

# *MÁSTER EN MEDIO AMBIENTE, SOSTENIBILIDAD Y ODS*

*Curso: 2024 - 2025*

*19 - 20 NOVIEMBRE 2024*

## **SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO SUELO**

CARLOS GARBISU

**NEIKER**

MEMBER OF  
BASQUE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

LA CRECIENTE DEMANDA DE RECURSOS (ALIMENTO, AGUA, SUELO, MATERIALES ESTRUCTURALES, ESPACIO, ETC.) POR PARTE DE LA SOCIEDAD HUMANA ESTÁ **SUPERANDO CON CRECES** LA CAPACIDAD DE LOS SISTEMAS NATURALES PARA SEGUIR SUMINISTRANDO ESTOS RECURSOS



ELLO ESTÁ **DAÑANDO LA INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA** DE LA TIERRA:

- ❖ SE EROSIONAN Y CONTAMINAN LOS SUELOS
- ❖ SE SECAN Y CONTAMINAN LOS RÍOS
- ❖ DISMINUYEN LOS NIVELES FREÁTICOS
- ❖ SE CONTAMINA EL AIRE
- ❖ EL CLIMA SE HA INESTABILIZADO
- ❖ DESAPARECEN LOS BOSQUES
- ❖ DESAPARECEN MUCHÍSIMAS ESPECIES
- ❖ ETC., ETC.

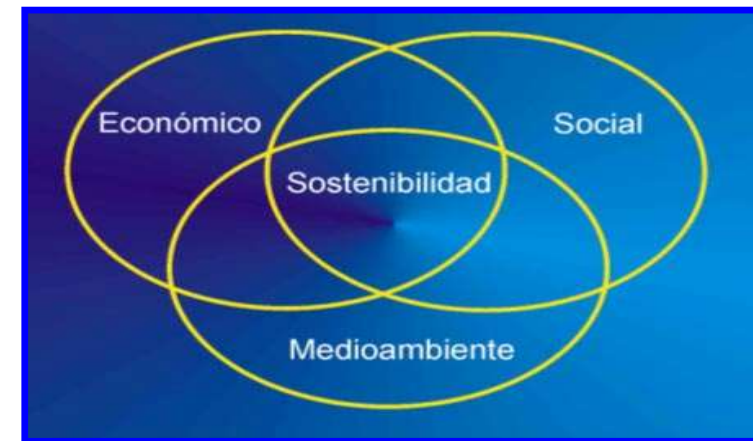
# ¡¡NUESTRO MODELO ACTUAL DE SOCIEDAD ES INSOSTENIBLE!!

## SOSTENIBILIDAD IMPLICA VIVIR DENTRO DE LA CAPACIDAD REGENERATIVA DE LA BIOSFERA



### Desarrollo Sostenible

Aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades  
(Informe Brundtland)

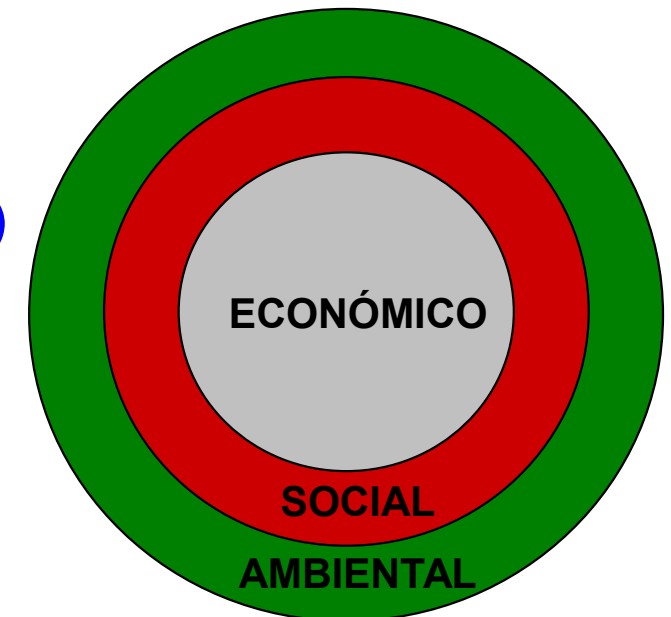


El clima nos está poniendo a prueba

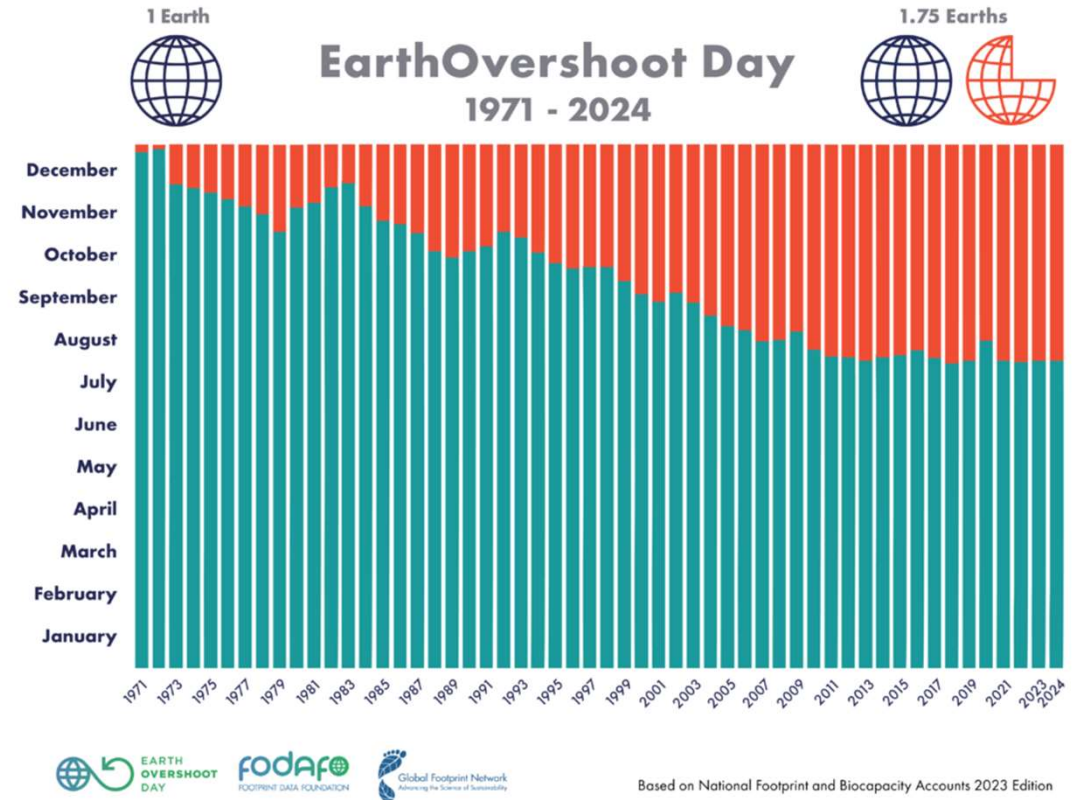
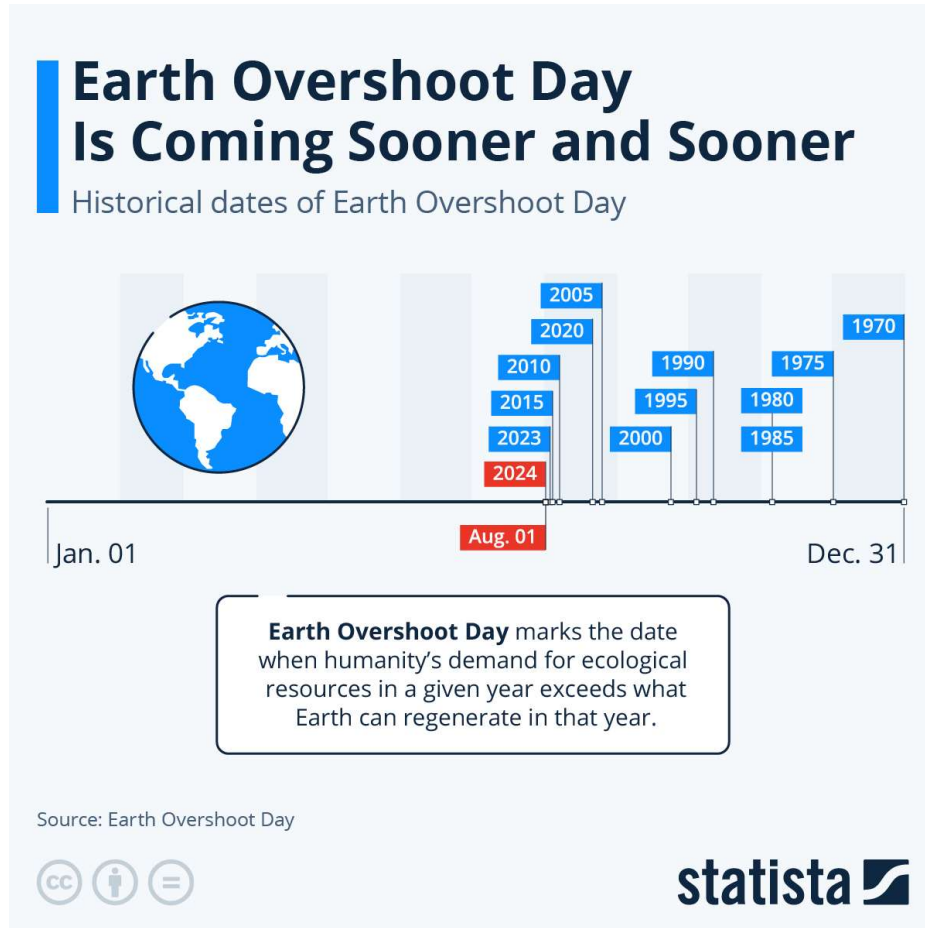
*¿Homo sapiens?*

**Homo sapiens: ¡Una fuerza geofísica! (ANTROPOCENO)**

Over millions of years, the life on Earth gradually took C out of the atmosphere and stored it underground...In **one year**, we're putting back **X years** worth of C into the atmosphere, mainly by using up fossil fuels



# ESTAMOS EN DÉFICIT ECOLÓGICO - DEUDA ECOLÓGICA: CONSUMIMOS LOS RECURSOS NATURALES MÁS RÁPIDO DE LO QUE TARDAN EN REGENERARSE



## Calculate your personal Overshoot Day

Our mobile-friendly calculator is now available in eight languages. You can use it to measure your Ecological Footprint and determine your personal Earth Overshoot Day. The tool helps users learn about solutions so we can all tread more lightly on the Earth.



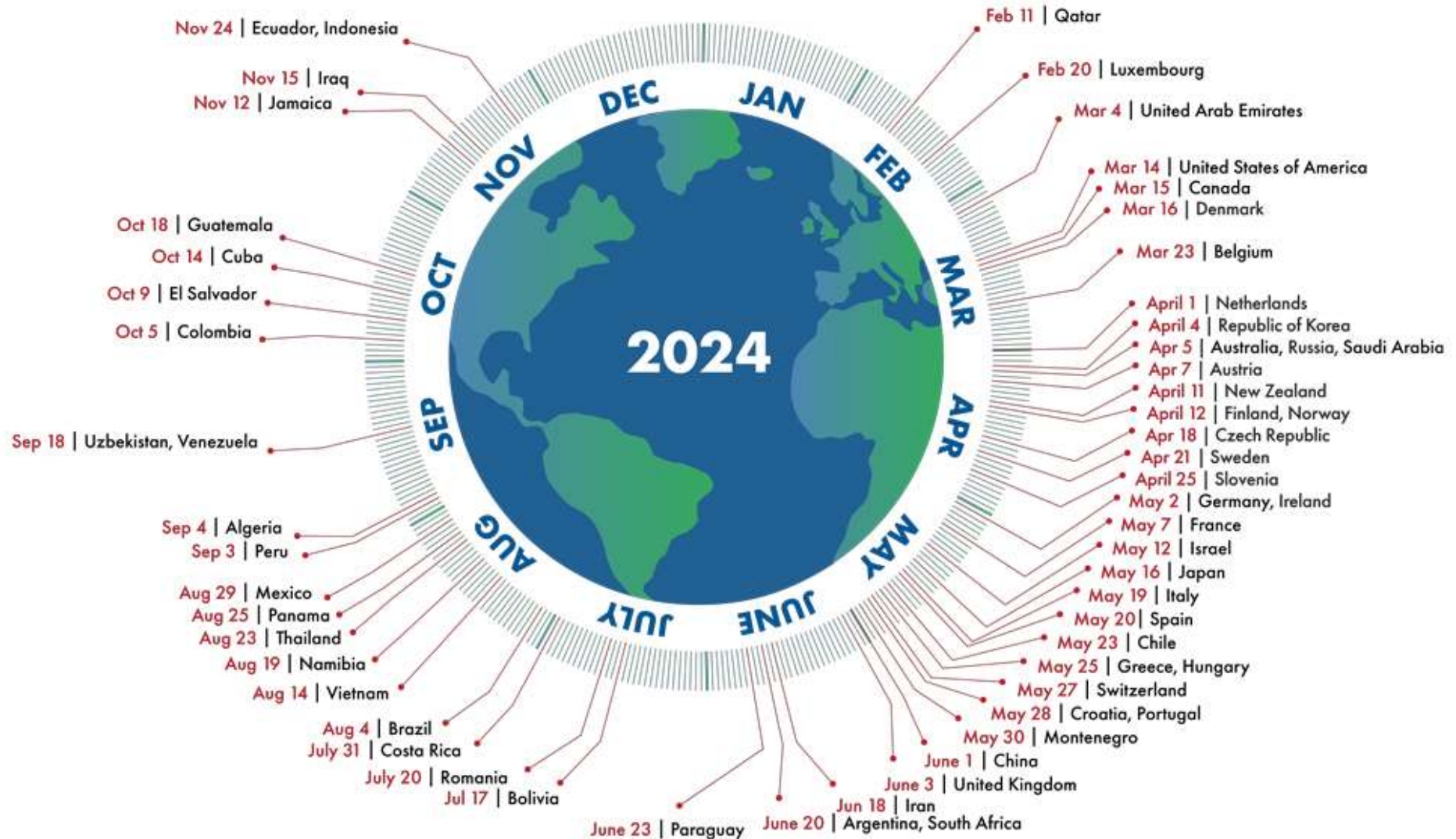
CALCULATE NOW

## CONCLUSIÓN: MODELO INSOSTENIBLE ¿Deuda ecológica o expolio ecológico?



# Country Overshoot Days 2024

When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like...



For a full list of countries, visit [overshootday.org/country-overshoot-days](https://overshootday.org/country-overshoot-days).



EARTH  
OVERSHOOT  
DAY

Source: National Footprint and Biocapacity Accounts, 2023 Edition  
[data.footprintnetwork.org](https://data.footprintnetwork.org)



Global Footprint Network  
Advancing the Science of Sustainability

# ESCUCHEMOS A LAS CIENTÍFICAS Y LOS CIENTÍFICOS

## WORLD SCIENTISTS' WARNING TO HUMANITY

**INTRODUCTION** Human beings and the natural world are on a collision course. Human activities inflict harsh and often irreversible damage on the environment and on critical resources. If not checked, many of our current practices put at serious risk the future that we wish for human society and the plant and animal kingdoms, and may so alter the living world that it will be unable to sustain life in the manner that we know. Fundamental changes are urgent if we are to avoid the collision our present course will bring about.

**THE ENVIRONMENT** The environment is suffering critical stress:

**The Atmosphere** Stratospheric ozone depletion threatens us with enhanced ultraviolet radiation at the earth's surface, which can be damaging or lethal to many life forms. Air pollution near ground level, and acid precipitation, are already causing widespread injury to humans, forests, and crops.



person in five lives in absolute poverty without enough to eat, and one in ten suffers serious malnutrition.

No more than one or a few decades remain before the chance to avert the threats we now confront will be lost and the prospects for humanity immeasurably diminished.

**WARNING** We the undersigned, senior members of the world's scientific community, hereby warn all humanity of what lies ahead. A great change in our stewardship of the earth and the life on it is required, if vast human misery is to be avoided and our global home on this planet is not to be irretrievably mutilated.

**WHAT WE MUST DO** Five inextricably linked areas must be addressed simultaneously:

1992

## World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice

2017

WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, MAURO GALETTI, MOHAMMED ALAMGIR, EILEEN CRIST, MAHMOUD I. MAHMOUD, WILLIAM F. LAURANCE, and 15,364 scientist signatories from 184 countries

## World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2020

WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, PHOEBE BARNARD, WILLIAM R. MOOMAW, AND 11,258 SCIENTIST SIGNATORIES FROM 153 COUNTRIES (LIST IN SUPPLEMENTAL FILE S1)

## World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2021

## World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022



ELSEVIER

Biological Conservation

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/biocon](http://www.elsevier.com/locate/biocon)

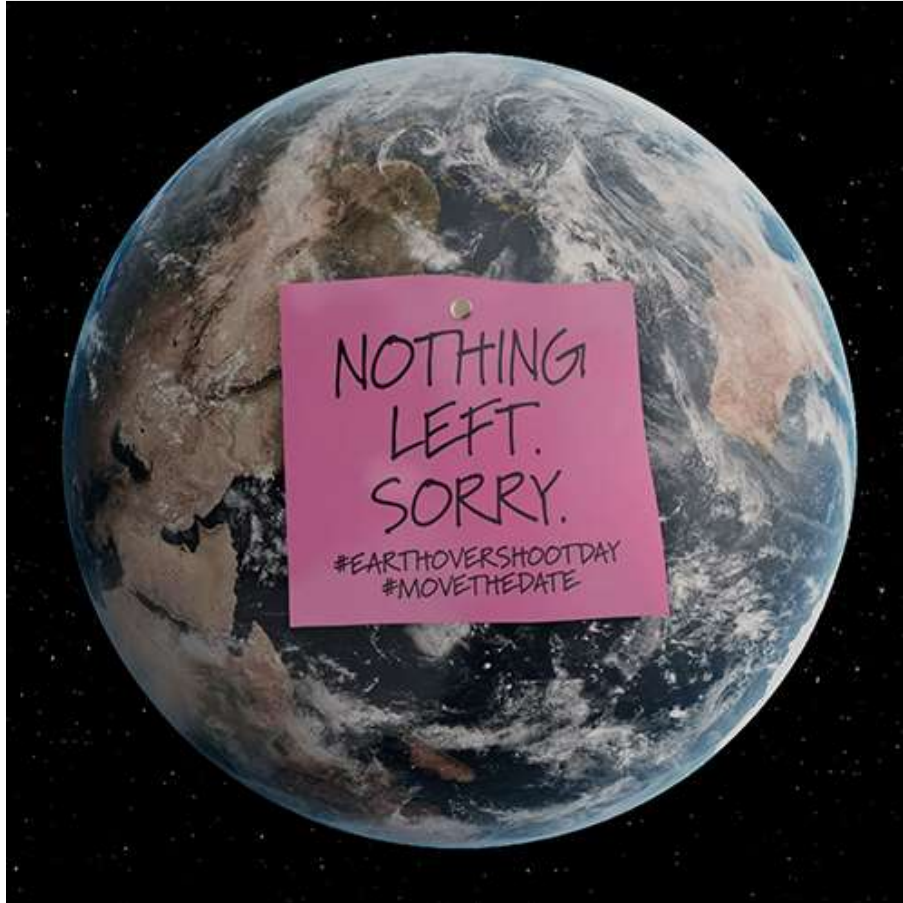
Perspective

Scientists' warning to humanity on insect extinctions

Pedro Cardoso<sup>a,\*</sup>, Philip S. Barton<sup>b</sup>, Klaus Birkhofer<sup>c</sup>, Filipe Chichorro<sup>a</sup>, Charl Deacon<sup>d</sup>, Thomas Fartmann<sup>e</sup>, Caroline S. Fukushima<sup>a</sup>, René Gaigher<sup>d</sup>, Jan C. Habel<sup>f</sup>, Caspar A. Hal

# NO PARECE QUE SEAN VACUIDADES VERBORREICAS

# AYUDA DESDE EL ARTE – LAS HUMANIDADES



# INVOLUCREMOS A LOS ARTISTAS PARA QUE SIEMBREN **EMOCIONES**



**GATA CATTANA (nunca fue pez de orilla)**

**LA ESCALA DE MOHS**

Yo me vendí por tres milímetros  
de iris azul tanzanita  
en cada ojo,  
lo que hace un total de seis  
por dos de ancho  
milímetros de iris azul radiactivo,  
azul *heisenberg*.



