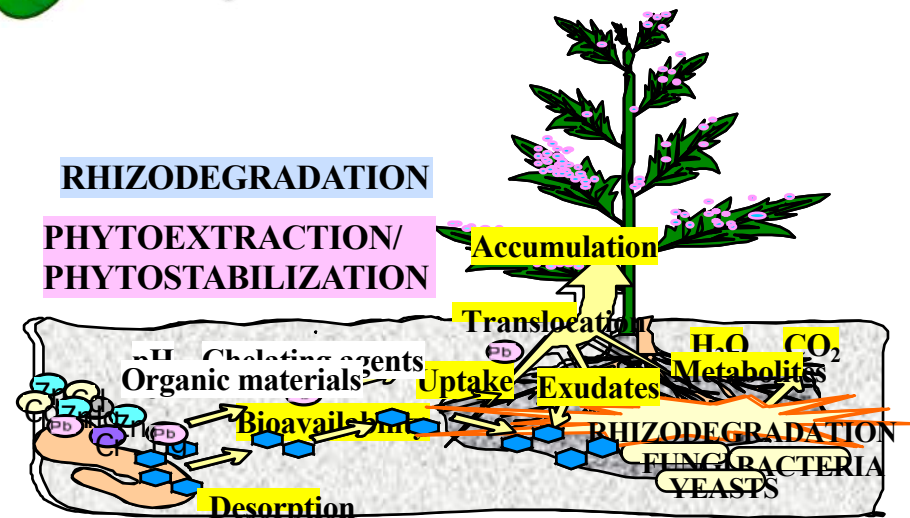


Vermiremediation



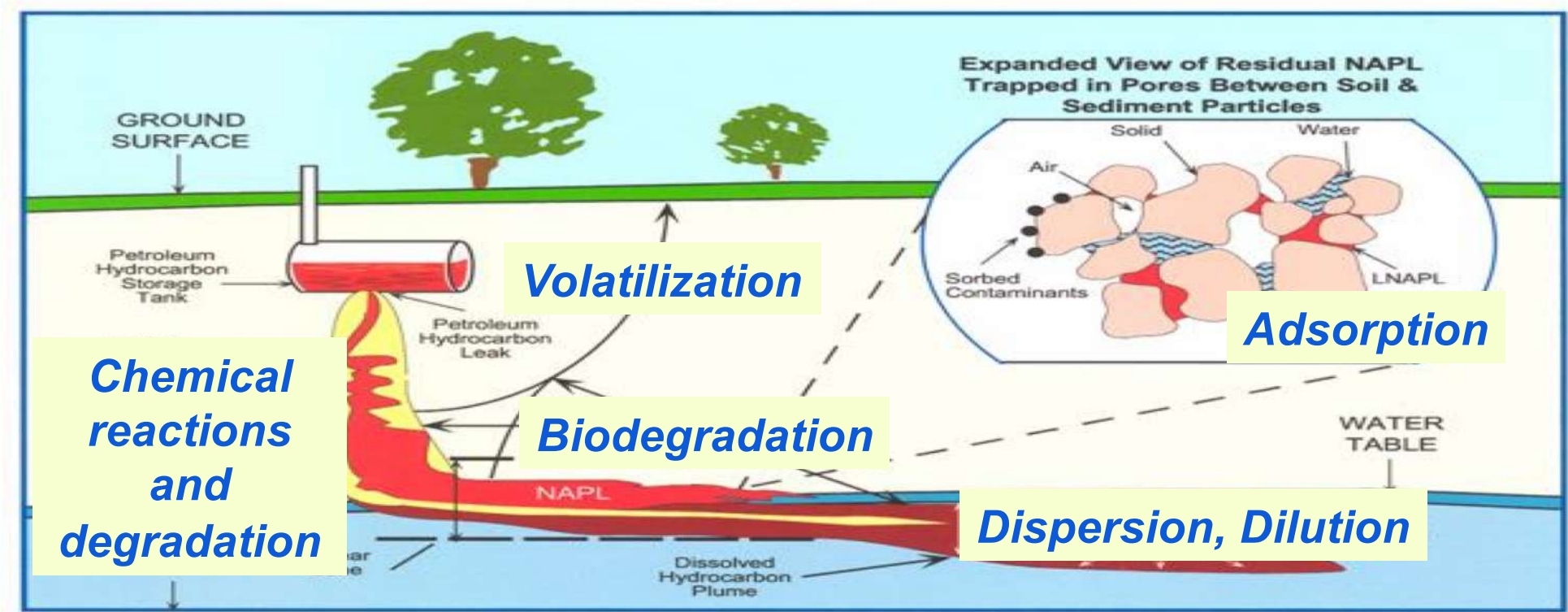
(Figure after Shi et al., 2019)

Phytoremediation



Natural Attenuation (only monitoring)