Simone de Beauvoir: “No se nace mujer, se llega a serlo”

Gata: “Nunca me sentí sola porque estábamos juntas”

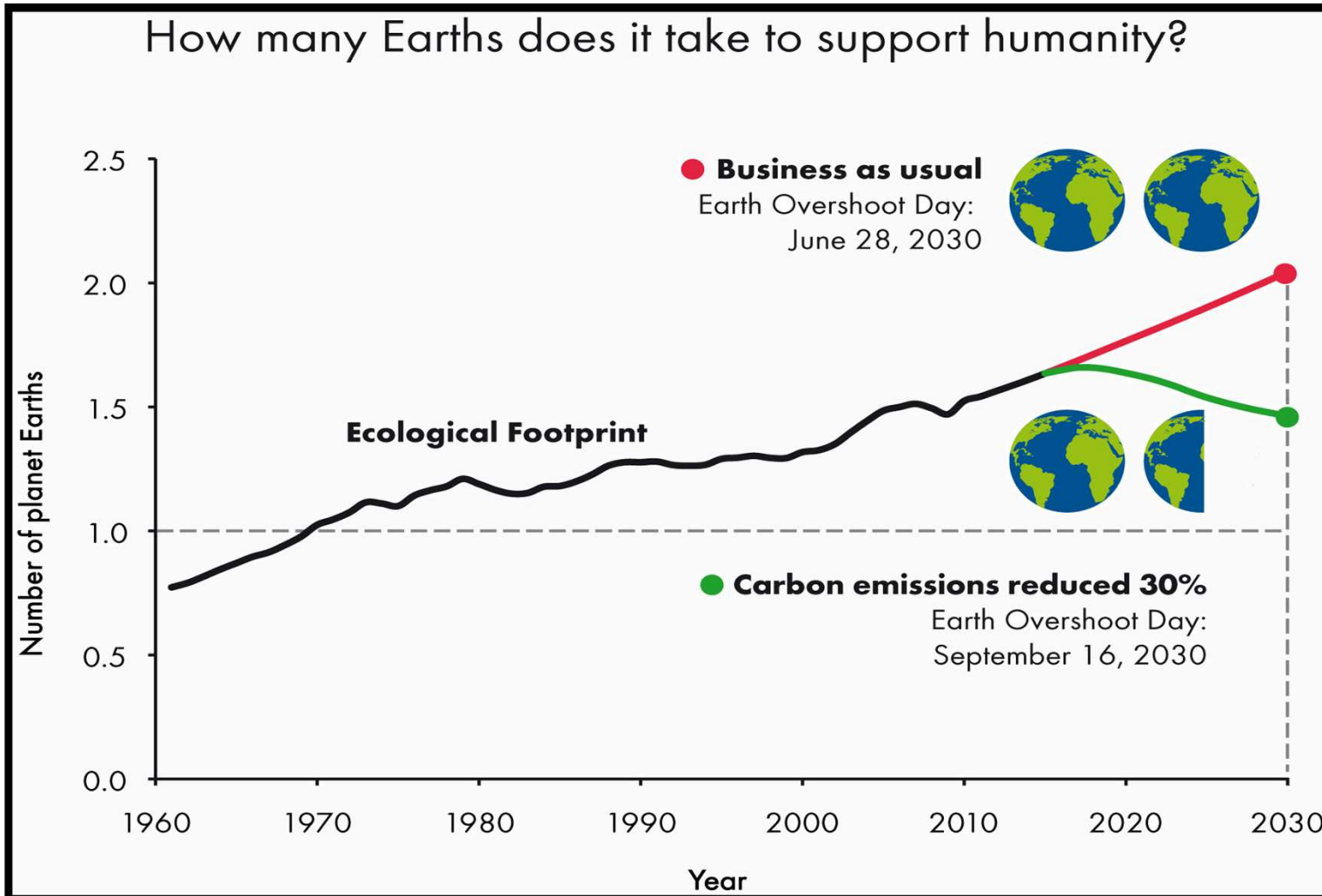
Gata: “No vine a ser carne, vine a ser espuma”





# HUELLA ECOLÓGICA

Métrica que mide la cantidad de naturaleza que tenemos y la cantidad de naturaleza que utilizamos



2013: 20 AGOSTO

2014: 19 AGOSTO

2015: 13 AGOSTO

2016: 8 AGOSTO

2017: 2 AGOSTO

2018: 1 AGOSTO

2019: 29 JULIO

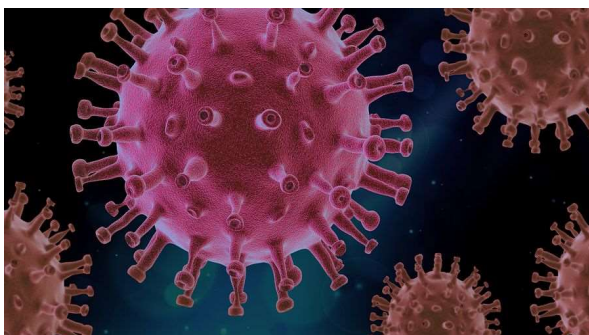
2020: 22 AGOSTO

2021: 29 JULIO

2022: 28 JULIO

2023: 2 AGOSTO

**2024: 1 AGOSTO**



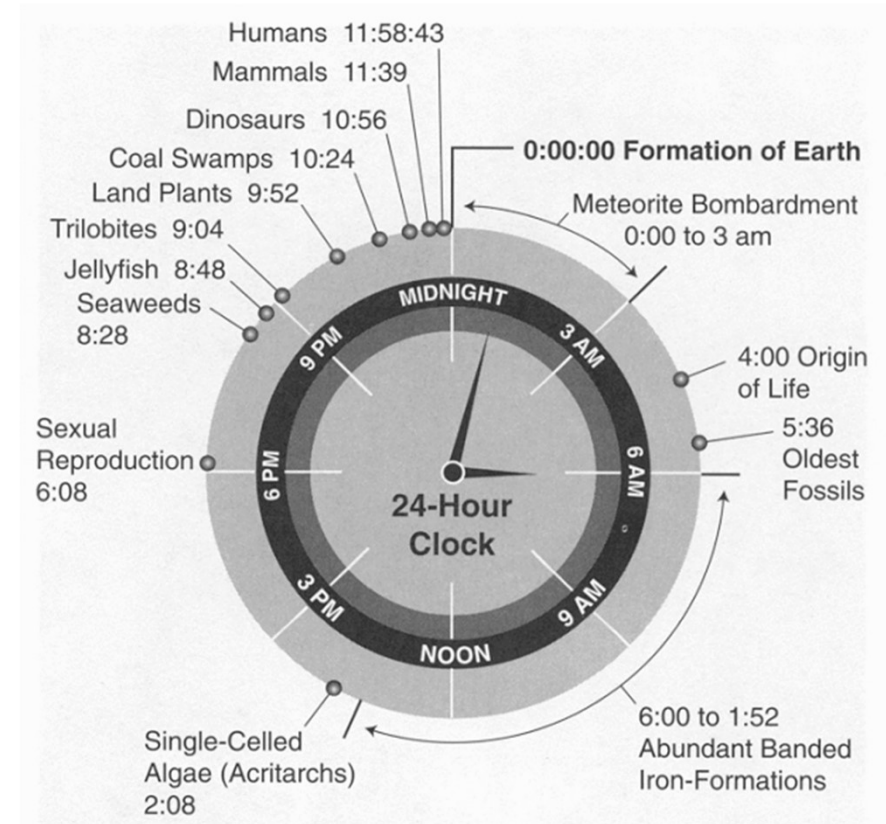
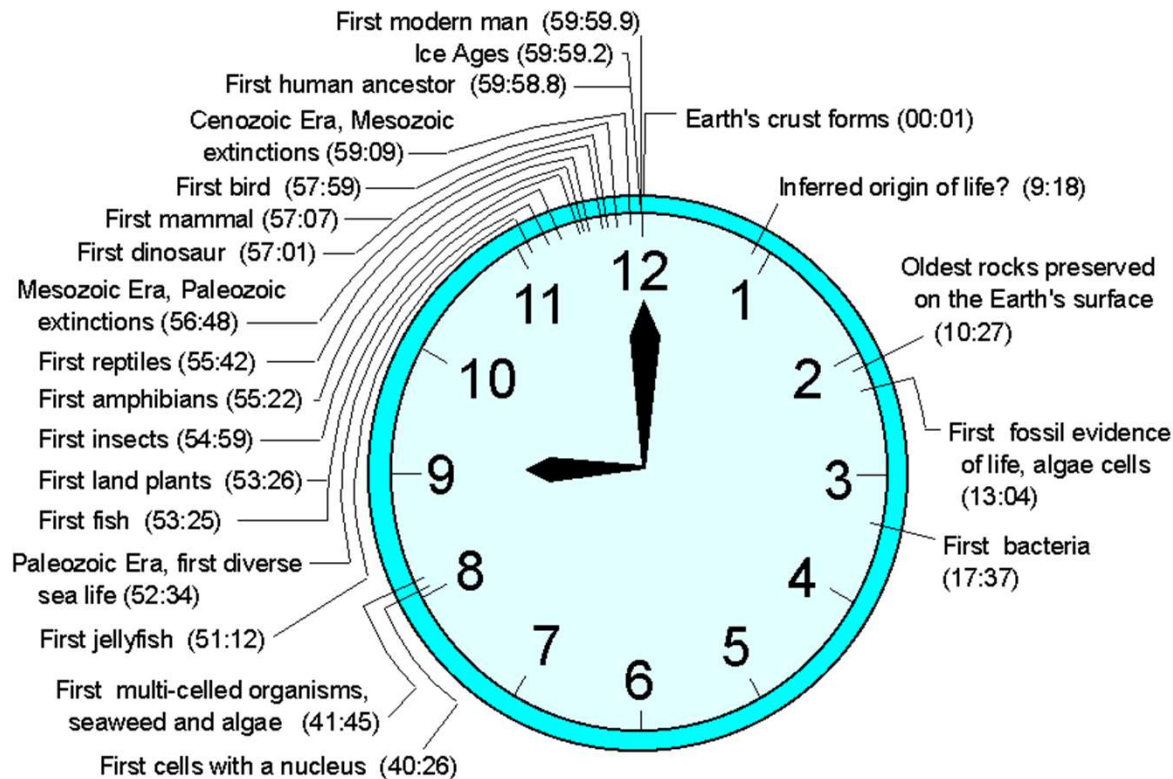
**PROYECCIONES (valen para no cumplirlas)**

**NO PREDICCIONES**

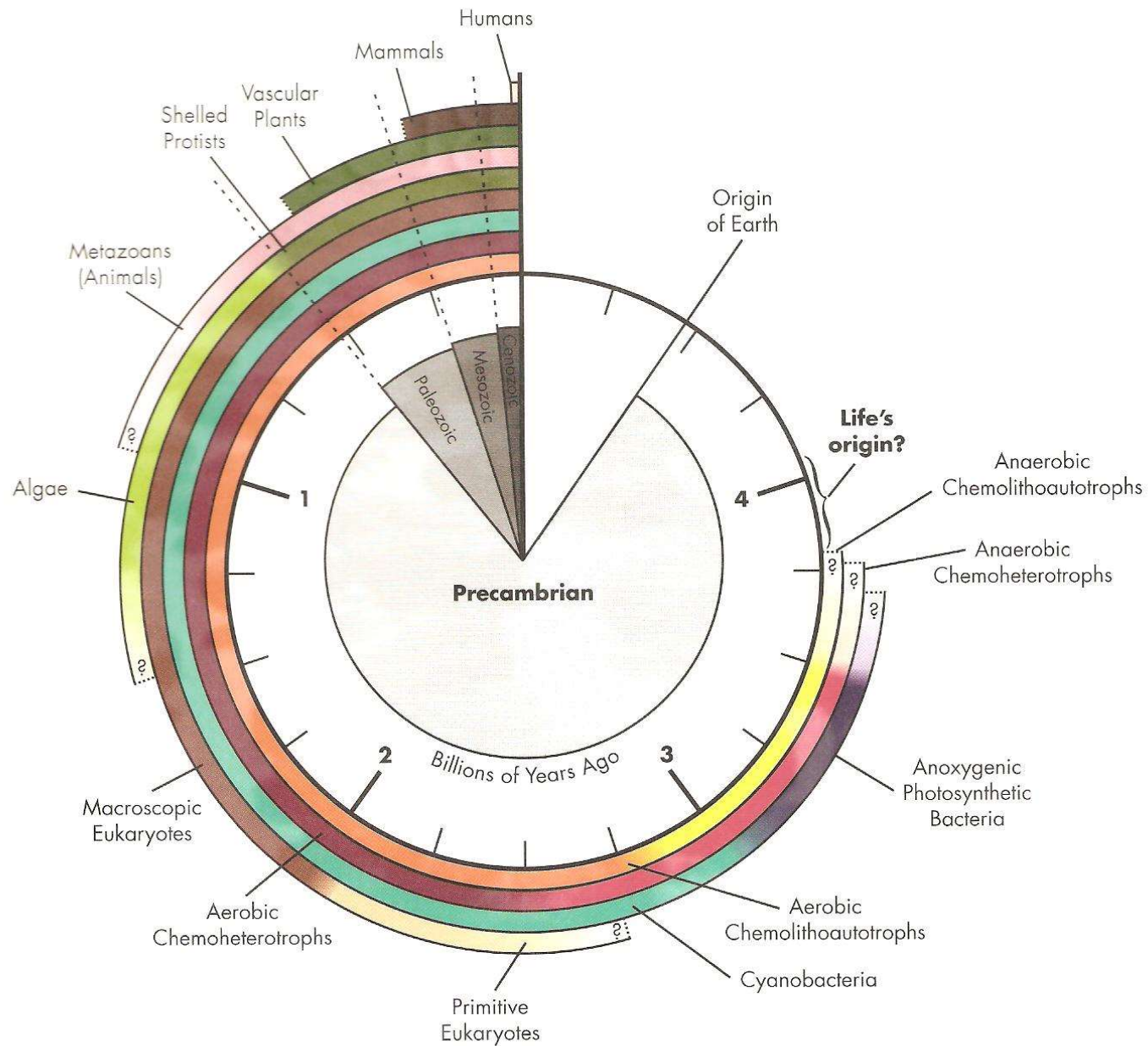
**Una mutación y .....**

**ES DIFÍCIL SABER EXÁCTAMENTE CUÁNTA ÁREA BIO-PRODUCTIVA ES NECESARIO RESERVAR PARA LOS OTROS “X” MILLONES DE ESPECIES CON LAS QUE COMPARTIMOS EL PLANETA**

**Proponen dejarles al menos un 10-25% de la superficie terrestre (y una cantidad aún por determinar del mar). The Brundtland Report recomendaba, al menos, un 12%**



**VAMOS AJUSTANDO EL RELOJ**



The Earth's biogeologic clock? Modified from Des Marais (2000).

## ¿Y si pasamos de ellas?

**La biodiversidad suministra resistencia y resiliencia (estabilidad)**

# Si se mantiene esta tendencia, necesitaremos al menos 3 planetas para abastecernos en 2050

LA CANTIDAD TOTAL DE ESPACIO BIOLÓGICAMENTE PRODUCTIVO EN NUESTRO **PLANETA DECRECE DÍA A DÍA** POR:

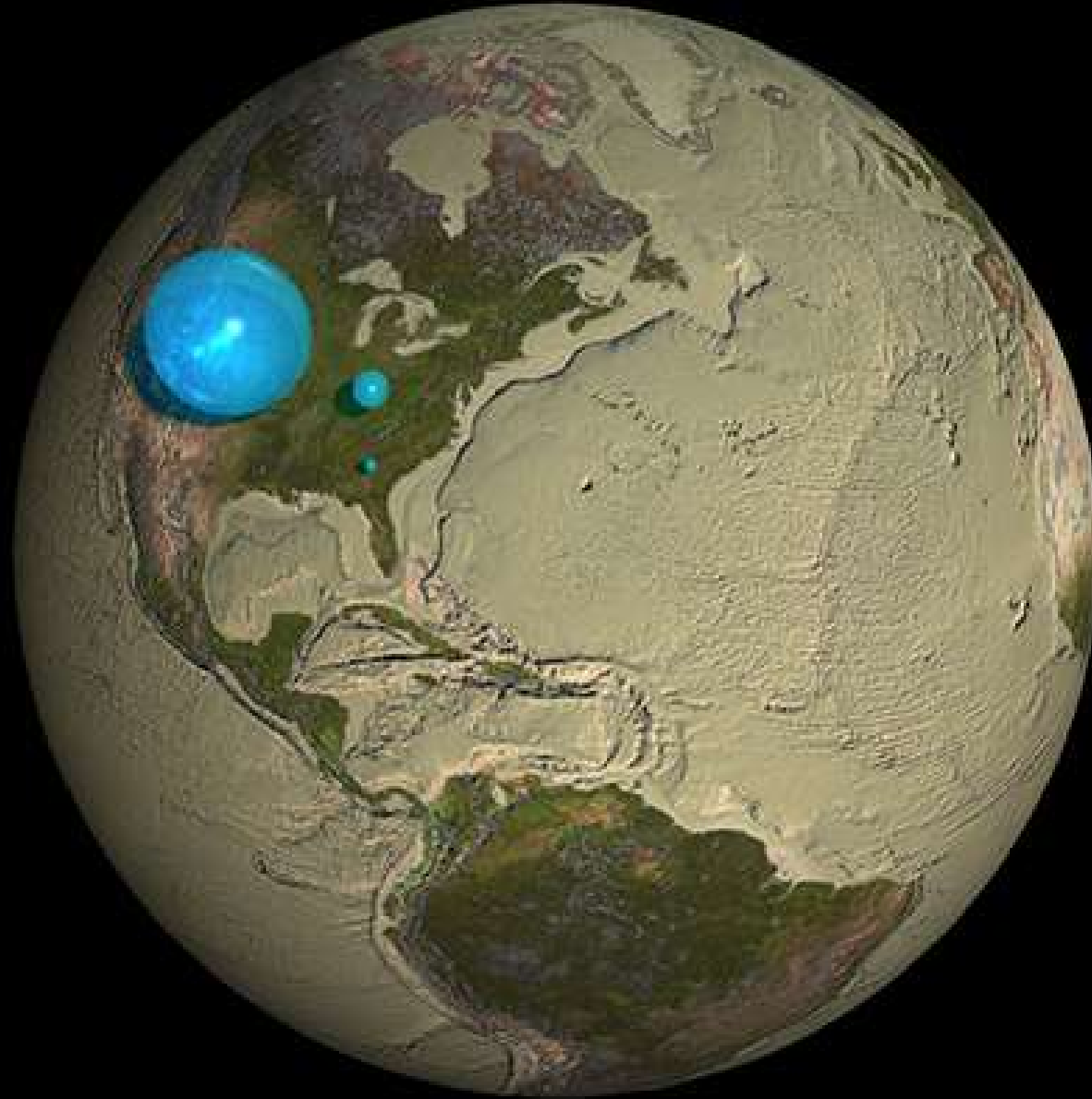
- ❖ DESTRUCCIÓN DE HÁBITATS: URBANIZACIÓN
- ❖ DEGRADACIÓN DEL SUELO
- ❖ DEFORESTACIÓN
- ❖ SOBREEXPLOTACIÓN DE RECURSOS: SOBREPESCA
- ❖ LA CONTAMINACIÓN
- ❖ CAMBIO CLIMÁTICO, ETC.



**SISTÉMICOS: interconectados - interdependientes**

Toda el agua oceánica de la Tierra (esfera grande), el agua dulce (mediana) y el agua dulce accesible al ser humano (pequeña)

## LA TIERRA DESPOJADA DE SU AGUA



Se estima que la profundidad media del océano es de aproximadamente 3,9 km  
El radio de la Tierra es de 6.371 km

Image credit: Howard Perlman, USGS; globe illustration by Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution (©); and Adam Nieman

# UNEP: United Nations Environment Programme

## Report: Keeping Track of Our Changing Environment. From Río to Río+20 (1992-2012)

Since 1992, the human **population has grown** by 1,450 million people

Global **CO<sub>2</sub> emissions continue** to rise, with 80% emitted by only 19 countries

Global mean **temperature increased by 0.4 °C** between 1992 and 2010

The **10 hottest years** ever measured have all occurred since 1998

Oceans are also warming, while **sea-level rise continues** unabated

**Oceans** are becoming more **acidic**

Most mountain **glaciers** around the world are **diminishing** rapidly

# UNEP: United Nations Environment Programme

## Report: Keeping Track of Our Changing Environment. From Río to Río+20 (1992-2012)

Higher agricultural yields **depend heavily on the use of fertilizers**

**Three crops have expanded dramatically** in the tropics, often replacing primary forests: **sugar cane** (ethanol), **soybeans** (livestock fodder), **palm oil** (for food and drug products, biofuel production). Soybeans and sugar cane in South America and palm oil in Indonesia

**Ever-increasing numbers of grazing animals** degrade already impoverished grasslands

**Renewable energy sources** (including biomass) currently account for **only 13%** of global energy supply. **Solar and wind energy account for only 0.3%** of global energy supply

The number of passenger **trips by airplane has doubled** since 1992



¿CONSEGUIREMOS UN MUNDO SOSTENIBLE?

¿SUPERAREMOS LOS RETOS AMBIENTALES QUE COMPROMETEN LA SOSTENIBILIDAD?

### ESCENARIOS

- MADUREZ ECOLÓGICA
- SALVACIÓN TECNOLÓGICA
- DESASTRE

**No lo sé (la sociedad no es una  
positividad cognoscible) pero hablemos  
de actitudes frente a los retos**

NEGACIONISTAS: teorías conspiranoicas, invento para manipularnos → *INACCIÓN*

CATASTROFISTAS: futuro distópico, vamos a morir todos → *INACCIÓN*

AVESTRUCES: no me cuentes nada que no quiero saber → *INACCIÓN*

INGENUOS: aquí no va a afectar, eso es en el sur → *INACCIÓN*

INDIVIDUALISTAS: me da igual, a mí no me va a afectar → *INACCIÓN*

CÍNICOS: nada que hacer, la gente es idiota, nadie cambia → *INACCIÓN*

OPTIMISTAS: no te preocupes, se descubrirá algo → *INACCIÓN*

Ni tecnofobia (no hay nada más humano que la tecnología) ni tecnolatría  
¡No somos omnipotentes!

**FRENTE A ESTAS ACTITUDES, DOS TÉRMINOS QUE MUEVEN A LA ACCIÓN REQUERIDA,  
LÉASE, A LA MITIGACIÓN + ADAPTACIÓN (NO PALIATIVA)**

**ÉTICA INTEGRADORA: SEAMOS BUENOS ANTEPASADOS (Roman Krznaric)**

**ESPERANZA:** siendo consciente de la posibilidad del fracaso, se aferra a la posibilidad del éxito a pesar de las circunstancias, impulsado por un intenso compromiso con un resultado en el que cree

# SEXTA EXTINCIÓN

*Edward O. Wilson*

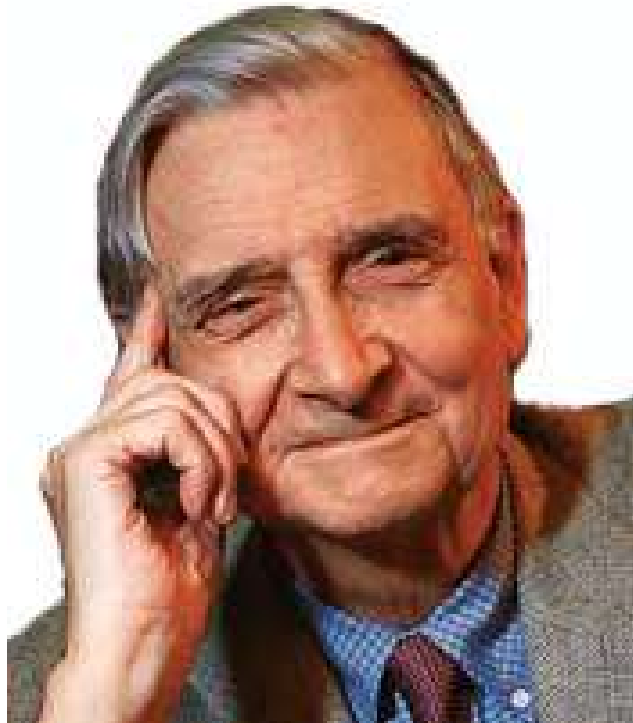
27.000 especies / año

72 especies / día

3 especies / hora

**150 especies al día (6,25 / hora)**

**30 especies de insectos al día**



**How much life there is on Earth?  
WE DON'T HAVE THE FAINTEST IDEA**

# BIODIVERSIDAD Recurso en peligro



**2018: 1.780.000 especies  
2 millones aproximadamente**

*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services  
IPBES (2019): Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the  
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S.  
Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (Eds). IPBES Secretariat, Bonn, Germany*

## SEXTA EXTINCIÓN MASIVA

**8 Millones**

Número estimado de especies de animales y plantas (5,5 millones de insectos) en nuestro planeta

**1 Millón**

Especies en riesgo de extinción (SIGLO XXI)

1 millón de especies en 80 años >>>>

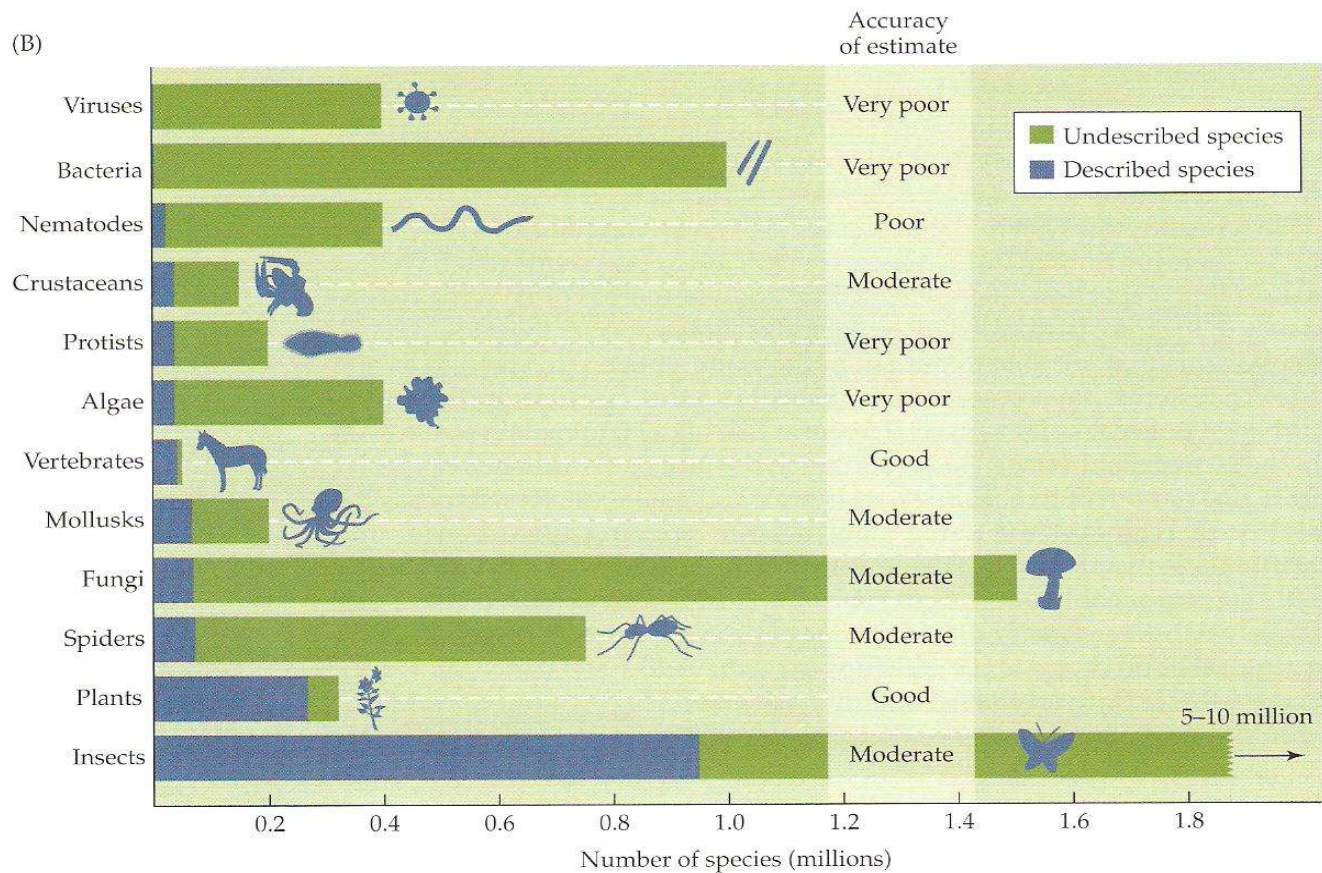
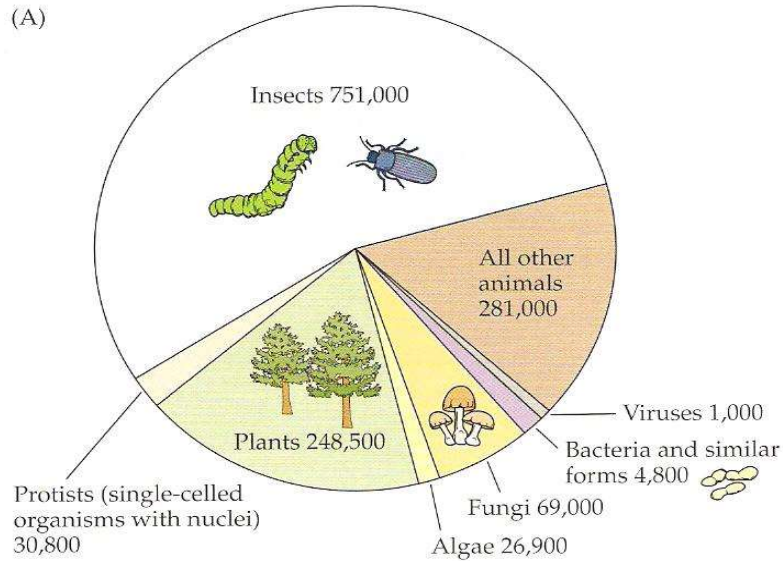
**¡34 especies / día!**

**¡1,4 especies / hora!**

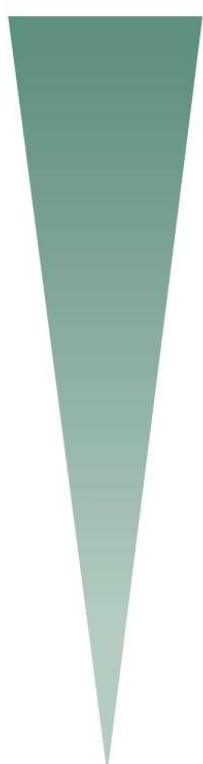


**Se calcula que actualmente se extinguen  
aproximadamente unas 20.000 especies al año  
(2,3 especies a la hora)**

# UN PLANETA INEXPLORADO BIOLÓGICAMENTE HABLANDO

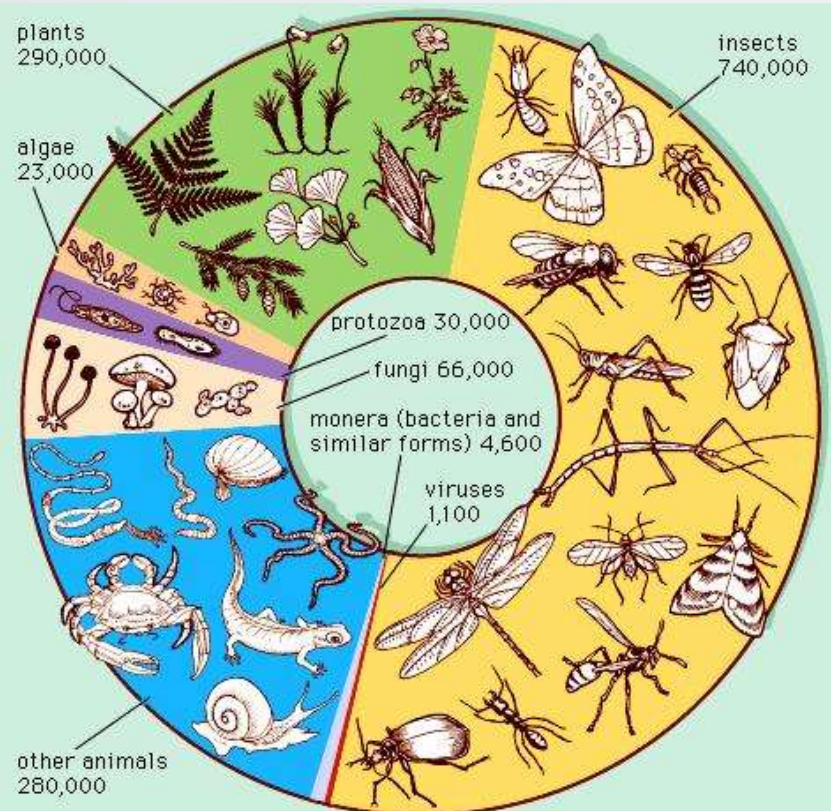


# VIVIMOS EN UN PLANETA BIOLÓGICAMENTE INEXPLORADO

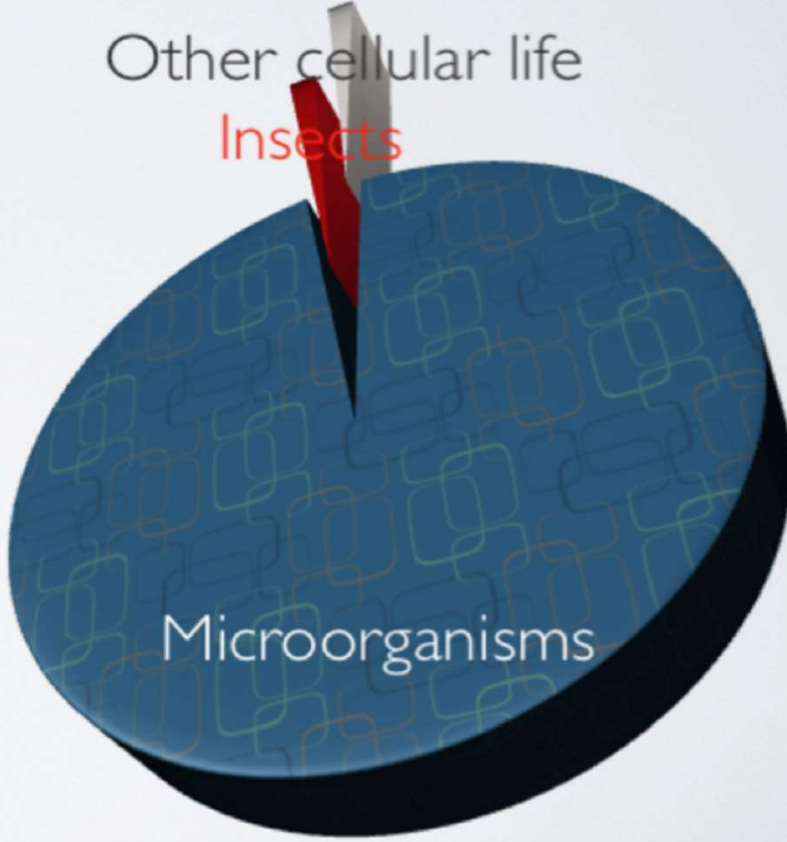
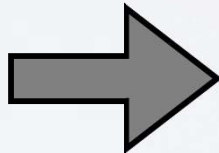


Organism size	Group	Known species	Estimated species	% described
	Vascular plants	350700	400000	88 %
	<b>Macrofauna</b>			
	Earthworms	7 000*	30 000*	23 %
	Ants	14000	25 000 - 30 000	60 - 50 %
	Termites	2700	3100	87 %
	<b>Mesofauna</b>			
	Mites	40000*	100000	55 %
	Collembolans	8 500*	50 000	17 %
	<b>Microfauna ad microorganisms</b>			
	Nematodes	20000 - 25000*	1 000 000 - 10 000 000*	0.2 - 2.5 %
	Protists	21 000*	7 000 000 - 70 000 000*	0.03 - 0.3 %
	Fungi	97 000	1 500 000 - 5 100 000	1.9 - 6.5 %
	Bacteria	15 000	>1 000 000	<1.5 %

# A ZOMBIE IDEA



©1996 Encyclopaedia Britannica, Inc.



(Archaea, Bacteria and Unicellular Eukaryotes)

# CAUSAS DE LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

## (Robert Watson, Shahid Naeem)

DESTRUCCIÓN DEL HÁBITAT (*en este momento, la mayor*)

- ❑ Tala de árboles para agricultura y ganadería
- ❑ Soja, cacao, café, aceite de palma, carne

CAMBIO CLIMÁTICO (*será la mayor*)

CONTAMINACIÓN

CAZA Y TRÁFICO ILEGAL DE FAUNA SILVESTRE, a menudo por sus propiedades “medicinales”

- ❑ Tráfico de pangolines - escamas: 175.000 interceptados en 2019. Las 8 especies de pangolines están en riesgo de extinción

**Número de mamíferos:** 60% ganado, 36% humanos, 4% resto

**Escalera de la extinción**

**MAYOR RIESGO DE PANDEMIAS:** comercio con vida salvaje, destrucción de hábitats, etc. incrementa el contacto con la fauna silvestre (y al desaparecer los grandes depredadores, aumentan las ratas, ratones, murciélagos,...)



**1937**

WORLD POPULATION: 2.3 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 280 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 66%

**1954**

WORLD POPULATION: 2.7 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 310 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 64%

**1960**

WORLD POPULATION: 3.0 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 315 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 62%

**1978**

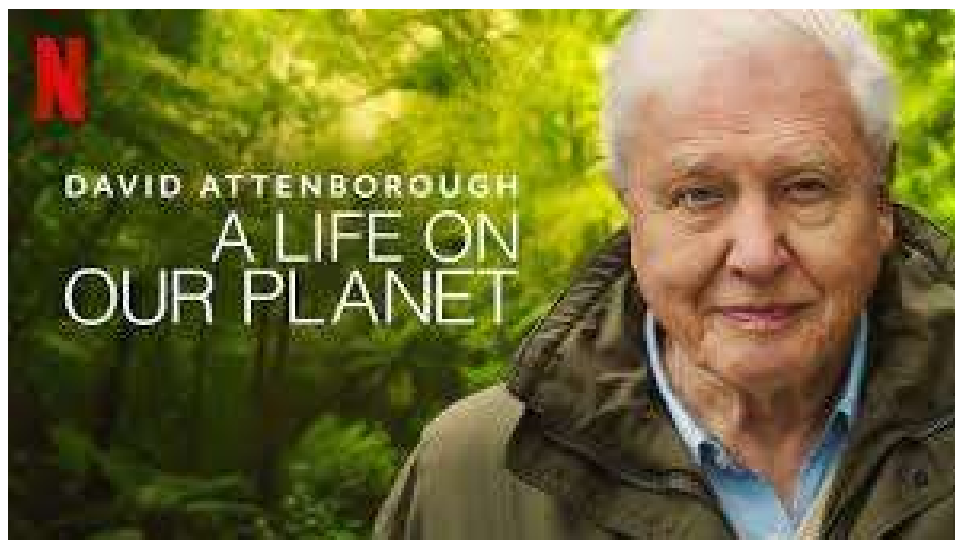
WORLD POPULATION: 4.3 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 335 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 55%

**1997**

WORLD POPULATION: 5.9 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 360 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 46%

**2020**

WORLD POPULATION: 7.8 BILLION  
CARBON IN ATMOSPHERE: 415 PPM  
REMAINING WILDERNESS: 35%





## Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)

*IPBES (2019): Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany*

- ❑ **75%: terrestrial environment “severely altered” to date by human actions (marine environments: 66%)**
- ❑ **8 million: total estimated number of animal and plant species on Earth (including 5.5 million insect species)**
- ❑ **>75%: global food crops that rely on pollination (insects – see your car: parte esencial de la cadena trófica de miles de especies)**
- ❑ **Tens to hundreds of times: the extent to which the current rate of global species extinction is higher compared to average over the last 10 million years, and the rate is accelerating (x 1000)**
- ❑ **Up to 1 million: species threatened with extinction, many within decades**

- ❑ **Most: Aichi Biodiversity Targets for 2020 likely to be missed**
- ❑ **>85%: of wetlands present in 1700 had been lost by 2000 – loss of wetlands is currently three times faster, in percentage terms, than forest loss**
- ❑ **70%: increase since 1970 in numbers of invasive alien species across 21 countries with detailed records (incluso en la película “Alien Covenant” de Ridley Scott)**
- ❑ **23-30%: land areas that have seen a reduction in productivity due to land degradation**
- ❑ **100 million: hectares of agricultural expansion in the tropics from 1980 to 2000, mainly cattle ranching in Latin America and plantations in Southeast Asia, half of it at the expense of intact forests**
- ❑ **50%: agricultural expansion that occurred at the expense of forests. 40% de la comida producida se desperdicia en origen**

# HOMEOSTASIS PLANETARIA EN PELIGRO

El equilibrio de la Biosfera se derrumbará si seguimos  
arrancándole eslabones

**Sostenibilidad ► Estabilidad (resistencia y resiliencia)  
► Biodiversidad**



La salud del suelo depende de su  
resiliencia: ¡CONSTRUYE SALUD,  
CONSTRUYE RESILIENCIA!

**¡ES TU SEGURO!**

HIPPO

Habitat destruction

Invasive species

Pollution

Population

Overharvesting

**LA AGRICULTURA ES  
RESPONSABLE EN PARTE**

# Mechanisms that underlie the relationships between **biodiversity and function:**

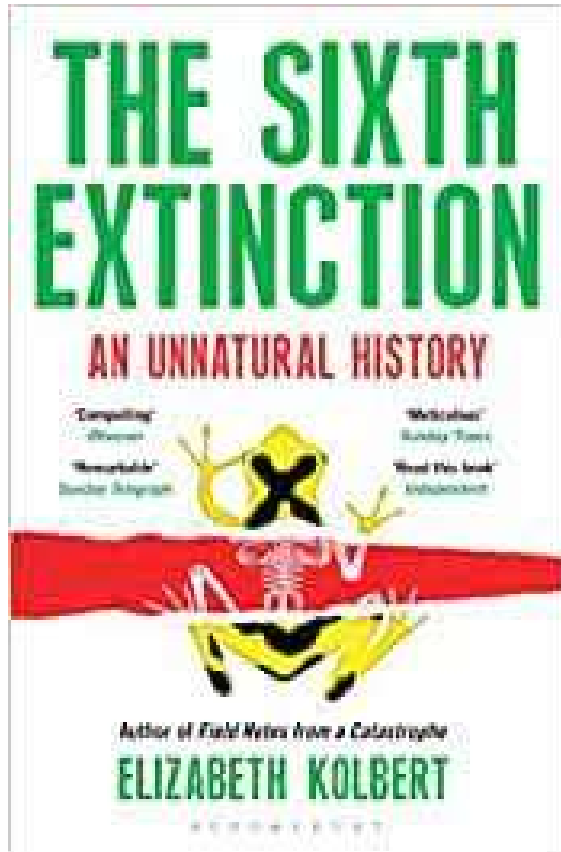
**REPertoire:** a diverse system will inherently carry a wider suite of potential abilities that will underwrite a wider range of functions

**INTERACTIONS:** a greater diversity of organisms offers a greater potential for interactions, and a more complex network of interactions may be more adaptive to change and resilient to disturbance

**REDUNDANCY:** the more organisms there are that can carry out a function, the more likely it is that if some are incapacitated or removed the process will remain unaffected; those that remain may fill the gap



# RECORDAD: TASA DE EXTINCIÓN Y TASA DE FORMACIÓN DE ESPECIES



Frontiers in Forest and Global Change – 15 April 2021 – Plumpter et al.  
WHERE MIGHT WE FIND ECOLOGICALLY INTACT COMMUNITIES?