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

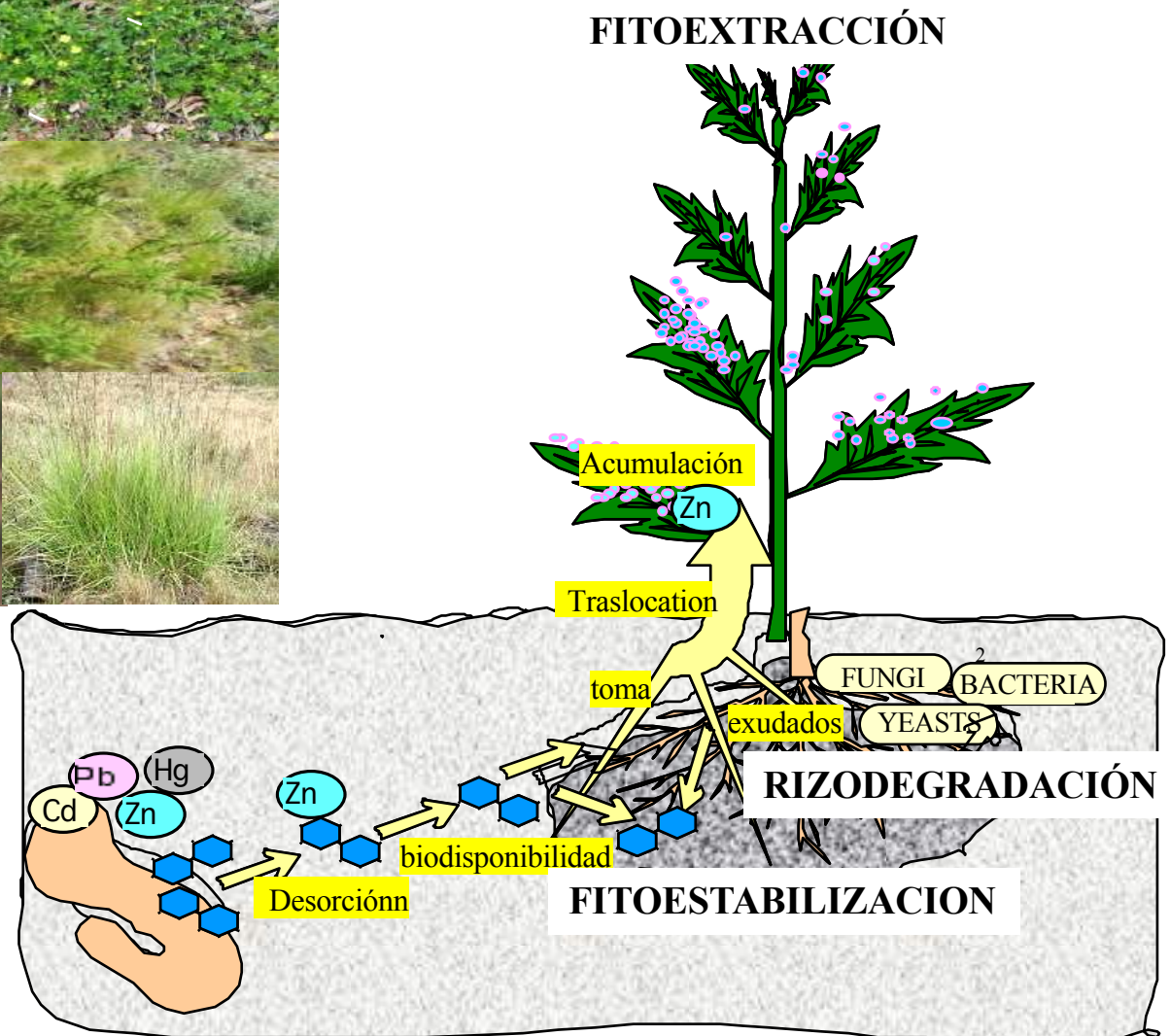


Pollutants: *Petroleum hydrocarbons, solvents, pesticides, and other organic chemicals*

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

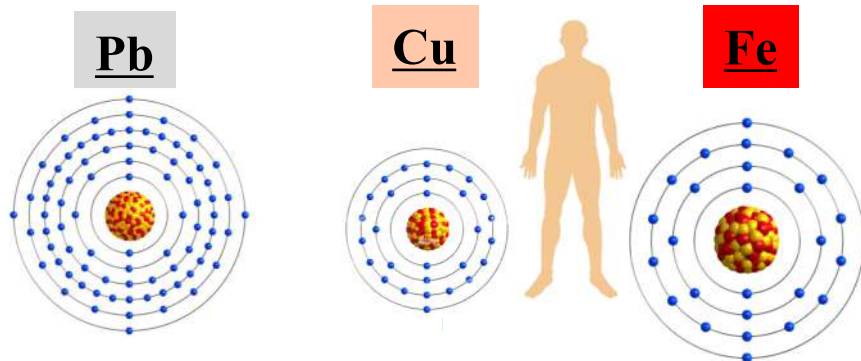
¿Qué es la Fitorremediación?

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



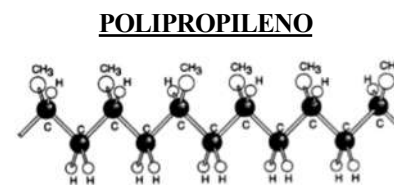
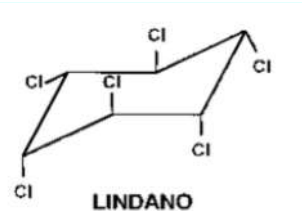
¿QUÉ TIPO DE CONTAMINANTES HAY?

INORGÁNICOS (METALES PESADOS)



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

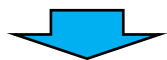
ORGÁNICOS



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

¿FITOTECNOLOGÍAS DE DESCONTAMINACIÓN?