## ECOLOGICAL INTEGRITY

**HABITAT INTACTNESS:** no anthropogenic habitat conversion / transformation

**BIOTIC (FAUNAL) INTACTNESS:** multiple taxonomic groups studied, but the focus is primarily on mammals, because **large and medium-sized mammals are often the first species to be affected by hunting**

**FUNCTIONAL INTACTNESS:** where there is no reduction in biota (faunal) densities below ecologically functional densities. **Below a functional density, important biotic INTERACTIONS are likely no longer fulfilling their ecological role**

## And FUNCTIONAL EXTINCTION

The reduced population no longer plays a significant role in ecosystem function, or the population is no longer viable

There are no individuals able to reproduce, or the small population of breeding individuals will not be able to sustain itself due to inbreeding depression and genetic drift, which leads to a loss of fitness

## ECOLOGICAL INTEGRITY IN PLANET EARTH

- **2.8% of terrestrial surface**
- **Only 11% of that 2.8% is protected**

# EN UN PUÑADO DE SUELO DE UN PASTO TEMPLADO

<b>Microorganismos Microfauna 1 - 100 <math>\mu</math>M</b>	<b>Mesofauna 100 <math>\mu</math>M - 2 mm</b>	<b>Macro/Megafauna &gt;2 mm</b>
<b>Bacterias</b> 100 billones 10.000-50.000 especies (1.000.000 especies / 10 g)	<b>Tardígrados</b>	<b>Lombrices</b>
<b>Hongos</b> 50 km hifas >500 especies	<b>Colémbolos</b>	<b>Hormigas</b>
<b>Protozoos (protistas)</b> 100.000 >100 especies	<b>Ácaros</b>	<b>Centípedos, cochinillas, etc.</b>
<b>Nematodos</b> 10.000 >100 especies	Juntos: >1.000 >100 especies	Juntos: >100 >10 especies



**SOIL BIODIVERSITY, *SOIL'S BIOLOGICAL INFRASTRUCTURE*, SUPPORTS THE MANY SOIL PROCESSES UPON WHICH KEY SOIL ECOSYSTEM SERVICES RELY (ECOSYSTEM SERVICES UPON WHICH OUR CIVILIZATION DEPENDS FOR SURVIVAL, WELL-BEING AND HEALTH)**

*Biodiversity has many facets:*

- ✓ *Richness*
- ✓ *Evenness*
- ✓ *Composition*
- ✓ *Phylogenetic relatedness*
- ✓ *Alpha, beta, gamma*
- ✓ *Structural, functional, interactions*
- ✓ *Spatial and temporal*
- ✓ *Interactions*
- ✓ *Genetic, species, ecosystems*
- ✓ ***Etc.***

¿TIENE SENTIDO HABLAR DE BIODIVERSIDAD?

¿TIENE SENTIDO PREGUNTARSE SI ESTE CONTAMINANTE ESTÁ AFECTANDO A LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO?

¿TIENE SENTIDO PREGUNTARSE SI ESTA PRÁCTICA AGRÍCOLA ESTÁ AFECTANDO POSITIVA O NEGATIVAMENTE A LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO?

## ***Look for / discard patterns***

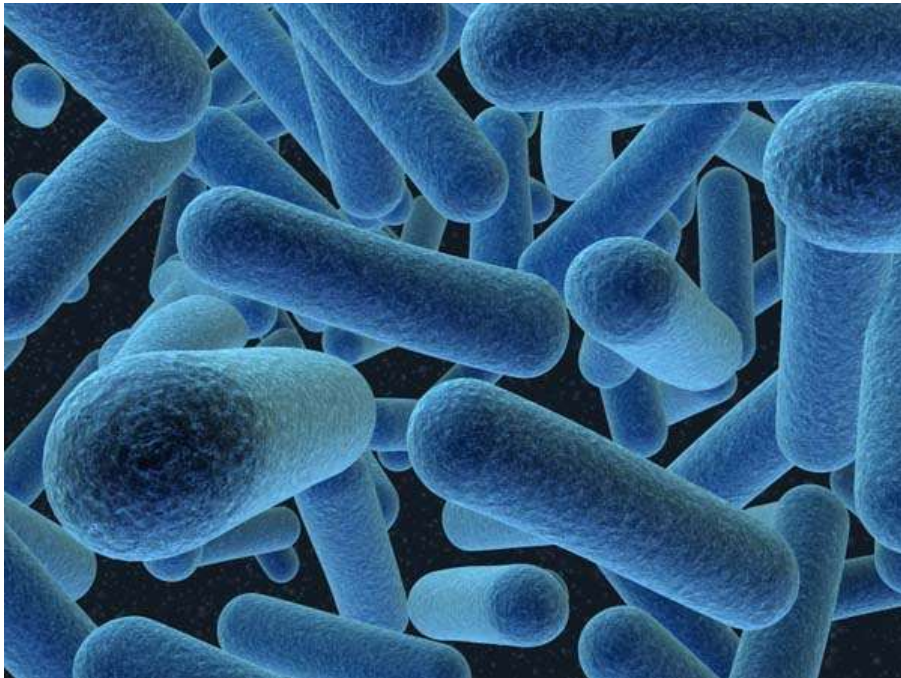
SOIL BIODIVERSITY IS THE FOUNDATION OF SOIL FUNCTIONING / SOIL HEALTH

SOIL BIODIVERSITY SUPPORTS THE **STRUCTURAL AND FUNCTIONAL NETWORKS (*SOIL'S ECOLOGICAL INFRASTRUCTURE*)** THAT CONFER ECOSYSTEM ATTRIBUTES (*emergent properties*). BIODIVERSITY CONFERS RESISTENCE AND RESILIENCE *THROUGH A WIDER REPERTOIRE OF PROCESSES, A HIGHER NUMBER OF INTERACTIONS AND A GREATER FUNCTIONAL REDUNDANCY*

SOIL BIODIVERSITY AND PROCESSES ARE ESSENTIAL FOR BIOSPHERE INTEGRITY WHICH, IN TURN, IS CRITICAL FOR PLANETARY HEALTH (OR NOT?)

**Si tenemos en cuenta las bacterias, hongos y otros microorganismos, el número de “especies” puede estar entre 100 y 1.000 millones**

**SUELO: en un puñado de suelo puede haber unos 100 billones de bacterias pertenecientes a entre 10.000 - 100.000 especies. En una tonelada de suelo, puede haber 4 - 5 millones de especies de bacterias**



- ❑ **5 - 7.7 million species of animals**
- ❑ **500.000 species of plants**
- ❑ **6 - 8 million species of terrestrial fungi**
- ❑ **Up to 1 trillion ( $10^{12}$ ) species of prokaryotes**

*Nature Microbiol 10.1038/s41564-022-01228-3*

A 45% decline in mushroom-forming mycorrhizal fungi across Europe

Co-extinction as their hosts face increasing population declines





**¡NO SOMOS PEQUEÑOS!**



# SOMOS EN GRAN PARTE (57%) MICROBIANOS ¡SOMOS UNA COMUNIDAD!



## MAYOR DESCUBRIMIENTO DESDE DARWIN

### No podemos sobrevivir sin nuestros simbioses microbianos

Cada uno tenemos nuestra propia microbiota, conformada por los lugares en que hemos vivido, las medicinas que hemos tomado, la comida que hemos ingerido, los años que hemos vivido, las manos que hemos estrechado, las personas y mascotas con las que hemos vivido, etc.

Cada parte del cuerpo tiene su propio *terroir* microbiano (temperatura, oxígeno, acidez, humedad, nutrientes, etc.). Y cada persona el suyo: “en los teclados del ordenador están las **firmas** microbianas de las yemas de nuestros dedos”

Tenemos unas  $10^{14}$  bacterias pululando por nuestro cuerpo (mayor parte en el intestino)

El número de **anaerobias supera en 100 veces a las aerobias**

**Más de 10.000** especies de bacterias

2.000.000 de genes microbianos y 23.000 genes humanos

(**1% de los genes** que habitan en nuestro cuerpo son humanos)

**Mitocondrias - endosimbiosis: Margulis**  
(ese artículo fue rechazado 15 veces antes de publicarse en 1967)

**1.000 especies en la boca**  
**1.000 especies en el intestino**  
**500 especies en la piel**



## ALGUNOS DATOS CURIOSOS PARA CONOCER MEJOR Y DIMENSIONAR ESTE TEMA:

**Primera gran inoculación:** el PARTO (cesárea: gasa en la vagina para que recoja las secreciones cargadas de bacterias y luego se frota la piel y la boca del recién nacido). Su primera bocanada de aire, le ponen la ropa, le secan con una toalla, le tocan sus familiares, la leche materna, etc., etc. **Es un nicho listo para ser colonizado**

En un **gramo** de heces humanas: **10.000 – 100.000 millones** de bacterias. Un adulto sano puede **eliminar diariamente 30 millones de millones** de bacterias

**Trasplantes fecales (*Clostridium difficile*): CRAPSULES**

En vez de yogures, ¿llegaremos a comprar en el supermercado “crapsules” como probióticos?

**Ingerimos** de media 1 millón de microorganismos por cada gramo de alimento que comemos

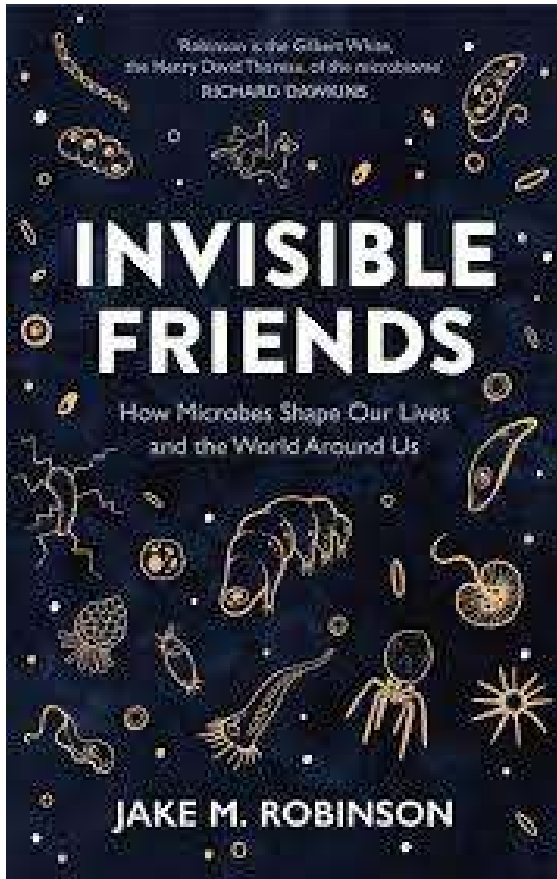
En un **beso íntimo** de 10 segundos intercambiamos 80 millones de bacterias

Parece que la **microbiota femenina** es más compleja y diversa que la de los hombres



Cada persona tiene su propia **nube de bacterias** (puede alcanzar un diámetro de 90 cm). **Nuestro microbioma NO ESTÁ CONFINADO EN NUESTRO CUERPO, SINO QUE DE FORMA CONSTANTE ALCANZA NUESTRO ENTORNO.** Cada persona aerosoliza alrededor de 38 millones de bacterias por hora. **Somos como PIG PEN**

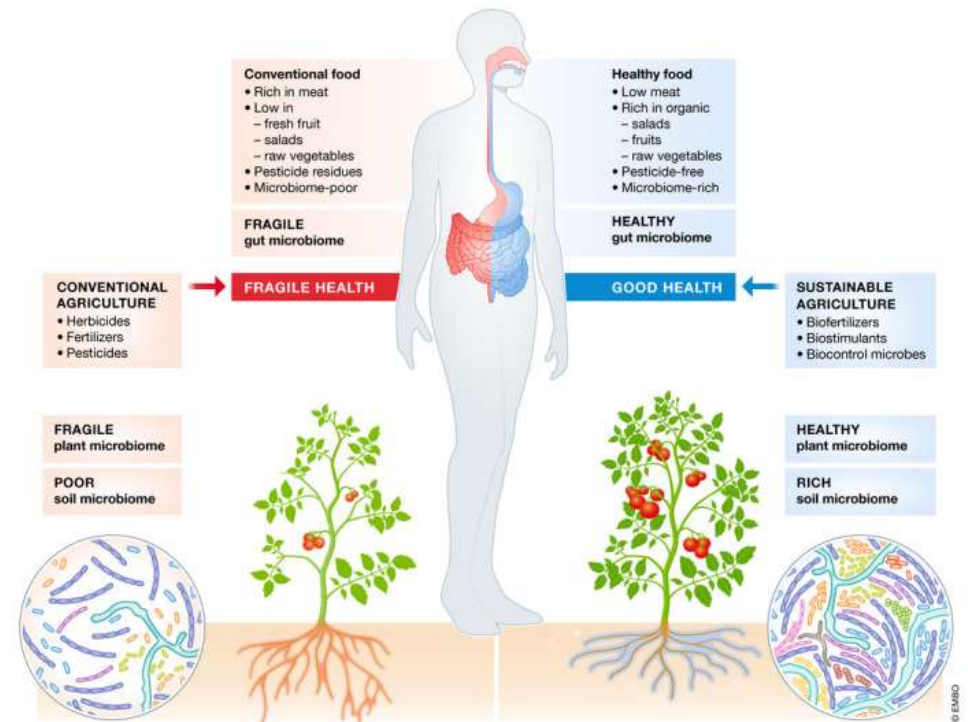




# MICROBIOTA Y JUSTICIA SOCIAL

LA DIETA Y EL ACCESO A ESPACIOS VERDES DE CALIDAD PUEDEN INFLUIR POSITIVAMENTE EN EL MICROBIOMA HUMANO

**MICROBIOME-INSPIRED GREEN INFRASTRUCTURE**

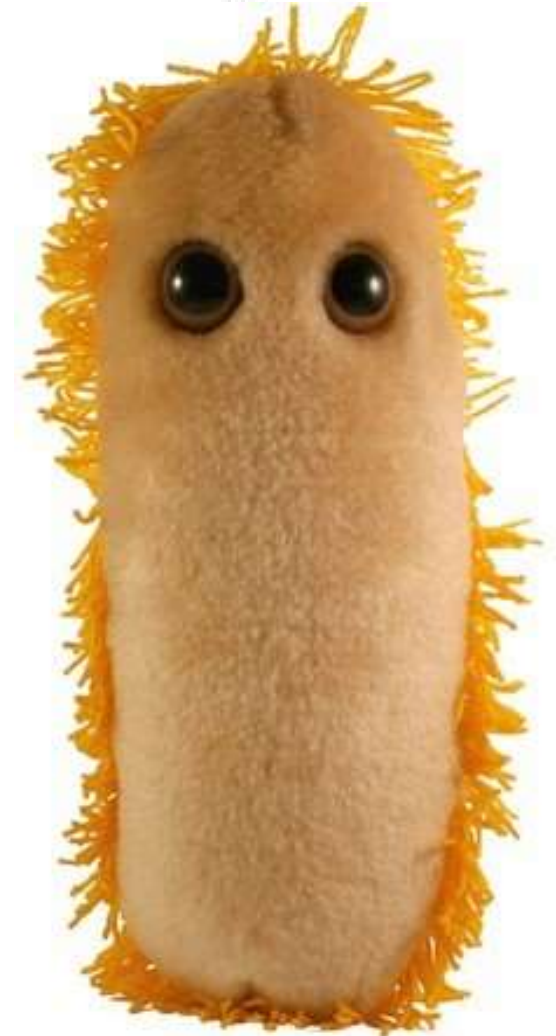


Healthy soils for healthy plants for healthy humans  
(EMBO Rep. 2020 Aug 5; 21(8): e51069)

UNA RED MICROBIANA HA COLONIZADO TODO EL PLANETA

- LA OBRA DE ARQUITECTURA BIOLÓGICA MÁS COMPLEJA Y FASCINANTE
- LAS BACTERIAS Y NOSOTROS MISMOS SOMOS NODOS DE ESA RED
- EL ÚNICO EJEMPLO DE SOSTENIBILIDAD

*Una mosca se posa en mi brazo. Momentos antes, se había posado en un pino y en varias piedras de un río. Ha depositado y recogido bacterias a cada paso. Además, las bacterias se adhieren al cuerpo de la mosca mientras vuela por el aire. Se trata de una **CONEXIÓN ORGÁNICA ULTRALIGERA**. Las bacterias de mi brazo se unen al ecosistema personal de la mosca. **ES UN INTERNET BIOLÓGICO EN CONSTANTE CAMBIO**. Todos estamos conectados a través de las bacterias*



**¡NO SOMOS MALOS!**

# Hay que matar a todas las bacterias...



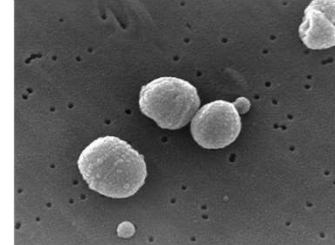
*Yersinia pestis*  
Peste negra



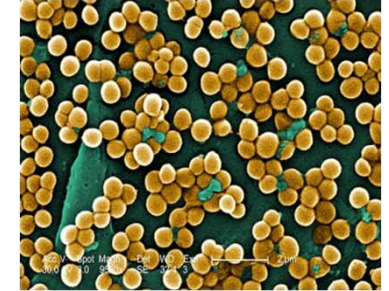
*Mycobacterium leprae*  
Lepra



*Escherichia coli*  
Infecciones de orina



*Streptococcus pneumoniae*  
Neumonía, otitis, meningitis



*Staphylococcus aureus*  
Gastroenteritis



...las bacterias son nuestras amigas

## NI LO UNO NI LO OTRO...

**SIMBIOSIS** (del griego: σύν, *syn*, *juntos*; y βίωσις, *biosis*, *vivir*) significa **vivir juntos**. Es un error asumir connotaciones de cooperación y armonía

LA REALIDAD ES QUE LA SIMBIOSIS ES CONFLICTO NUNCA TOTALMENTE RESUELTO

La relación “huésped-simbionte” es COMPLEJA, CONFLICTIVA y CONTEXTUAL

**SÚPER-ORGANISMO ⇒ EXPLOTACIÓN RECÍPROCA**

(“Por el interés te quiero Andrés”)

## COMPETICIÓN Y COLABORACIÓN

SU “BONDAD” O “MALDAD” DEPENDE DEL CONTEXTO:

*Escherichia coli* en el intestino: si llega al aparato urinario, cistitis

*Streptococcus pyogenes* en la boca. Si llega al aparato respiratorio, neumonía

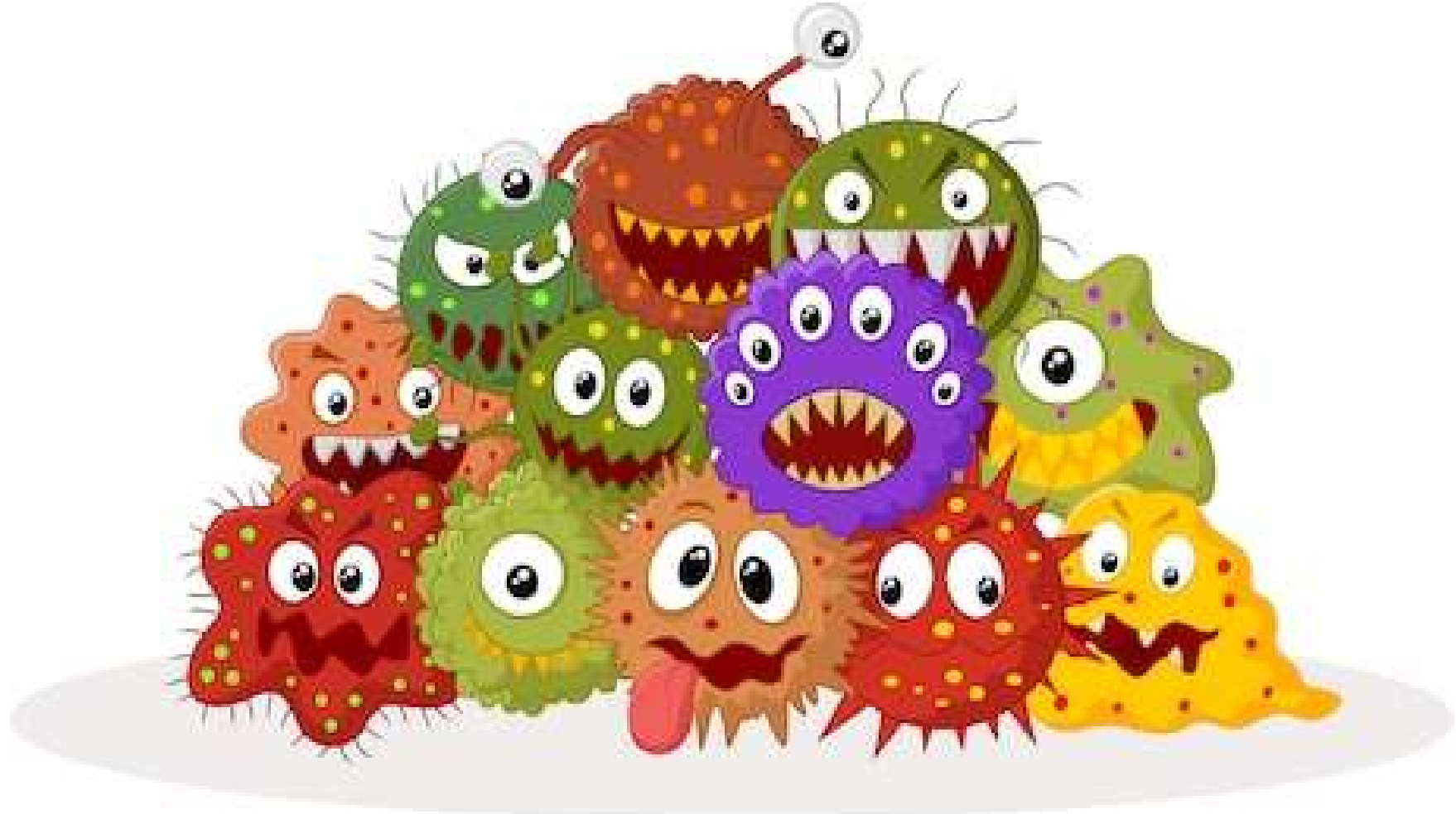
*Helicobacter pylori* causa úlceras y cáncer de estómago, pero protege contra el cáncer de esófago

Incluso las mitocondrias: ¡Traidoras después de 2.000 millones de años de relación!



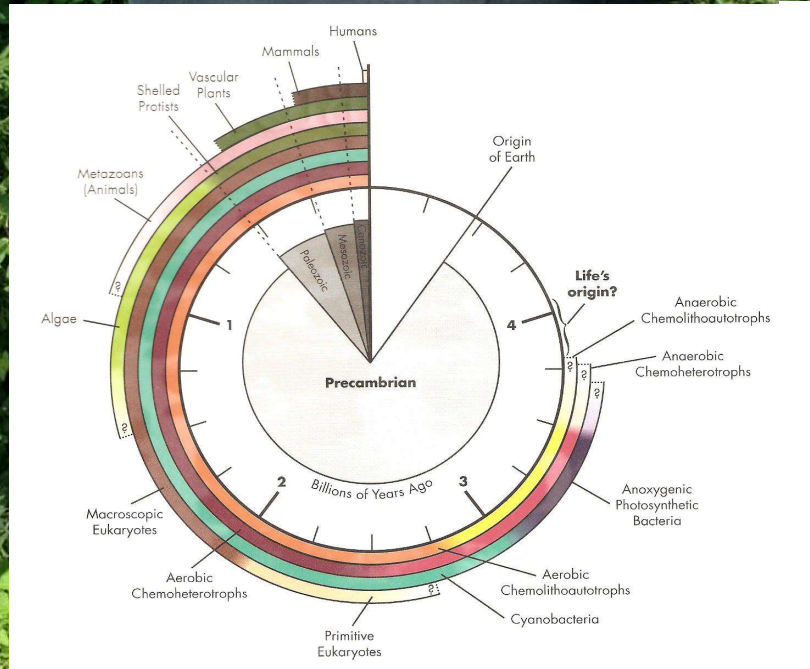
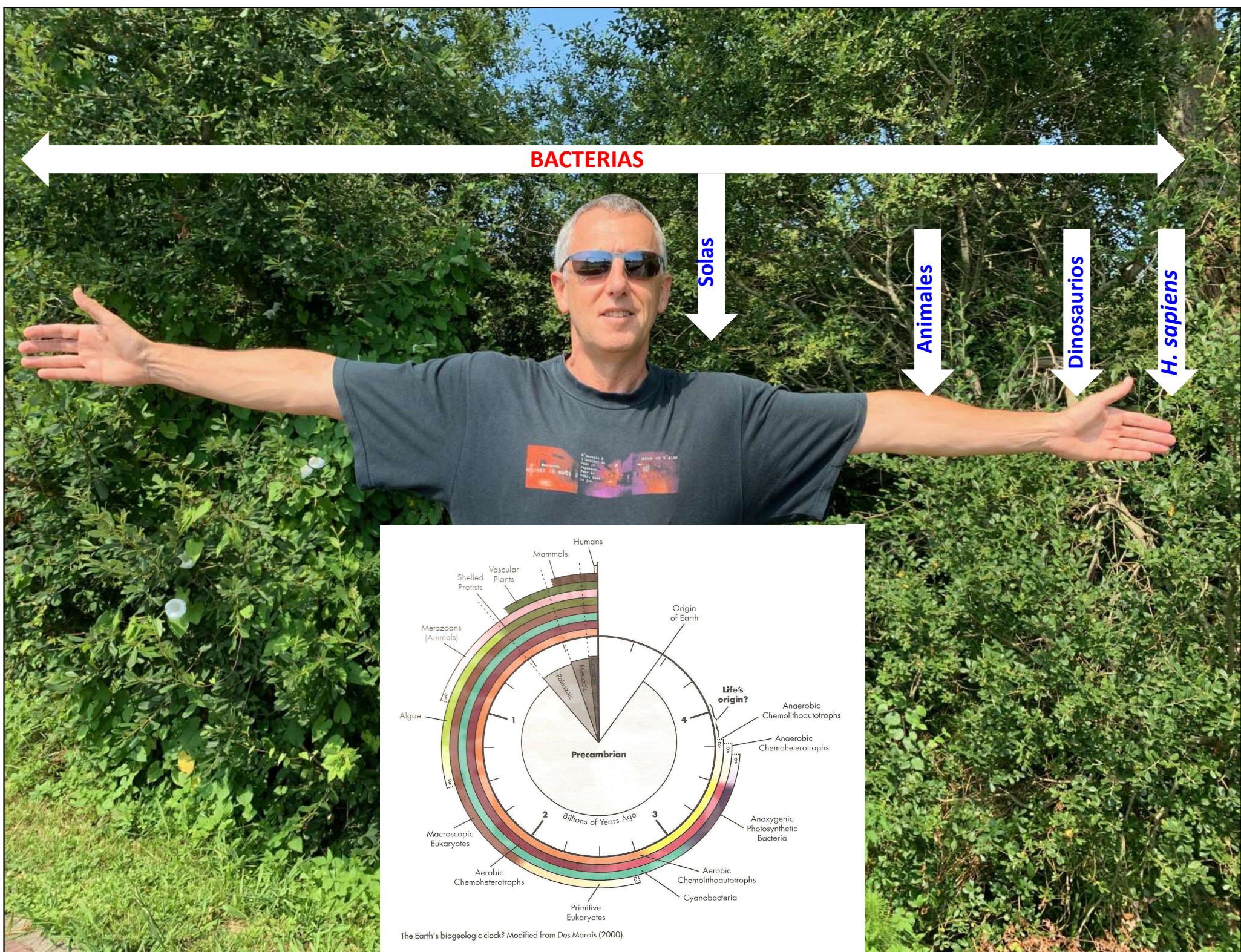


# ESTE PLANETA ES SUYO



**DOMINAMOS EN ABUNDANCIA ( $\neq$  biomasa), ACTIVIDAD Y BIODIVERSIDAD. Y OS BARREMOS EN LONGEVIDAD**

LLEVAN AQUÍ 3.800 millones de años *vs. Homo sapiens* = *ca.* 250.000 años



The Earth's biogeologic clock? Modified from Des Marais (2000).

# ESTÁN EN TODOS LOS SITIOS (UBICUIDAD) Y VIAJAN MUCHO POR TIERRA, MAR Y AIRE...

Viajan con nosotros en avión, coche, tren, barco, etc.

Viajan cuando transportamos animales, plantas (alimentos) y mercancías

Viajan con las migraciones animales: pájaros, mamíferos

Viajan por los ríos (e.g., desde los efluentes de las EDAR)

Viajan cuando regamos los campos con aguas residuales

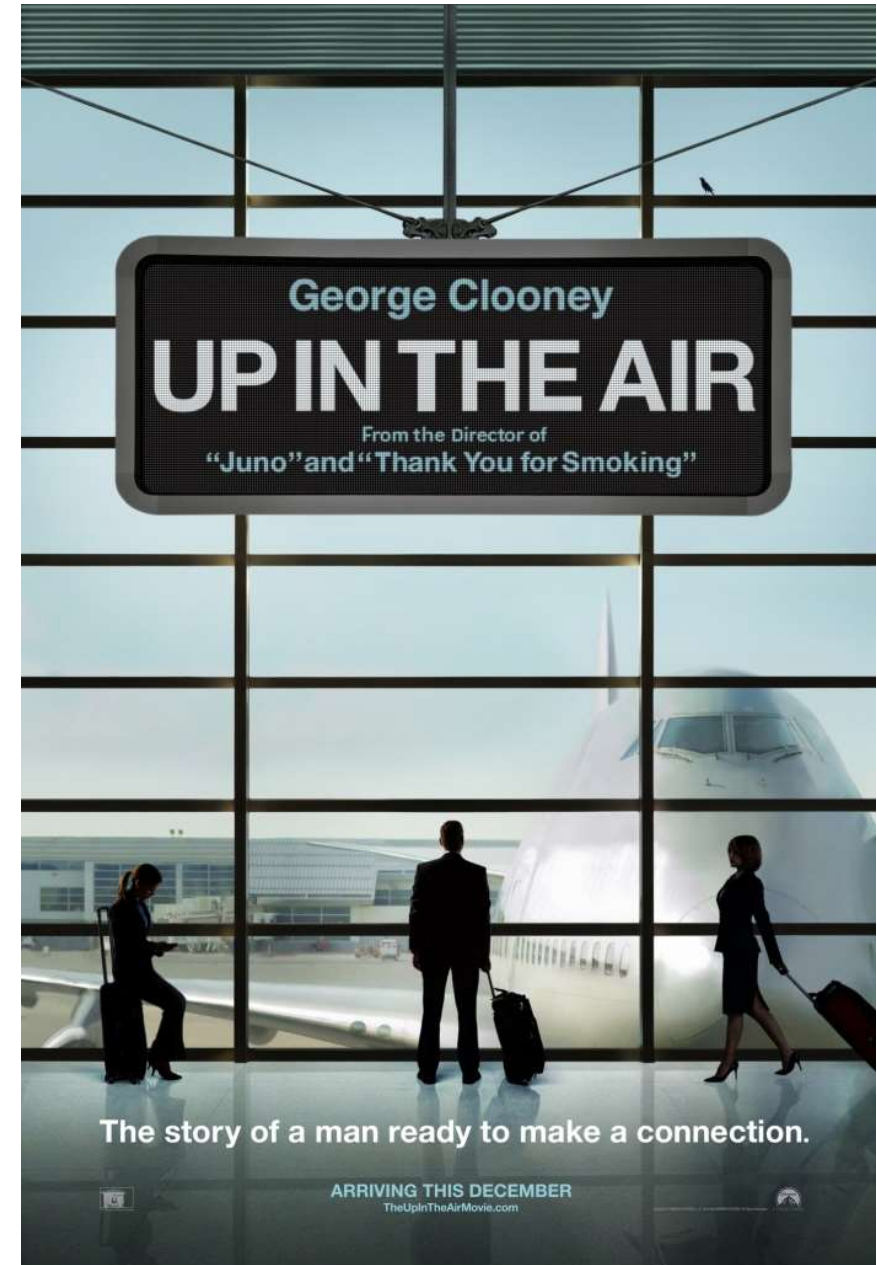
Viajan pegadas a partículas de polvo atmosférico (¡Pueden cruzar el Océano Atlántico en 3 días y llegar desde África a América!)

**Los humanos movemos más suelo, arena y roca que todos los procesos naturales juntos: la erosión fluvial natural asciende a 21 gigatons al año. La erosión causada por la agricultura: 75 gigatons al año**

**1 GIGATON = 1.000 MILLONES DE TONELADAS**

**El suelo contiene 1 billón de bacterias por gramo**

**IMAGINAD LA CANTIDAD DE MICROORGANISMOS QUE SE DESPLAZAN POR ESTA EROSIÓN**



# EN TAMAÑO, SOMOS PARA LAS BACTERIAS LO MISMO QUE LA TIERRA ES PARA NOSOTROS

Si bacteria =  $1 \mu\text{m}$  y humano =  $1,80 \text{ m} = 1.800.000 \mu\text{m} \rightarrow 1,8 \text{ m} \times 1.800.000 =$   
 $3.240.000 \text{ m} = \mathbf{3.240 \text{ km}}$

*Radio de la Tierra: 6.371 km*

El intestino delgado mide aproximadamente  $7 \text{ m} = 7.000.000 \mu\text{m}$

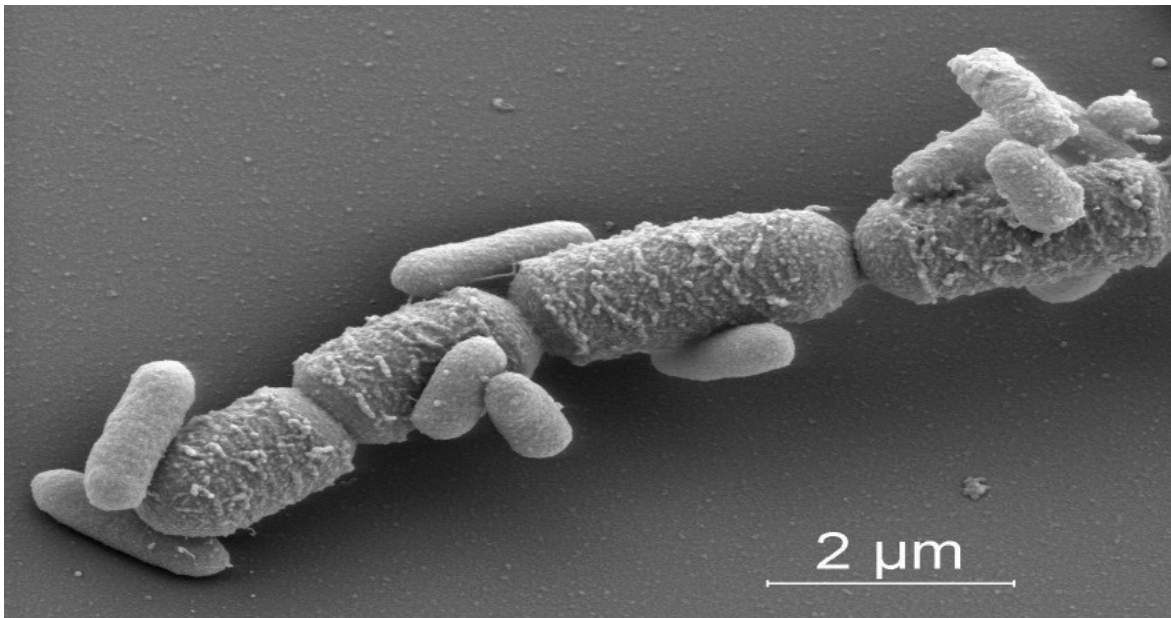
Si *E. coli* tiene  $2 \mu\text{m}$  de largo  $\rightarrow$  intestino delgado tiene 3.500.000 ( $7.000.000 / 2$ ) veces su longitud

Si una persona mide  $1,80 \text{ m}$ , 3.500.000 veces su longitud son  $6.300.000 \text{ m} = \mathbf{6.300 \text{ km}}$

El intestino grueso mide aproximadamente  $1,5 \text{ m} = 1.500.000 \mu\text{m}$

Si *E. coli* tiene  $2 \mu\text{m}$  de largo  $\gg$  intestino delgado tiene 750.000 ( $1.500.000 / 2$ ) veces su longitud

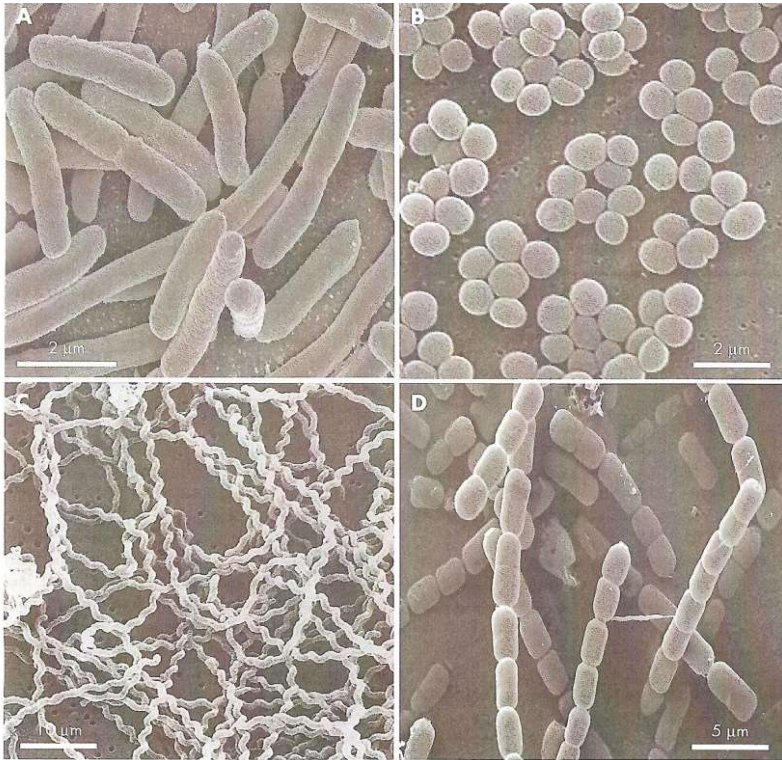
Si una persona mide  $1,80 \text{ m}$ , 750.000 veces su longitud son  $1.350.000 \text{ m} = \mathbf{1.350 \text{ km}}$



*Escherichia coli*:  $2 \mu\text{m}$  (longitud)

*Bacillus megaterium*:  $3-7 \mu\text{m}$

# MICROORGANISMS: THE HIDDEN MAJORITY



Microbes make up more than one half of the Earth's biomass (probably much more: >80%)

*Sorcerer II*: every 200 miles the genes in the microbes are 85% different



More than  $10^{16}$  prokaryotes in a ton of soil compared to a mere  $10^{11}$  stars in our galaxy

There could be  $10^7$  distinct prokaryote taxa in 10 grams of pristine soil. Rare organisms comprise most of this diversity

**THE RARE BIOSPHERE: FRACTION THAT REPRESENTS A MINORITY OF THE BIOMASS YET A MAJORITY OF THE GENOMIC DIVERSITY**

**Each a ticket-holder in life's lottery, awaiting conditions that will allow it to prosper**

# CENSUS OF MARINE LIFE: 10 years (published Oct 2010), 2,700 scientists, >80 nations, >6,000 potential new species

**Making Ocean Life Count**

## CENSUS OF MARINE LIFE

The Census of Marine Life is a global network of researchers in more than 80 nations engaged in a 10-year scientific initiative to assess and explain the diversity, distribution, and abundance of marine life in the oceans. The world's first comprehensive Census of Marine Life—past, present, and future—will be released in 2010.

**Arctic Ocean Diversity**  
AROD is an international collaborative effort to inventory biodiversity in the Arctic seas, river outlets, and sea floor from the Arctic Circle to the deep ocean.

**Census of Antarctic Marine Life**  
CAML focuses on the diversity and abundance of Antarctic marine biota. Yetis, here it is affected by climate change, and how that will affect the rest of the ecosystem services currently provided by the Southern Ocean for the benefit of a world.

**Census of Diversity of Abyssal Marine Life**  
GADAMAR is a deep-sea project documenting species diversity of abyssal life to increase understanding of the historical and ongoing factors regulating biodiversity and global climate.

**Census of Marine Life on Seamounts**  
ZEMMERS is a global study of seamount ecosystems to determine their role in the biogeography, biodiversity, and ecosystem services of the world's oceans, and to evaluate the effects of human exploitation on these ecosystems.

**Biogeography of Deep-sea**  
**Chemosynthetic Ecosystems**  
ODS is a global study of the biogeography of deep-sea chemosynthetic ecosystems and the processes that drive them.

**Census of Marine Zooplankton**  
CIMOZ is a global, interdisciplinary study of the biodiversity component of an ecosystem, including zooplankton, and their interactions with the environment.

**Coastal Margins**  
COMARGE is an ongoing effort to document and explore biodiversity patterns on global coastal margins, including the potential for climate change to modify their diversity and composition.

**Census of Coral Reefs**  
COCORIS is an international cooperative effort to increase regional scientific capacity, conduct a comprehensive diversity global survey of coral reef ecosystems, and improve access to only local and regional information available through the globe.

**Future of Marine Animal Populations**  
FMAP attempts to describe and predict future changing patterns of 16 marine animal populations, including 10 deep-sea species, and to evaluate the effects of fishing, climate change, and other key variables on these projects.

**Gulf of Mexico Arce Program**  
GOMAR is a U.S. Canadian project documenting patterns of biodiversity in the Gulf of Mexico to create a baseline for ecosystem-based management in a large marine ecosystem.

**History of Marine Animal Populations**  
HMAP is an international effort to reconstruct the history of marine animal populations and species in response to the significant changes that have shaped the oceans since the origin of life.

**International Census of Marine Microbes**  
ICoMM is a global effort to document and explore the diversity of marine microbes and their interactions with the environment, which extends for 10 years of marine life.

**Mid-Atlantic Ridge Ecosystem Project**  
MAR-ECO is an international collaborative study of the biodiversity of the Mid-Atlantic Ridge, including the processes that control their distribution and community structure in the same oceanic ridge.

**Natural Geography of In-Situ Areas**  
NAGISA is an international collaborative effort to document and explore the natural geography of in-situ areas.