EXTRACCION



FITOEXTRACCION

INERTIZACIÓN



FITOESTABILIZACION

INERTIZACIÓN



FITOESTABILIZACION

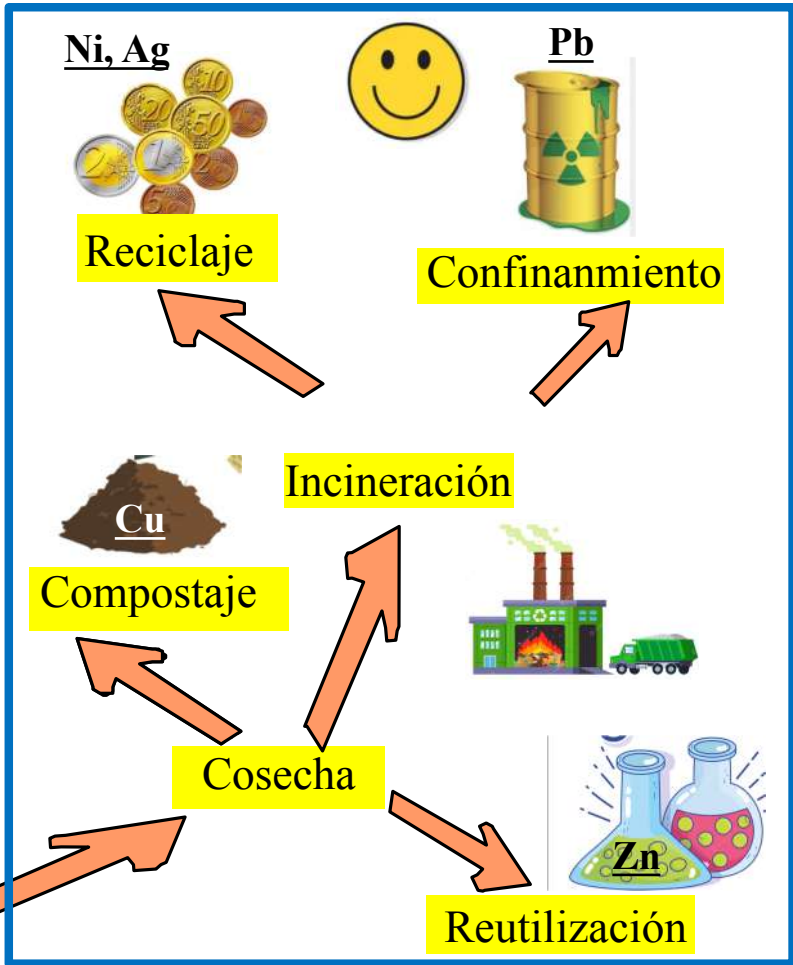
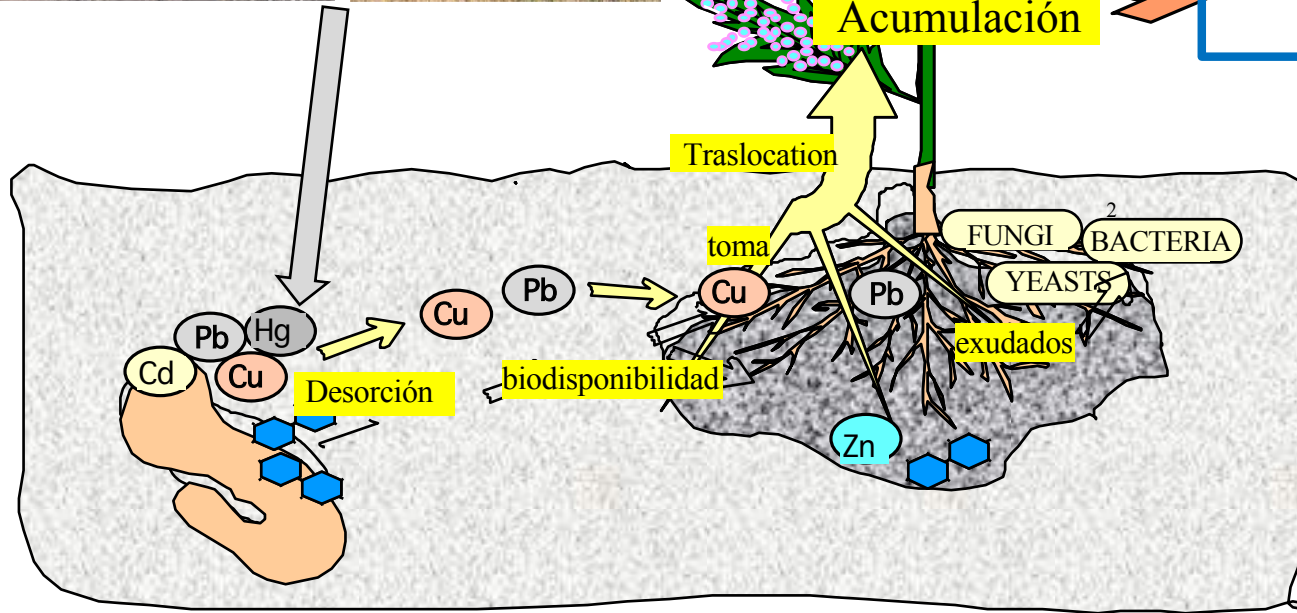
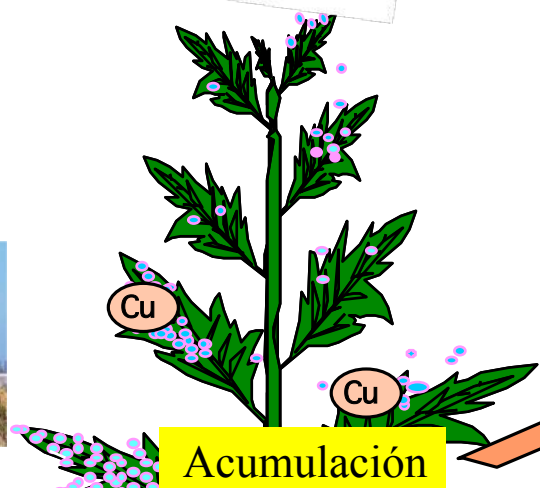
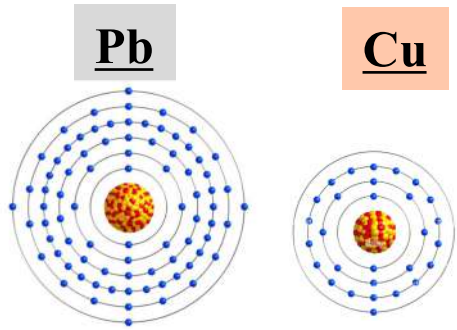
DEGRADACIÓN



RIZODEGRADACION

FITOEXTRACCIÓN

INORGÁNICOS



LOS SUELOS MINEROS

¿EL MILAGRO DE SOBREVIVIR EN UN SUELO MINERO?

¿Un problema?

¿Un recurso ecológico?

¿Una lección de co-cultivo?

Festuca rubra

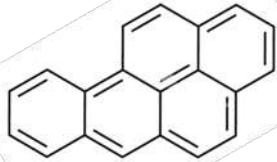
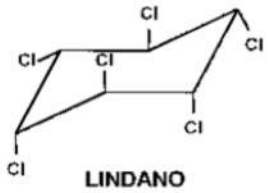
Rumex acetosa

Noccaea caerulescens

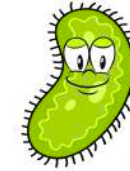


RHIZODEGRADACIÓN

ORGÁNICOS



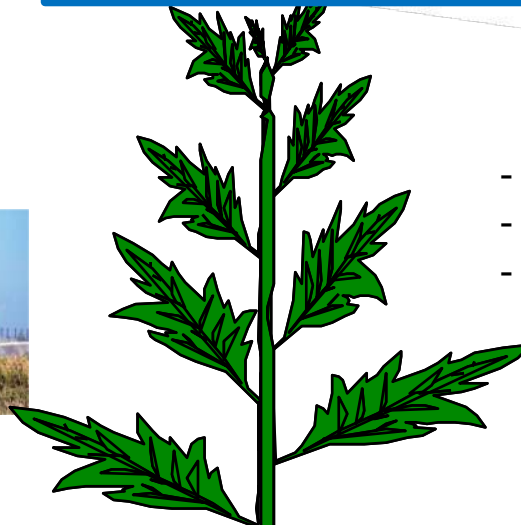
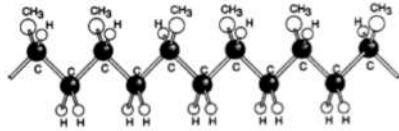
BENZO(a) PIRENO