**Ocean Biogeographic Information System**  
OBIS is a global database of species distribution and abundance, with web services for searching, analyzing, and visualizing data.

**Pacific Ocean Shelf Tracking Project**  
POST is a program to identify and protect the reproduction of sea otter, scallop, and other commercially important species.

**Tagging of Pacific Predators**  
TOPP is a long-term study of marine predators to study migration patterns of large marine animals and the ecological impact of their movements.

**Education and Outreach**  
The Census of Marine Life believes in the importance of making the ocean's diversity, abundance, and beauty known to the public. Education and outreach is an integral part of work of the CML program.

**Census Governance**  
This unprecedented international scientific collaboration of 2,700+ scientists from over 80 nations is coordinated by the Consortium for Oceanographic Research and Education (CORE), located in Washington, D.C., and governed by international, national, and regional scientific advisory committees.

**Affiliated Projects**  
Census of Marine Life Support the Diversity of Life (CMLSD) is a global effort to document and explore the diversity of marine life, including the potential for climate change to modify their diversity and composition.

**Global Biodiversity of the Gulf of Mexico**  
GOMAR is a U.S. Canadian project documenting patterns of biodiversity in the Gulf of Mexico to create a baseline for ecosystem-based management in a large marine ecosystem.

**COMARGE**  
**POST**  
**ChESS**  
**FMAR**  
**ICoMM**  
**ArcOD**  
**TOPE**  
**GBR**  
**NaGISA**  
**MAR-ECO**  
**OBIS**  
**GoMA**  
**CRReefs**  
**GoMX**

**www.coml.org**

Census of Marine Life Secretariat  
1000 North West Street  
Washington, DC 20007  
Tel: 202-336-5000  
Fax: 202-336-5001  
www.coml.org

**Microbial mats** the size of Greece found on O<sub>2</sub>-starved South American seafloor

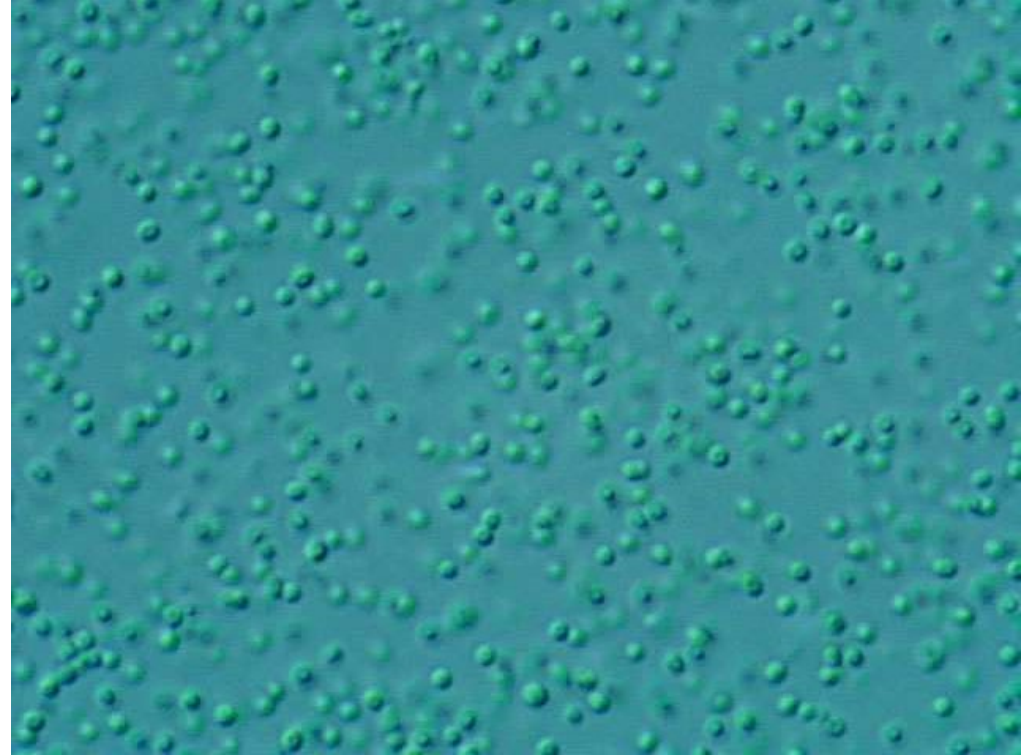
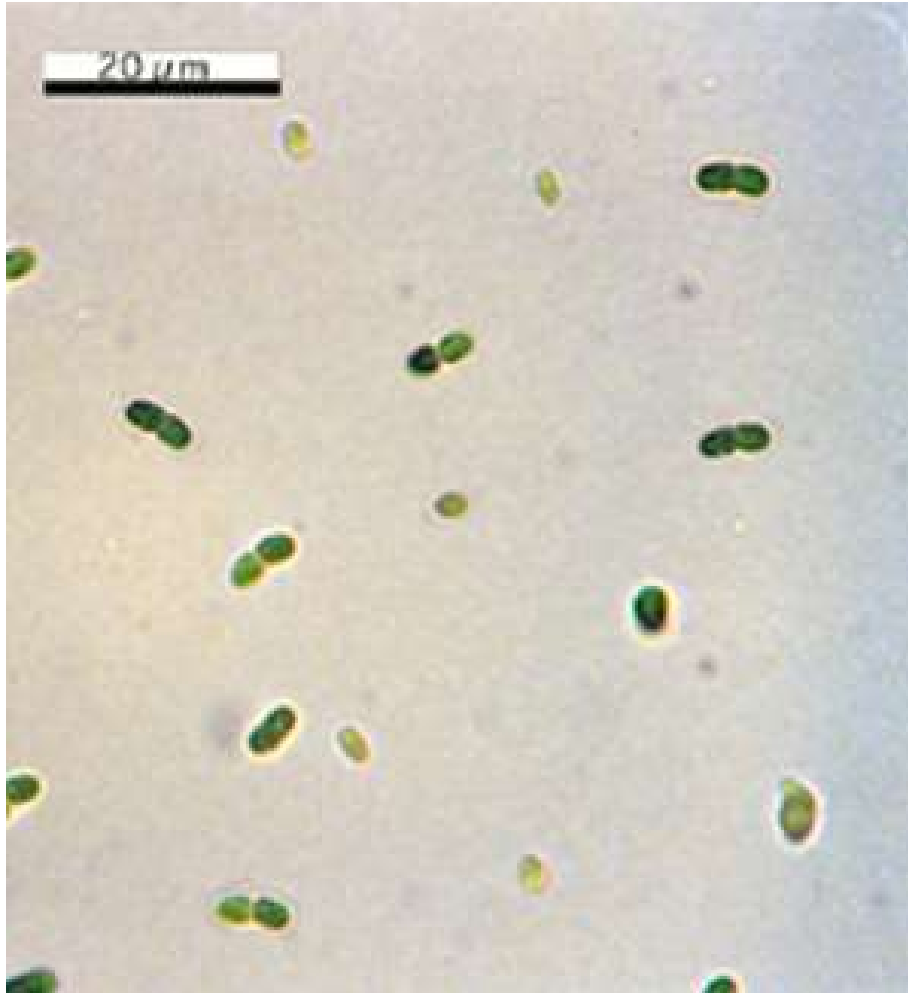
The deep sea rivals such **highly diverse** ecosystems as tropical rainforests and coral reefs

Microbial cells in the oceans' water column collectively weigh the equivalent of 240 billion African elephants: **35 elephants of marine microbes per person**

Marine microbes constitute **50-90 percent of all ocean biomass** and are responsible for more than **95% of its respiration**

## *PROCHLOROCOCCUS*

Responsible for as much as 50% of the carbon fixation in the oceans; oceans account for approximately half of global C fixation



Along with *SYNECHOCOCCUS*, *Prochlorococcus* cells are the principal primary producers of the phytoplankton which is responsible for half of the photosynthesis on the planet

MICROORGANISMS: vital role in the main processes of our planet

PHOTOSYNTHESIS  
NITROGEN FIXATION  
ORGANIC MATTER DECOMPOSITION  
NUTRIENT CYCLING



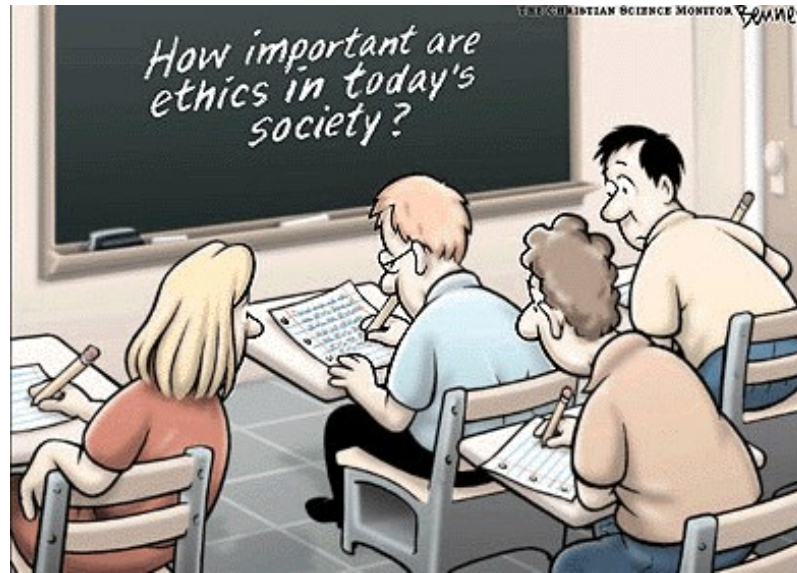
Regarding their importance to the functioning of the system, the ecologically most important group are the *prokaryotes* followed by the *single-celled eukaryotes* and then the *fungi* and *plants*. The least important group is the animals

**It is almost exactly opposite to the amount of attention given to these groups by ecologists and environmentalists**



# INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

En el pasado: valores intrínsecos, criterios éticos



**Actualmente: contribución de la biodiversidad a la calidad de vida y el bienestar de las sociedades humanas**



# CONSERVATION OF “HOTSPOTS” OF BIODIVERSITY



Soil bacterial diversity peaks in soils that have a neutral pH, so, while the tropics are considered hotspots of biodiversity for plants and animals, the acidic soil found in tropical regions makes these areas more like deserts for soil bacteria

**Will designated hotspots really capture most of the Earth's living organisms?**

# VISIÓN ECONOMICISTA: SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS ¡¡PRECAUCIÓN!!

## SERVICIOS

RECICLAJE DE NUTRIENTES  
PRODUCCIÓN DE ALIMENTO  
FORMACIÓN DE SUELO  
POLINIZACIÓN  
REGULACIÓN DEL CLIMA  
CONTROL DE LA EROSIÓN  
MATERIAS PRIMAS  
RECREACIÓN  
DEPURACIÓN DE AGUA  
SUMINISTRO DE AGUA  
CONTROL BIOLÓGICO  
REGULACIÓN DE GASES-ATMÓSFERA  
REGULACIÓN DE PERTURBACIONES  
REGULACIÓN FLUJOS HIDROLÓGICOS  
REFUGIO  
RECURSOS GENÉTICOS  
VALORES CULTURALES



**EL VALOR ECONÓMICO DE SÓLO  
PARTE DE LOS SERVICIOS QUE NOS  
PROVEEN LOS ECOSISTEMAS SE  
ESTIMA QUE *TRIPLICA EL PNB  
GLOBAL***

**“TODO NECIO CONFUNDE VALOR Y PRECIO”**

**“LO QUE TIENE PRECIO SE PUEDE COMPRAR”**



En un conflicto ambiental se despliegan valores muy distintos, ecológicos, culturales, sentimentales, económicos....

No se puede introducir todo en el túrmix de un análisis costo-beneficio

# NO SIRVE LA VISIÓN REDUCCIONISTA



# COGWORLD versus BUGWORLD



## COMPLICATED SYSTEM

- Everything interconnected
- Size and behaviour of cogs doesn't change over time
- If you were to change the speed of some cogs there is a proportionate change in the speed of other connected cogs
- Components never change
- The system responds to the external environment in a linear and predictable manner
- Cannot adapt to changing world



## COMPLEX SYSTEM

- Bugs interact with each other
- Performance depends on these interactions
- Some subgroups of bugs are loosely connected to other subgroups of bugs
- Bugs can make and break connections with other bugs
- Bugs reproduce
- Each generation comes with subtle variations in size or differences in behavior
- Different bugs and subgroups respond in different ways as conditions change
- As the world changes, some of the subgroups perform better
- The whole system is modified
- The system is self-organizing



Los servicios finales dicen muy poco sobre el estado de los mecanismos que suministran dichos servicios (la cadena de suministro de servicios de los ecosistemas depende de la infraestructura ecológica)

Si nos centramos en los servicios finales, podemos cometer el error de no prestar atención a los componentes de los ecosistemas como la biodiversidad, especialmente si no se puede establecer un vínculo claro entre dicho componente (biodiversidad) y los servicios de interés

LOS ECOSISTEMAS Y LOS SERVICIOS QUE ESTOS NOS SUMINISTRAN DEBEN ESTAR REPRESENTADOS EN LAS HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIÓN Y EN LOS INDICADORES DE PROGRESO (PIB)

¡TRABAJAR EN LAS MISMAS UNIDADES!



NADIE QUE TRABAJE EN TEMAS  
MEDIOAMBIENTALES DEBIERA IGNORAR EL  
ÉXITO DE LOS SERVICIOS DE LOS  
ECOSISTEMAS



GOOGLE (10 octubre 2024)

“Ecosystem services”: 31,200,000

“Soil quality”: 12,000,000

“Soil health”: 16,300,000

*“Water quality”: 140,000,000*

*“Air quality”: 214,000,000*

**SUELO: EL PACIENTE OLVIDADO**





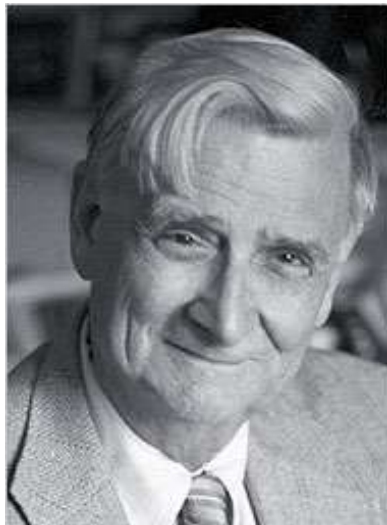
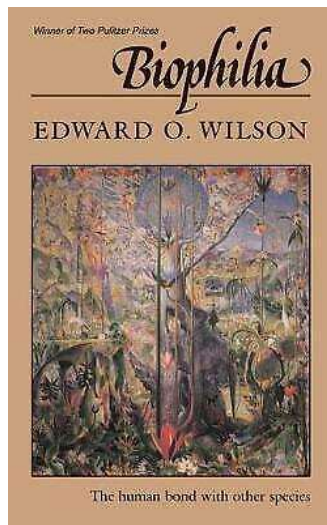
## BIOSPHERE II (Arizona, 1991)

The only connection to the outside world were electrical power and communication

Conclusion: no one yet knows how to engineer systems that provide humans with life-supporting services that natural ecosystems produce for free

Perhaps that might be possible in future decades (centuries seem more likely).  
The living world is too complicated

THE **BIOPHILIA HYPOTHESIS** PROCLAIMS A HUMAN DEPENDENCE ON NATURE THAT EXTENDS FAR BEYOND THE SIMPLE ISSUES OF MATERIAL AND PHYSICAL SUSTENANCE TO ENCOMPASS AS WELL THE HUMAN CRAVING FOR AESTHETIC, INTELLECTUAL, COGNITIVE, AND EVEN SPIRITUAL MEANING AND SATISFACTION



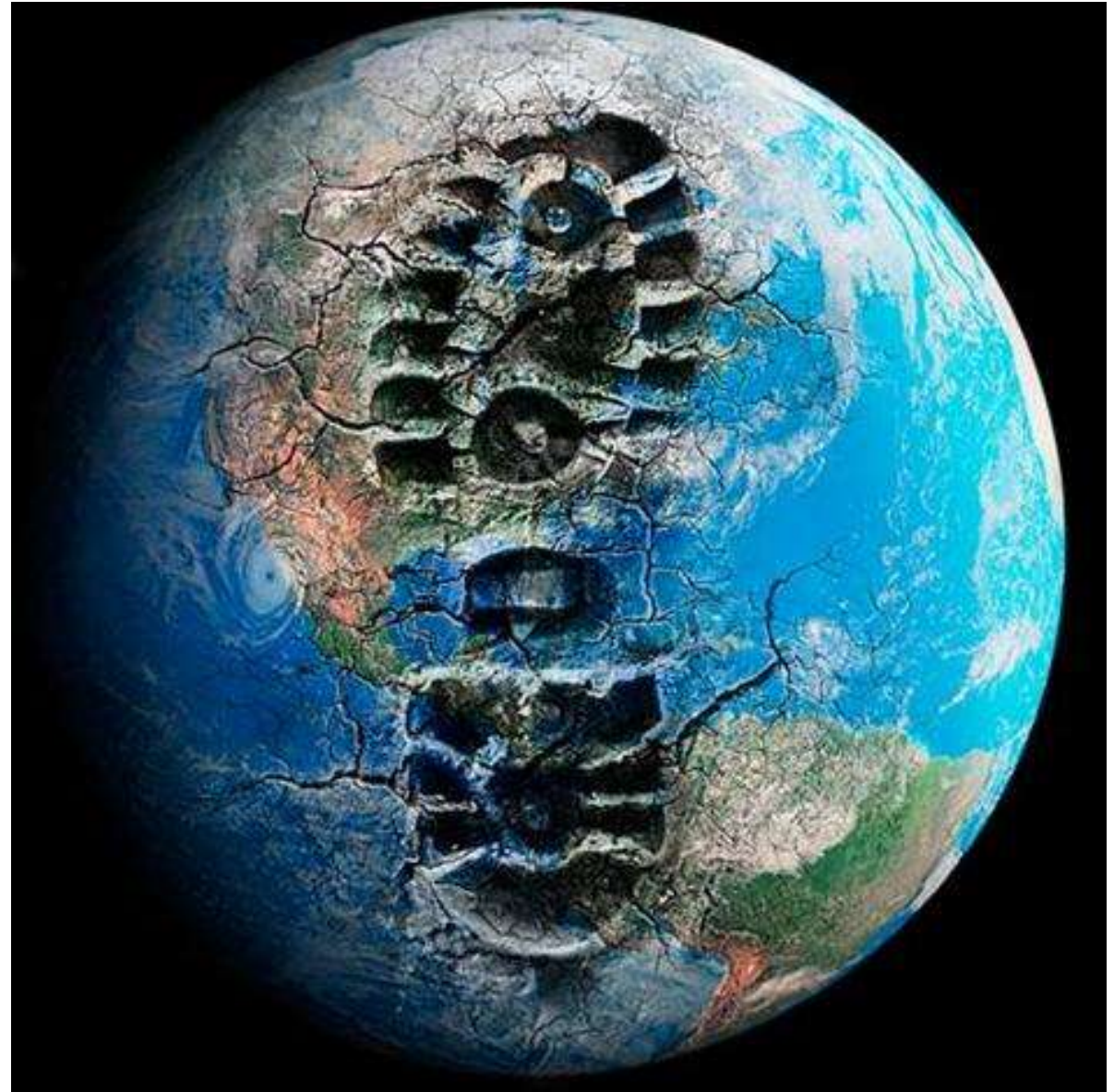
El término “Biofilia” no fue acuñado por Wilson sino por Erich Fromm, psicólogo social alemán

# EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO

Programa Científico Internacional promovido por las Naciones Unidas (2005): la mayor auditoría socioecológica que se ha realizado sobre los ecosistemas del planeta

**CONCLUSIÓN:**  
**CAMBIO GLOBAL**

SITUACIÓN CRÍTICA EN  
RELACIÓN CON LA  
SOSTENIBILIDAD DE  
LOS SERVICIOS DE LOS  
ECOSISTEMAS



CAMBIO GLOBAL: cambio de origen antropogénico que afecta al funcionamiento de la biosfera en su totalidad