MICROBIOMA VEGETAL

la “joya de la corona” de una planta

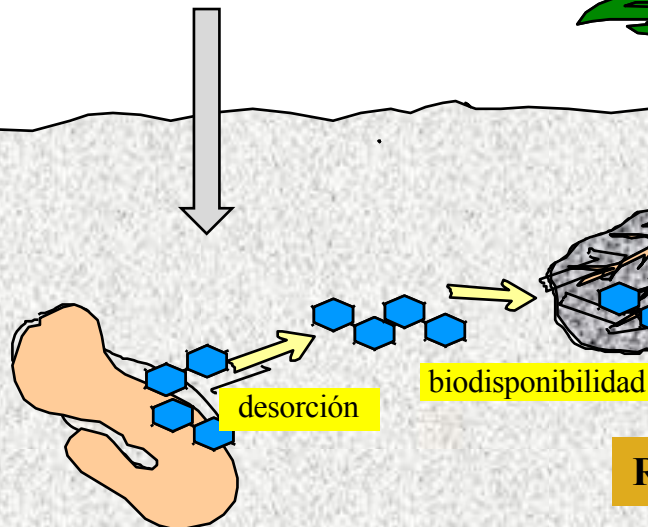
POLIPROPILENO



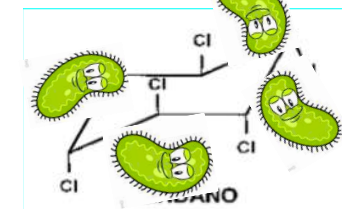
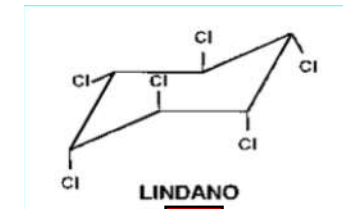
MICROBIOMA VEGETAL



FUNGI BACTERIA
YEASTS



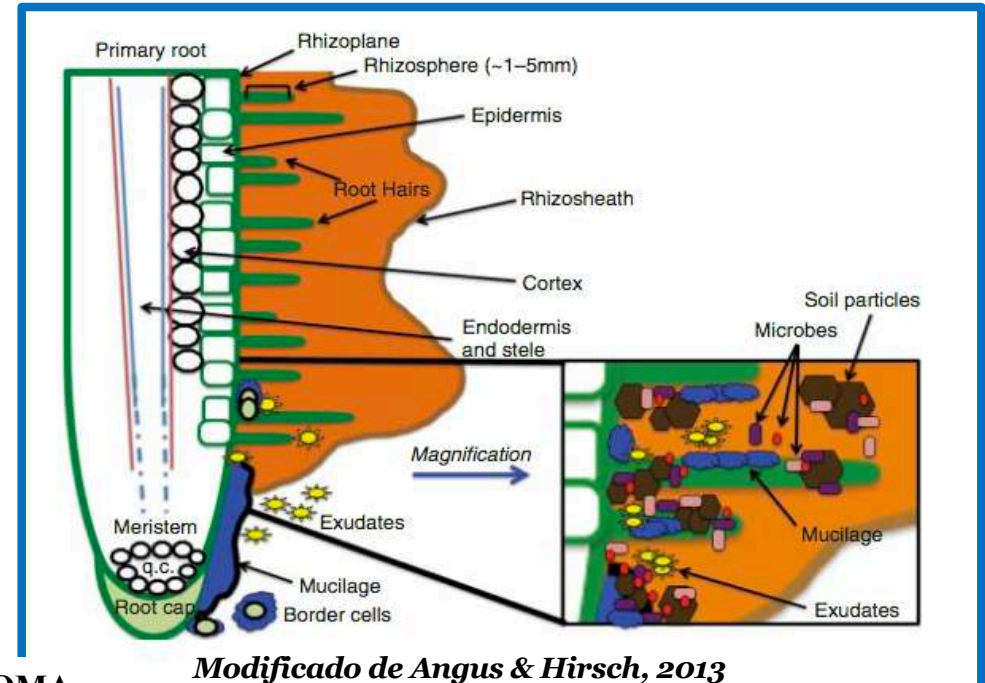
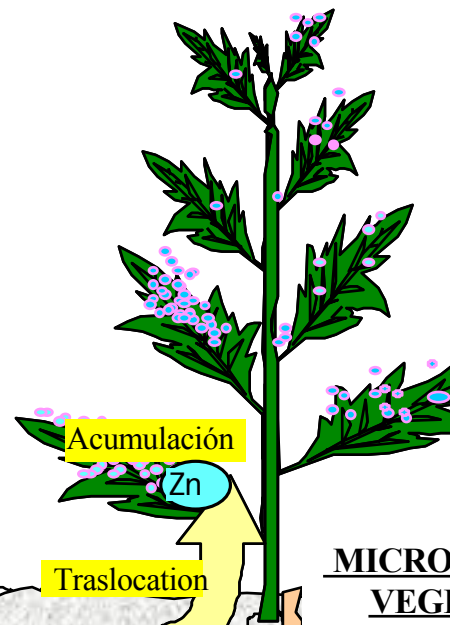
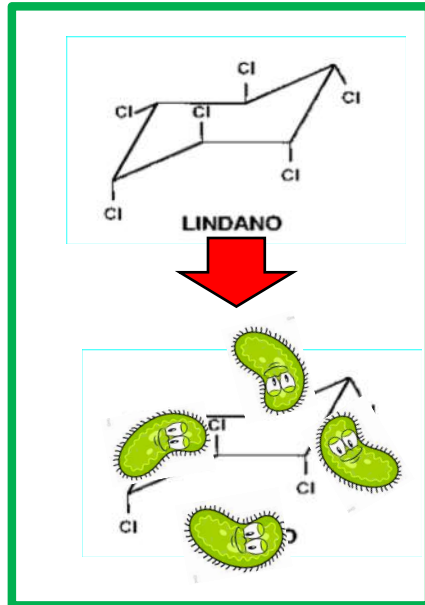
RHIZODEGRADACIÓN



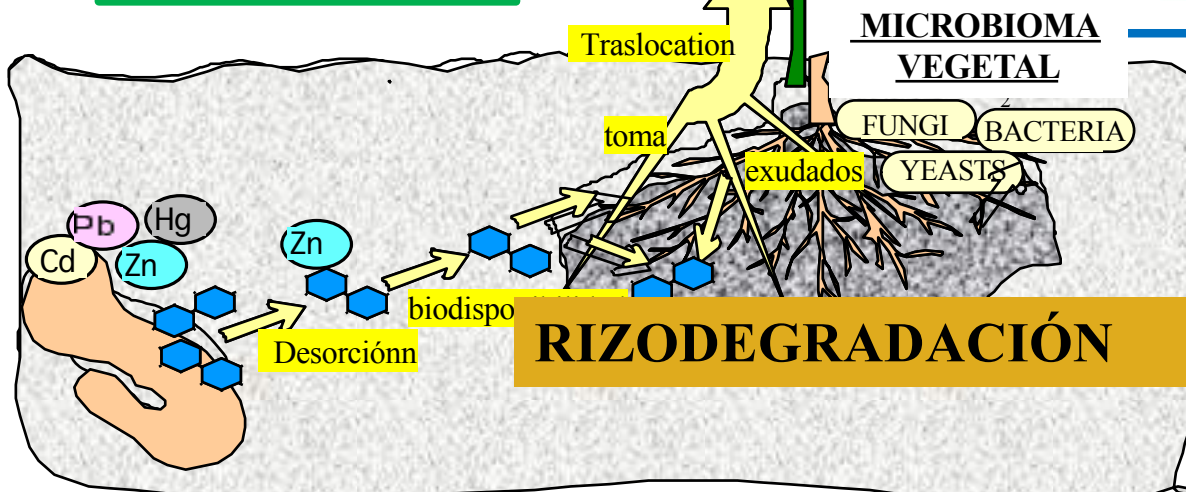
“COUCHING” PLANTAS Y MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS



Las plantas seducen a los microorganismos químicamente



Modificado de Angus & Hirsch, 2013

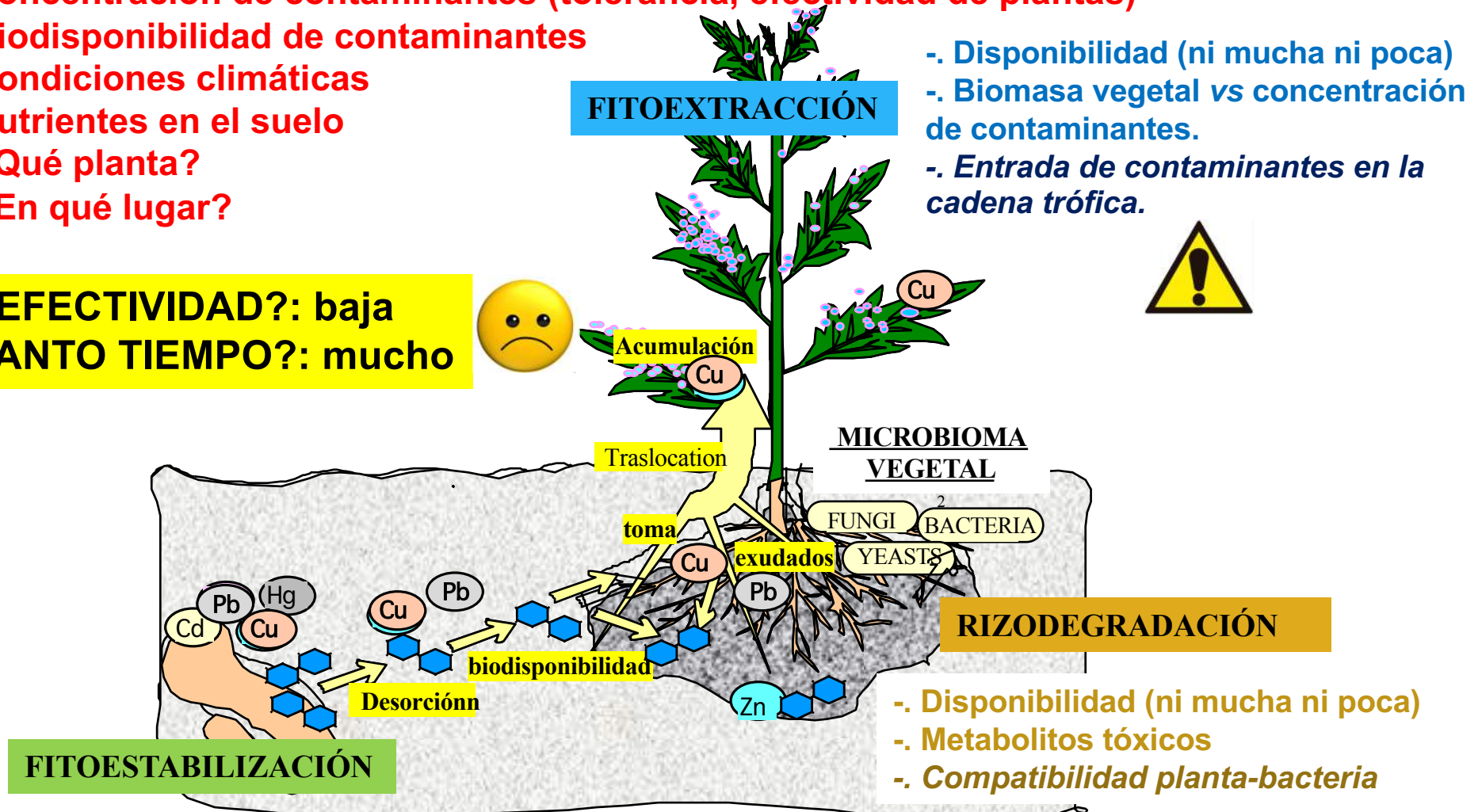


Hoy por ti mañana por mí

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?

¿EFECTIVIDAD?: baja
¿CUANTO TIEMPO?: mucho



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

- 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 **ECOLÓGICOS**, **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 / Immobilize



Recover soil health

PHYTOREMEDIATION

The challenge

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

Pollution
Poor soil
Heterogeneity

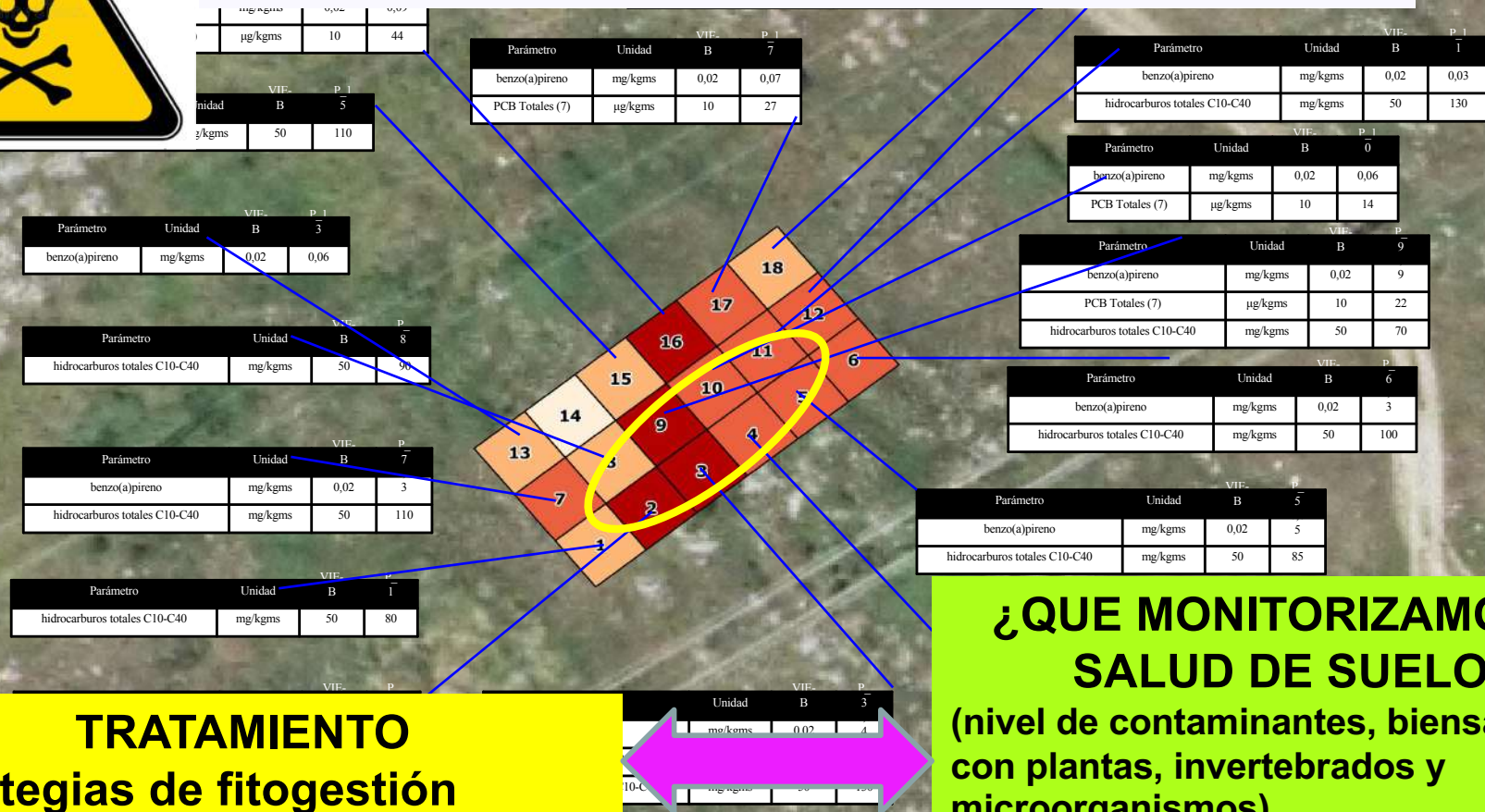
REALIDADES



REALIDADES

Niveles de contaminantes orgánicos que superan el VIE-B:

Hidrocarburos de Petroleo
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
Bifenilos Policlorados



REALIDADES

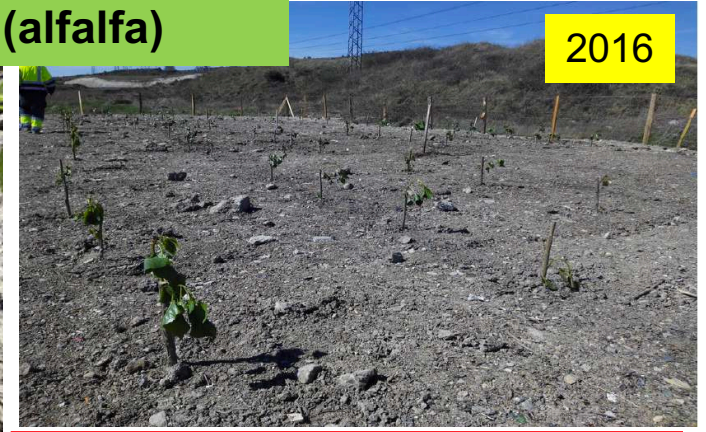
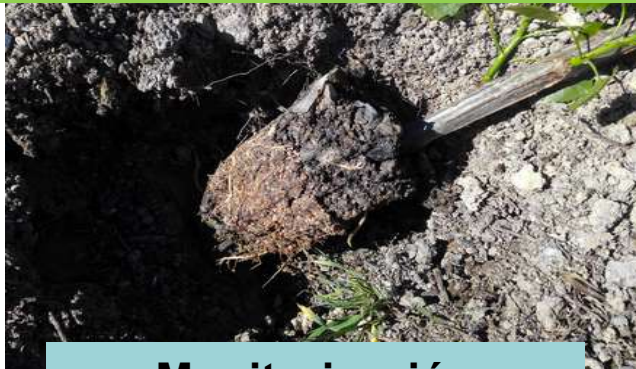
2016- Acondicionamiento y perfilado del suelo



2016- Enmienda orgánica



Trasplante (chopos) y siembra (alfalfa)



Monitorización 2017, 2018, - 2022



REALIDADES

TRATAMIENTO Estrategias de fitogestión

Suelo pobre

Biodiversidad vegetal

Abonado

Biofertilización



ENMIENDA

INOCULO
MICORRIZAS



CO-CULTIVO

poplar
alfalfa

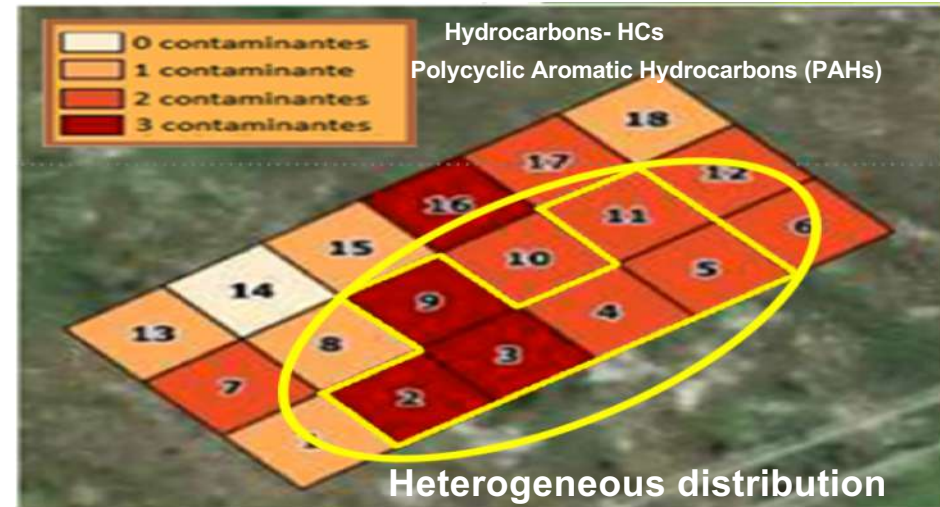


6 Estrategias

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



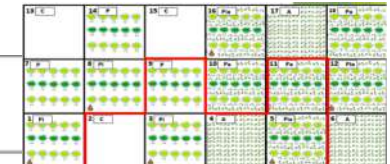
ARIÑEZ



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

María Teresa Gómez-Sagasti^{1*}, Carlos Garbarrán¹, Julián López¹, Patricia Miguero¹, Ulmar Arizón², Antonio Hernández², Juan Velaz², Ester Alkorta² and José M. Becerra¹

OPEN ACCESS



ARIÑEZ SITE 2017-2018

TABLE 2 | Concentration of soil organic contaminants.