# GLOBAL CHANGE

Land use

*Agricultural intensification*

*Urbanization*

Climate change

Pollution

Nitrogen deposition

Invasive organisms



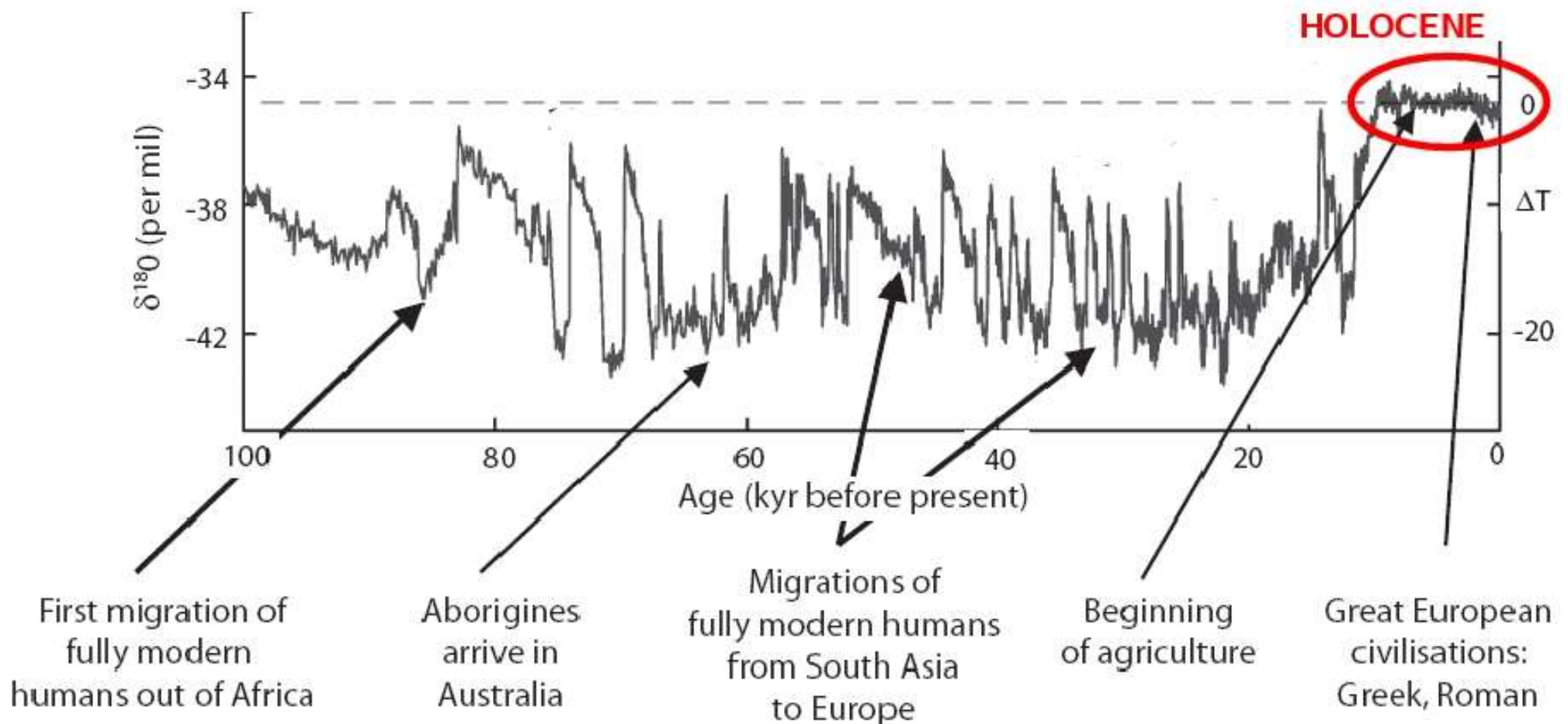
# OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

<b>1</b> FIN DE LA POBREZA 	<b>2</b> HAMBRE CERO 	<b>3</b> SALUD Y BIENESTAR 	<b>4</b> EDUCACIÓN DE CALIDAD 	<b>5</b> IGUALDAD DE GÉNERO 	<b>6</b> AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO 
<b>7</b> ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE 	<b>8</b> TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO 	<b>9</b> INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA 	<b>10</b> REDUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES 	<b>11</b> CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES 	<b>12</b> PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES 
<b>13</b> ACCIÓN POR EL CLIMA 	<b>14</b> VIDA SUBMARINA 	<b>15</b> VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES 	<b>16</b> PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS 	<b>17</b> ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS 	 <b>OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</b>

# PLANETARY BOUNDARIES

MAINTAINING THE HOLOCENE STATE!! The planet's environment has been unusually stable for the past 10,000 years (Holocene: the warm period that began 10,000 years ago, during which human civilization arose, developed, and thrived). Without pressure from humans, the Holocene is expected to continue for at least several thousand years

Since the Industrial Revolution, a new era has arisen, the Anthropocene (human actions are the main driver of global environmental change)



# ¿Qué son los límites planetarios?

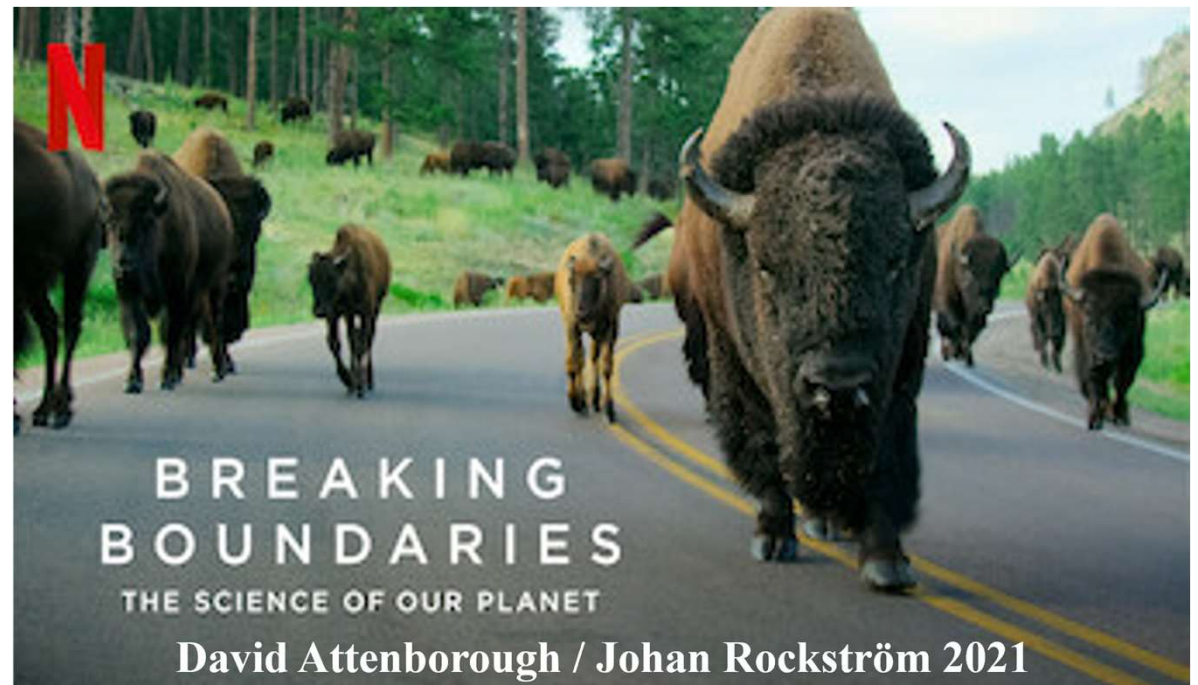
MARCO CONCEPTUAL que evalúa el estado de 9 procesos esenciales para la ESTABILIDAD DEL SISTEMA TIERRA. Presenta una serie de límites para estos procesos que, en caso de ser superados, pueden poner en peligro la habitabilidad de nuestro planeta

## ESPACIO OPERATIVO SEGURO PARA LA HUMANIDAD

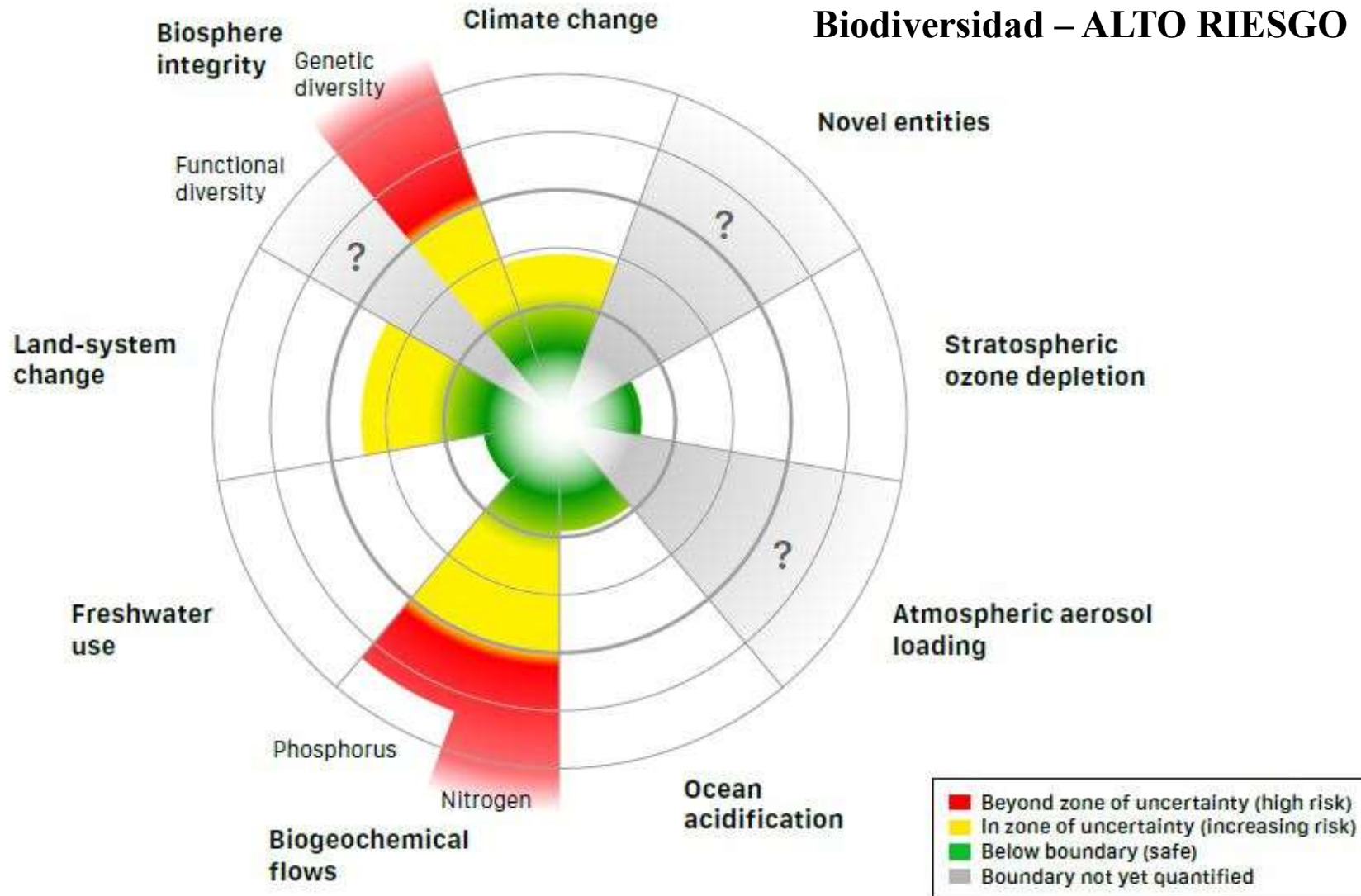
**2009** – **Rockström J**, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS III, et al. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461(7263): 472–75

**2009** – **Rockström J**, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS III, et al. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecol. Soc.* 14(2): 1–33

**2015** – Steffen W, Richardson K, **Rockström J**, Cornell SE, Fetzer I, et al. 2015. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223): 1–10



**LOS DOS MÁS IMPORTANTES:**  
**Cambio climático – RIESGO CRECIENTE**  
**Biodiversidad – ALTO RIESGO**



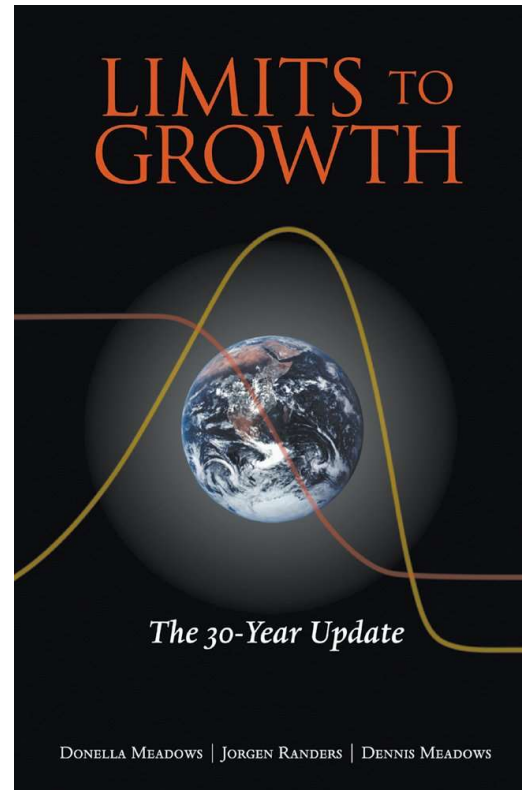
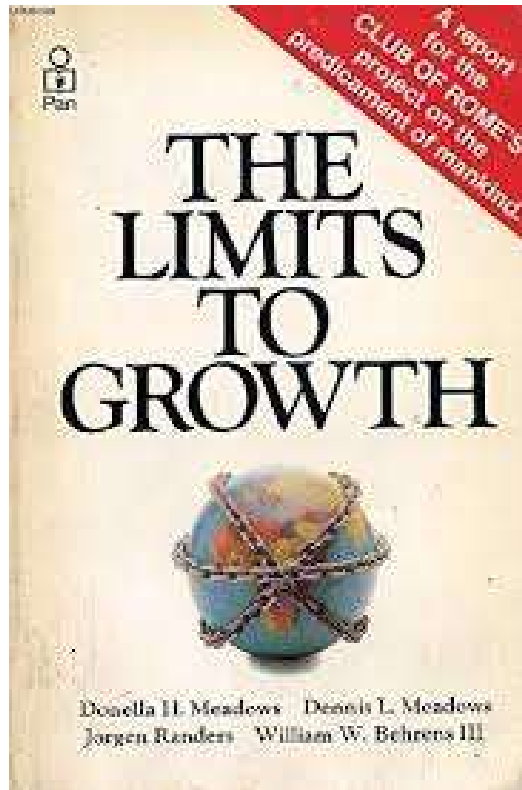
SEIS DE LOS LÍMITES YA SE HAN SUPERADO:

- Integridad de la biosfera (biodiversidad) – **ALTO RIESGO**
- Flujos biogeoquímicos: fósforo y nitrógeno – **ALTO RIESGO**
- Cambio climático – RIESGO CRECIENTE
- Cambios en los usos del suelo – RIESGO CRECIENTE
- Entidades nuevas (contaminación química) – RIESGO CRECIENTE
- Uso agua dulce (agua verde) – RIESGO CRECIENTE



## HACE 50 AÑOS (MARZO 1972)

- El libro “LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO” alertó al mundo de la posibilidad de un colapso a finales del siglo XXI
- Mensaje: el crecimiento exponencial continuado de un sistema debe, en algún momento, toparse con límites



**Donella Meadows**

was a systems analyst and adjunct professor of Environmental Studies at Dartmouth College. She wrote the nationally syndicated newspaper column “The Global Citizen.” She died unexpectedly in 2001.

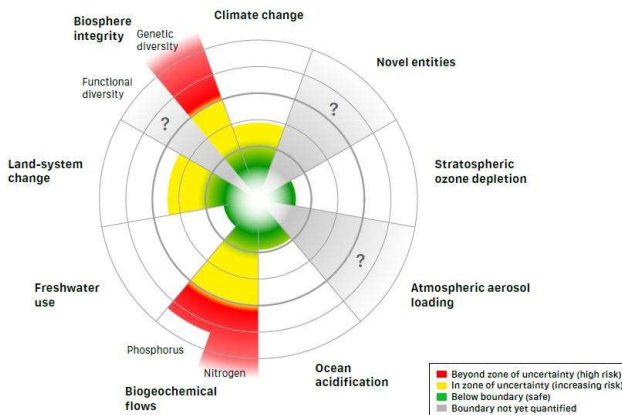
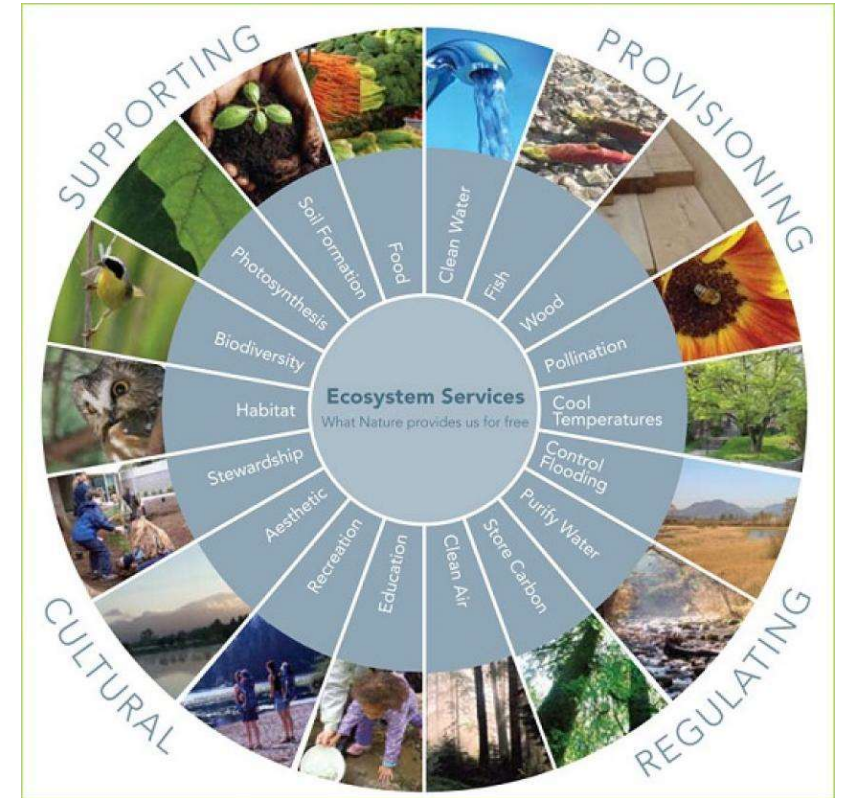
**Dennis Meadows**

has served on the faculties and directed research centers at MIT, Dartmouth College, and the University of New Hampshire. He is President of the Laboratory for Interactive Learning. He lives in Durham, New Hampshire.



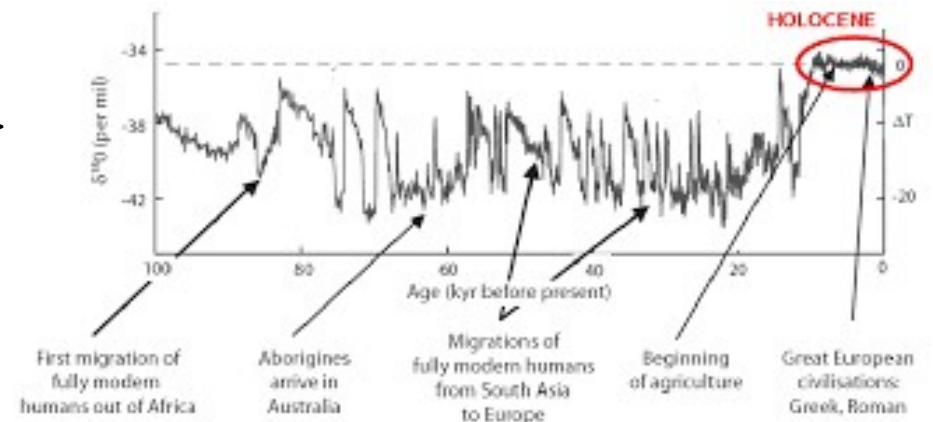
# Dos marcos conceptuales...