Contaminant (mg kg ⁻¹)	LIMITS	Sampling time	Treatment						
			a	Pa	Pia	Pv	Piv	v	
TPH (C10–C40)	50 mg/Kg	t ₀	220.0	130.0	85.0	70.0	130.0	90.0	2017
		t _f	108.3	173.3	83.3	146.7	118.3	105.0	2018
Total PCBs	0.01 mg/Kg	t ₀	17.0	8.4	9.0	22.0	15.0	9.0	2017
		t _f	16.7	8.9	18.7	15.0	13.7	7.4	2018
Benzo[a]pyrene	0.02 mg/Kg	t ₀	0.06	0.03	0.05	0.09	0.04	0.02	2017
		t _f	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	2018
Benzo[b]fluoranthene	0.2 mg/Kg	t ₀	0.09	0.05	0.08	0.14	0.06	0.03	2017
		t _f	0.07	0.06	0.1	0.08	0.07	0.07	2018

ARIÑEZ SITE 2017-2023-

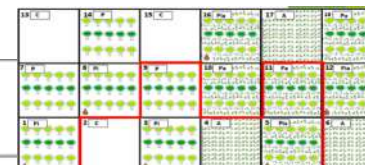
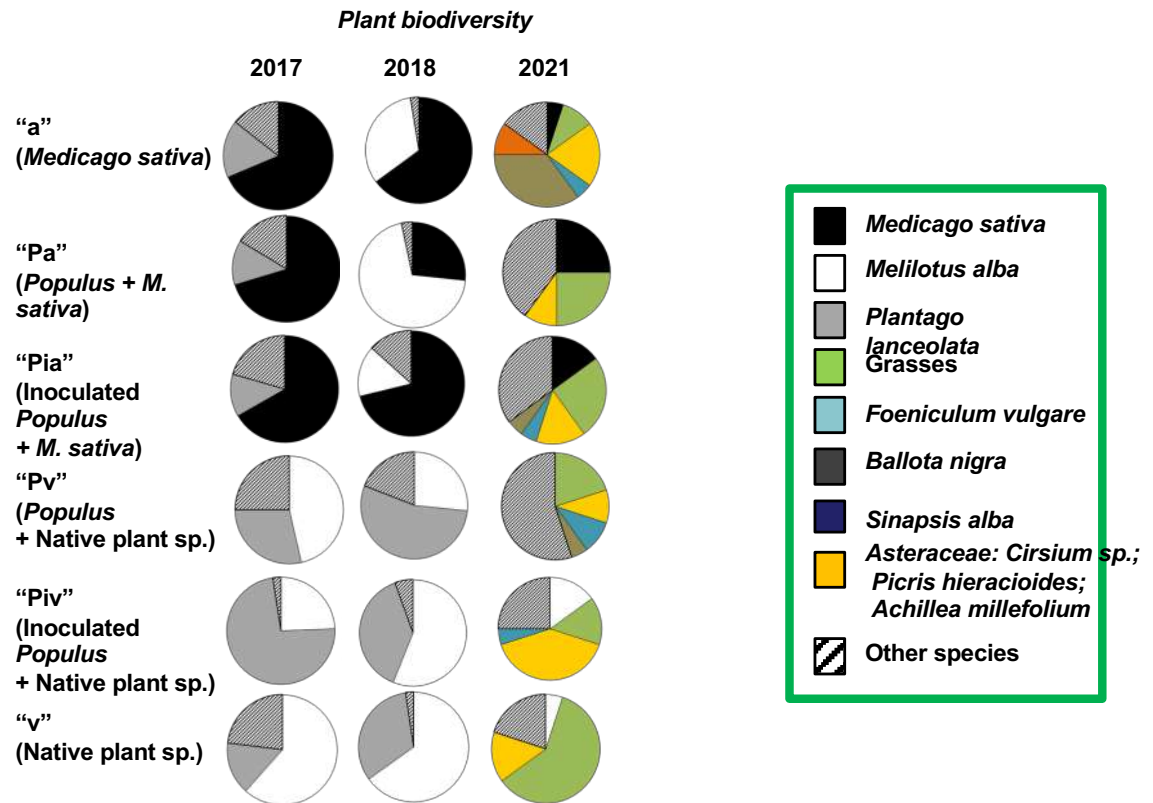
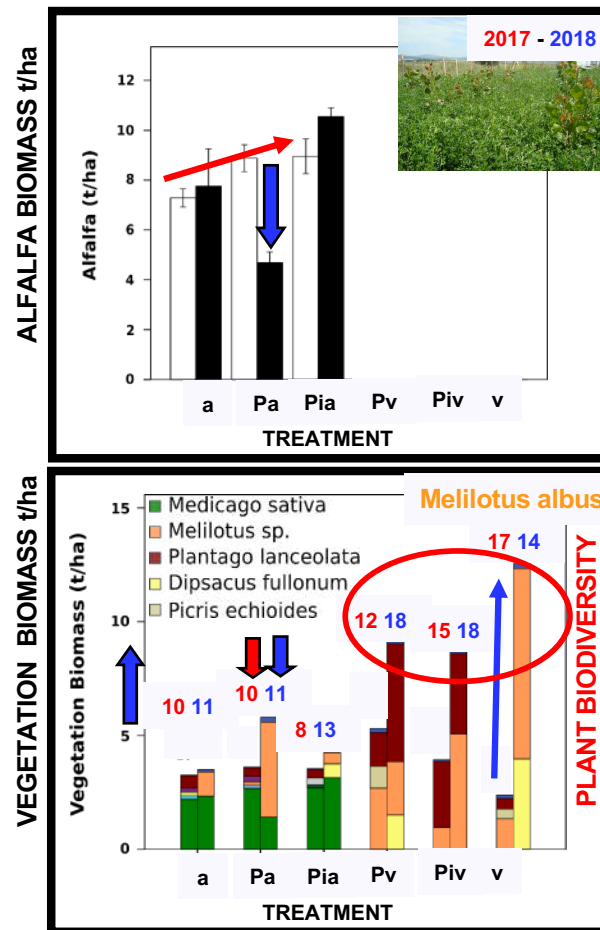


TABLE 2 | Concentration of soil organic contaminants.

Contaminant (mg kg ⁻¹)	LIMITS	Sampling time	Treatment					v	
			a	Pa	Pia	Pv	Piv		
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!

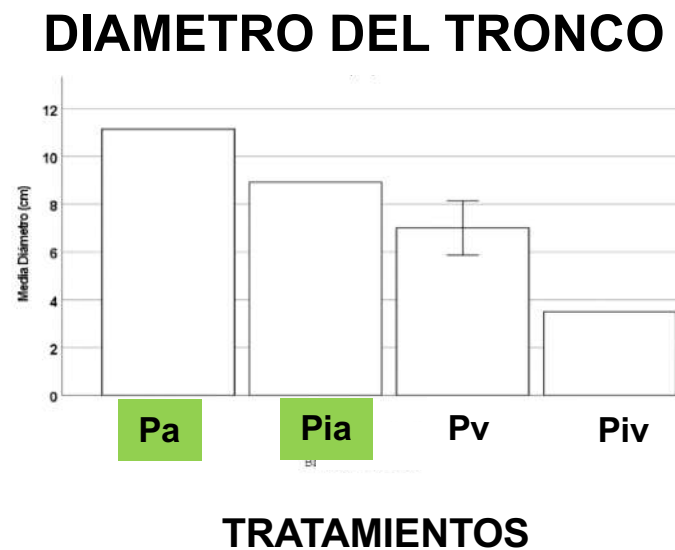
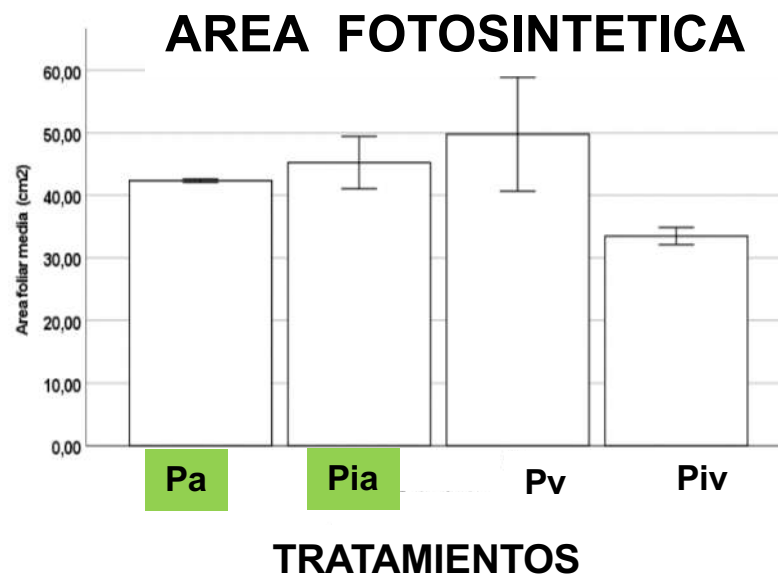
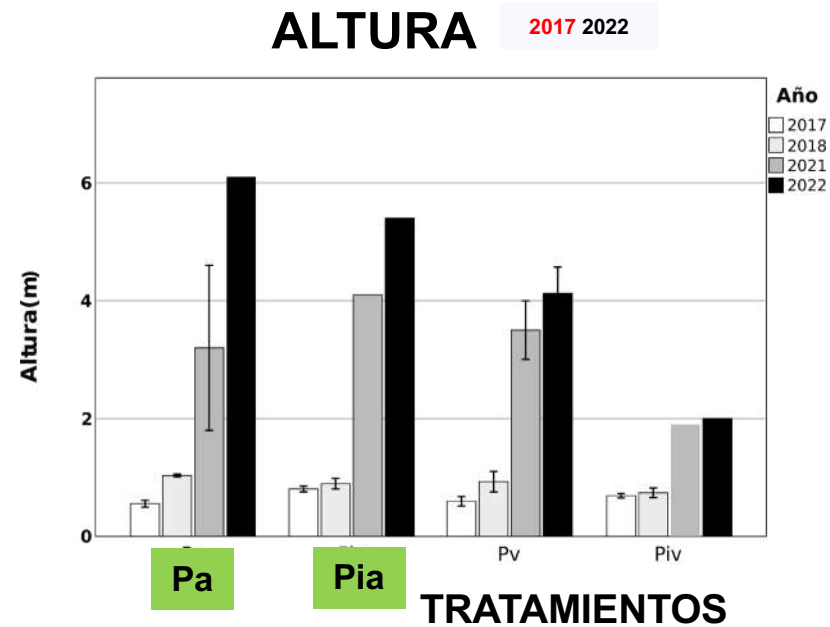
BIOMASA DE LA VEGETACIÓN Y BIODIVERSIDAD



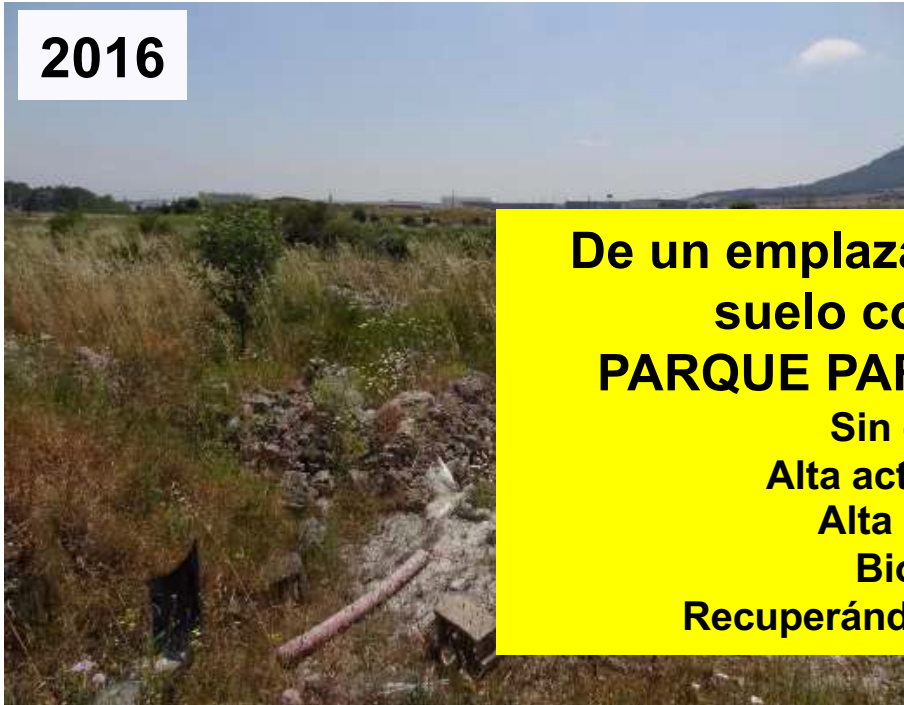
La **BIODIVERSIDAD VEGETAL** se incrementa con el tiempo...
colonizado por especies espontáneas (gramíneas y llantén)

REALIDADES

PARAMETROS BIOMETRICOS DE CHOPOS 2017, 2018, 2021, 2022



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.