Si nos portamos bien, el planeta nos premia >>  
**¡SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS!**  
 CRÍTICA: INSTRUMENTALIZACIÓN DE LA  
 NATURALEZA, MONETIZACIÓN DE LOS  
 SERVICIOS



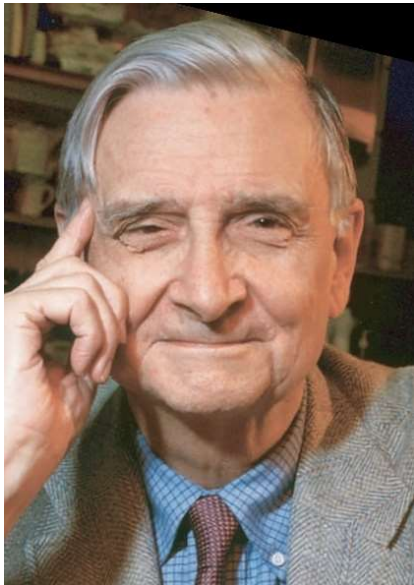
Si nos portamos mal,  
 el planeta nos castiga >>  
**¡LÍMITES  
 PLANETARIOS!**

**ANTROPOCENO**



## OTRO MARCO CONCEPTUAL

# ÉTICA



EDWARD O. WILSON  
26 diciembre 2021 (92 años)

“The living world is in desperate condition. It is suffering steep declines in all the levels of its diversity. It will be helped but not saved by economic measures of its ecological services and potential products... **Only a major shift in moral reasoning, with greater commitment given to the rest of life, can meet this greatest challenge of the century**”

### EREMOCENE: The Age of Loneliness

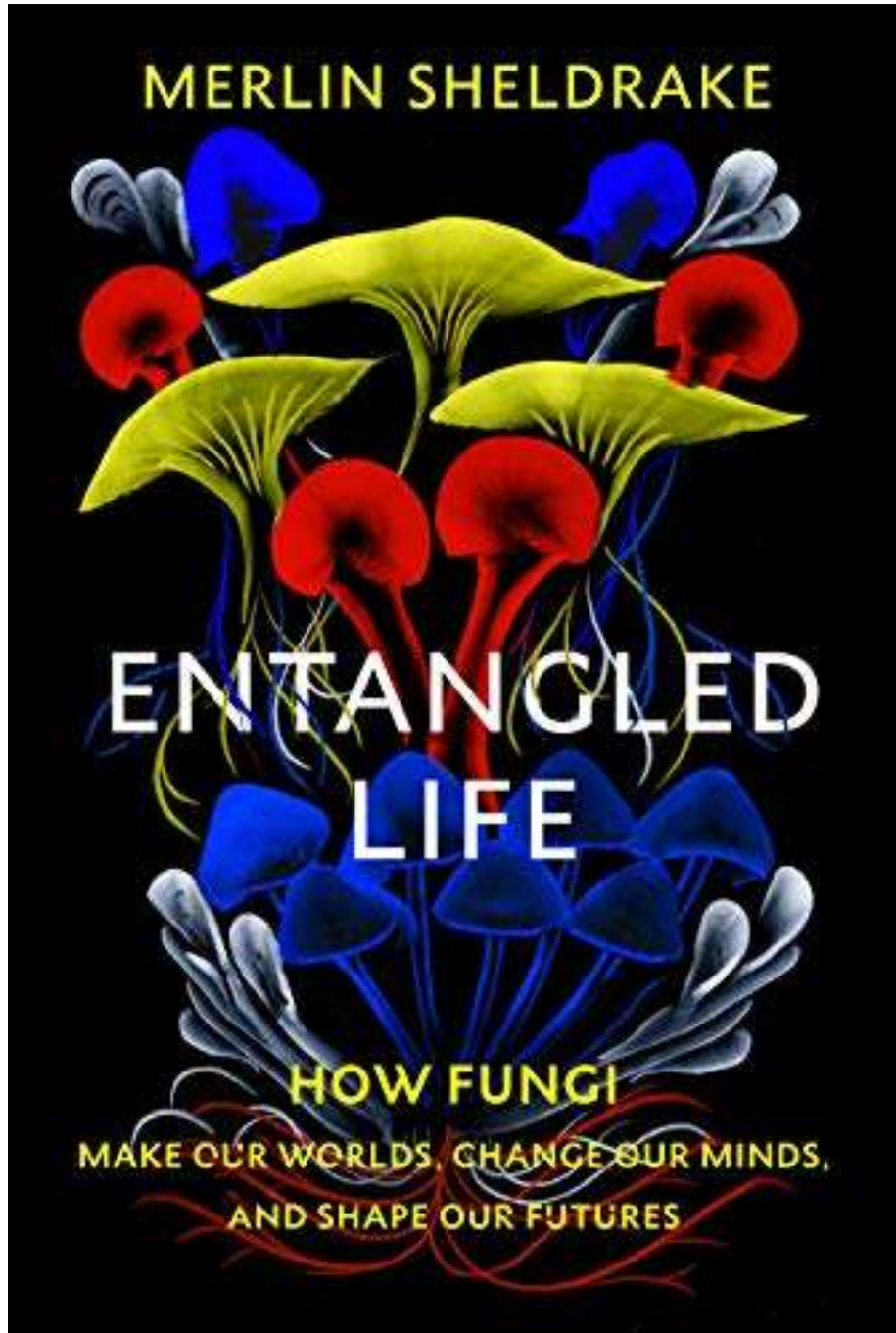
“It is up to science to spread the understanding that the choice is **not between wild places or people, it is between a rich or an impoverished existence for humans**”



THOMAS E. LOVEJOY  
25 diciembre 2021 (80 años)

When we lose species, the web of life is destroyed, negatively affecting the resilience of ecosystems and nature’s capacity to provide products and ecosystem services

# MYCOREMEDIATION - SOIL (MYCORRHIZAL) FUNGAL NETWORKS



- ❑ Fungi were widely held to be harmful to plants (pathogens). Fungi exist in symbiosis with plants: fungi take sugar produced by plants during photosynthesis, and plants obtain nutrients such as P and N
- ❑ Plants are joined to one another by a hyphal network which allows plants to distribute resources between one another, send one another warnings or toxic compounds, etc. (**wood wide web: social networks of plants**). A plant-centric interpretation (anthropomorphism)
- ❑ Fungal anastomosis. It raises “philosophical” questions about where species and individuals begin and end. Does the concept of “individual” make sense? With the study of the microbial world (and, specifically, microbiomes), BIOLOGY, THE STUDY OF LIVING ORGANISMS, IS BECOMING **ECOLOGY, THE STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN LIVING ORGANISMS**
- ❑ **Mycelium**: a membrane sensitive to chemical substances; a process more than a thing; ecological connective tissue (a living seam). Billions of hyphal apices in a single hectare. No defined shape (like asking the shape of water

# NEITHER PLANTS NOR MICROBES: HOLOBIONTS

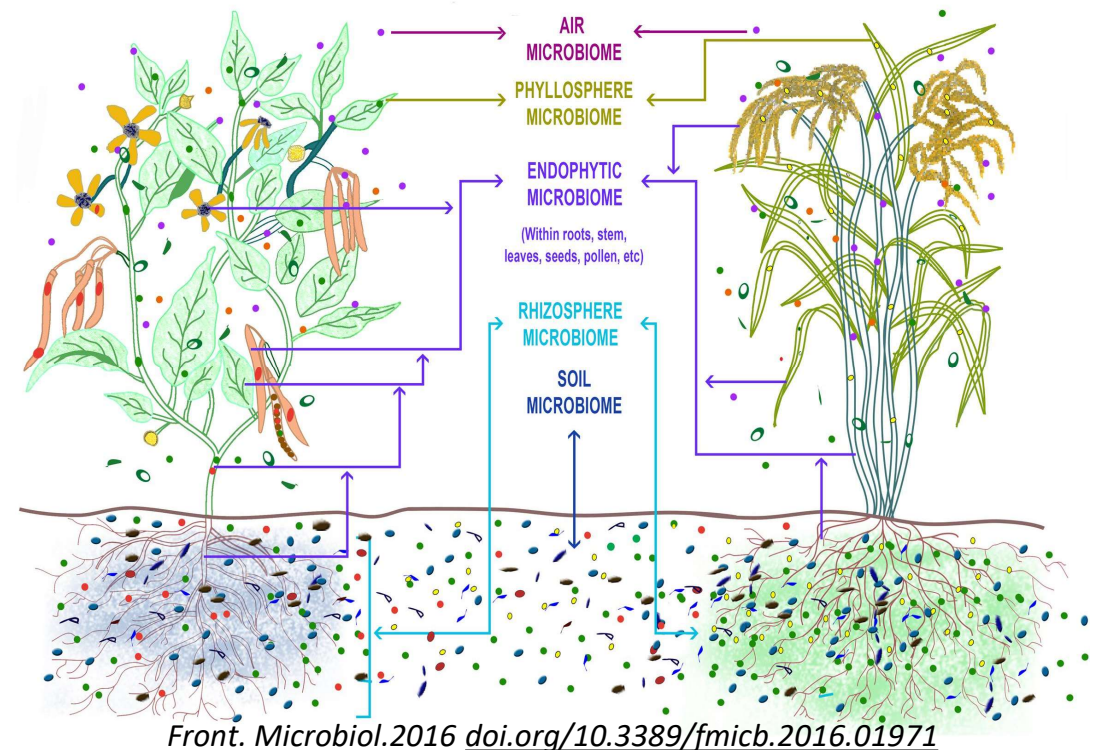
Plants are covered in microbes which collectively make up their **microbiome** (**rhizosphere**, **phyllosphere**, **endosphere**). Microbes provide essential **services** and, in return, the host provides food and privileged habitats subjected to fewer stresses and less competition

HOLOBIONTS: **host + its microbiome**. They co-evolve: the genetic resources available for adaptation and evolution consist not only of the 10,000-100,000 plant genes, but also of the vastly more microbiome genes

Plant health is correlated with a high diversity of its microbiome. Unhealthy holobionts often have a less diverse microbiome, a condition expressed as **“microbiome dysbiosis”**

Soil houses the greatest diversity of microbes and acts as the most important diversity reservoir for seeding plant microbiomes

**WE ARE ALSO HOLOBIONTS**





## EREMOCENO

Se extinguen comunidades

Se extinguen holobiontes

Se extinguen procesos

Se extinguen flujos

Se extinguen interacciones

Se extinguen redes

Se extinguen patrones

Se extingue vida, belleza...

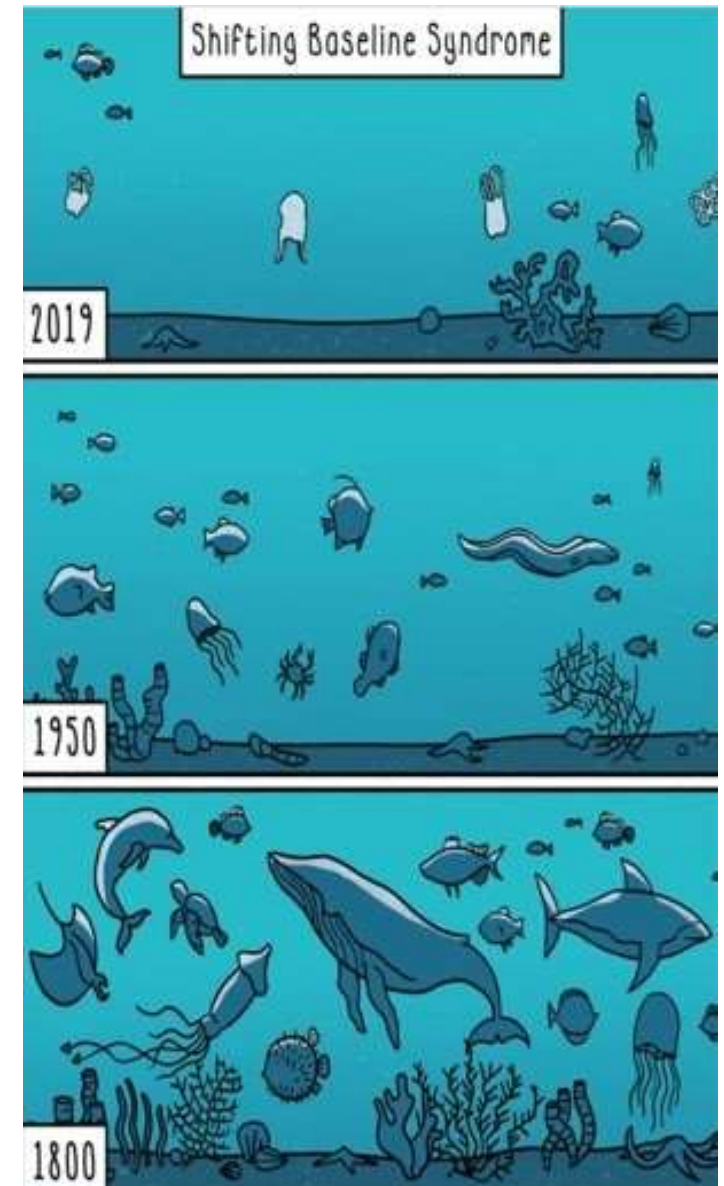
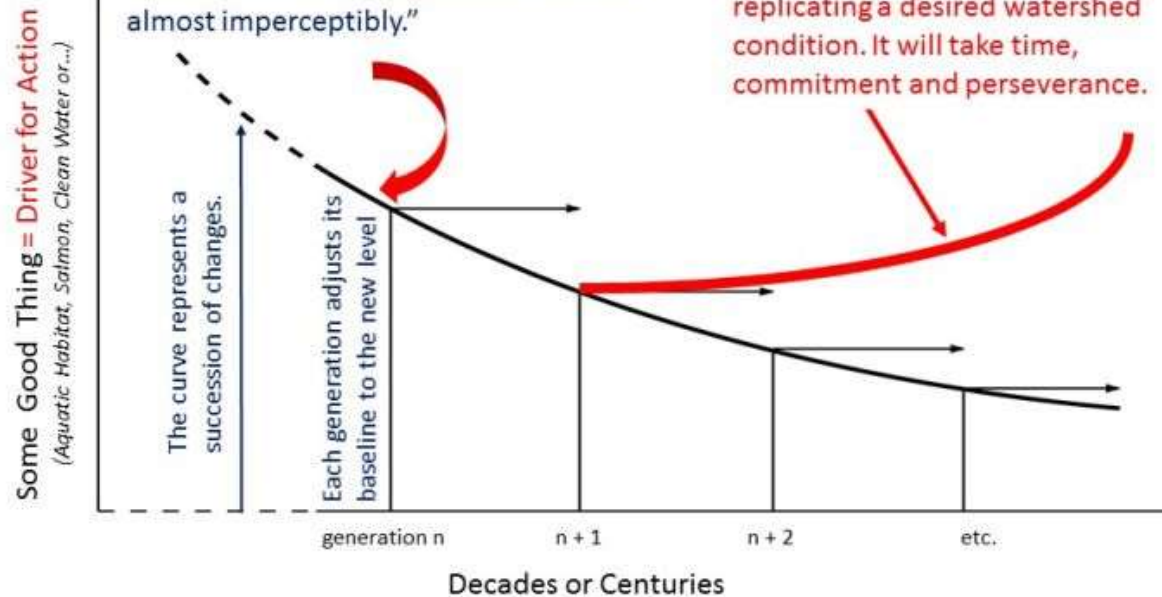
# BEWARE OF THE SHIFTING BASELINE SYNDROME

In 1995, Dr. Daniel Pauly coined the phrase  
“**Shifting Baseline Syndrome**”



“With each new generation, the expectation of various ecological conditions shifts. The result is that standards are lowered almost imperceptibly.”

We can shift the baseline by replicating a desired watershed condition. It will take time, commitment and perseverance.



With ongoing environmental degradation, **PEOPLE'S ACCEPTED THRESHOLDS FOR ENVIRONMENTAL CONDITIONS ARE CONTINUALLY BEING LOWERED.** In the absence of past information or experience with historical conditions, **members of each new generation accept the situation in which they were raised as being normal**

This psychological and sociological phenomenon is recognized as one of the obstacles to addressing a range of today's global environmental issues

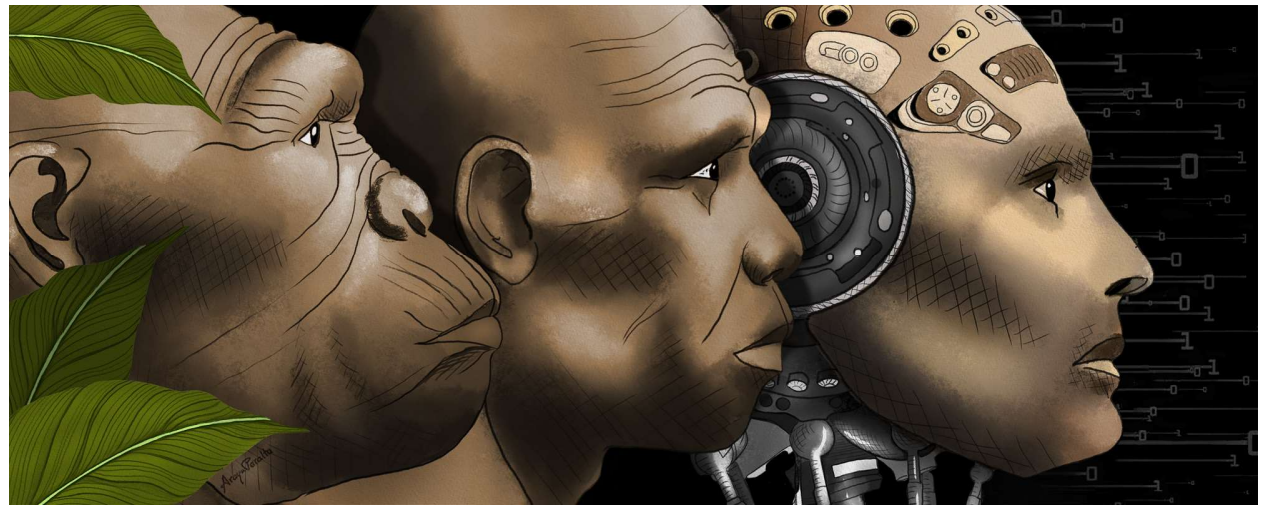
## DIGITAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ERA

Perhaps machines will do it better, will tell us what to do and, above all, how to do it



**DATA → INFORMATION ⇨ KNOWLEDGE → WISDOM**

- Transhumanism
- Techno-Utopia or Techno-Dystopia
- Maybe we can live without Nature, also without music, art, poetry, etc., but...



**A MUCH POORER EXISTENCE**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE vs. BIOLOGICAL INTELLIGENCE (biomimicry)**



# ¿CONSEGUIREMOS UN MUNDO MÁS SOSTENIBLE?

## ESCENARIOS POSIBLES

- MADUREZ ECOLÓGICA
- SALVACIÓN TECNOLÓGICA
- DESASTRE - COLAPSO

## TEMAS:

- Superpoblación
- Consumo
- Capitalismo
- Energía
- Ética
- Etc.



Cuidado con la eco-ansiedad / solastalgia

“Incluso si supiera que el mundo se acaba mañana,  
yo, hoy todavía, plantaría un árbol” (Martin Luther)

# La supervivencia de nuestra sociedad está ligada de forma inextricable a la salud de nuestros suelos

**¡NUESTRO RECURSO - ECOSISTEMA MÁS VALIOSO!**

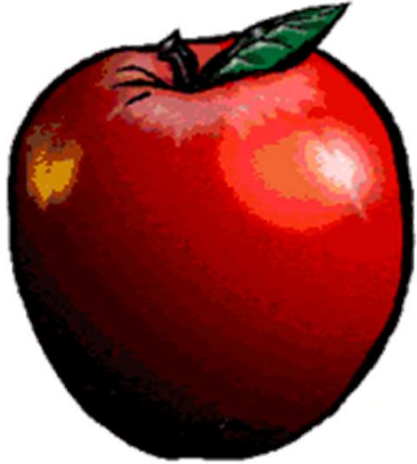
No renovable  
Multifuncional  
Multifásico  
Dinámico  
Complejo  
No valores medios



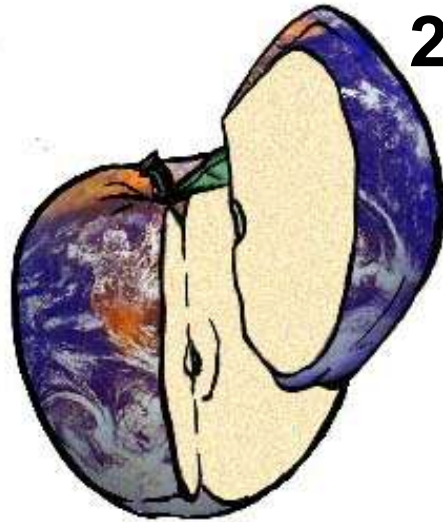
Limitado  
Olvidado  
*Paciente silencioso*  
Biomatriz  
Heterogéneo  
Reservorio de genes

**RED FUNCIONAL MICROBIANA**

# Suelo: delgada línea marrón que nos aporta el 99% de la comida



**100%**  
(75% agua)



**25%** (50% calor, frío, seco, altitud)



**12,5%**  
(50% escarpado, rocoso, pobre, húmedo, poco profundo)

**6,25%**



**Compite con otras necesidades: casas, centros comerciales, parques, vertederos, hospitales, colegios, fábricas, etc.**



El 99% de nuestro alimento depende, en último término, del suelo

Casi toda la superficie cultivable del planeta ya está siendo utilizada

La población mundial aumenta en 75-90 millones de personas al año

Cada vez vivimos más años

Un 85% de la tierra agrícola está degradada

En los últimos 50 años, la fertilidad de los suelos agrícolas ha disminuido en un 15%



La SALUD DEL SUELO encabezaba la lista de prioridades establecidas en la EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO en relación con el objetivo de reducir el hambre en el mundo en un 50% para el 2015

**Pero el hambre no es un problema de producción**



# Project: NEMO'S GARDEN

An underwater farm to help agriculture development in those areas where it is hampered due to geographical, economical and natural factors

**Self-sustainable system:** once the system has been activated by using fresh water, it continues to sustain itself without any external support (except for light and heat transmitted by the seawater)

SOIL, HYDROPONIC, COCO-PERLITE, PERLITE-SOIL, PERLITE-GLASS WOOL  
Cilantro, radish, parsley, oregano, beans, peas, lettuce, mint, spinach, garlic, etc.

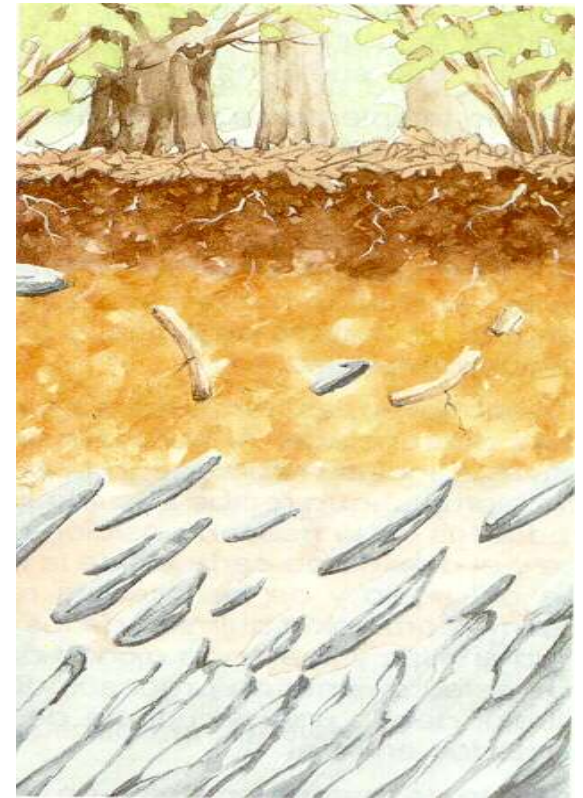
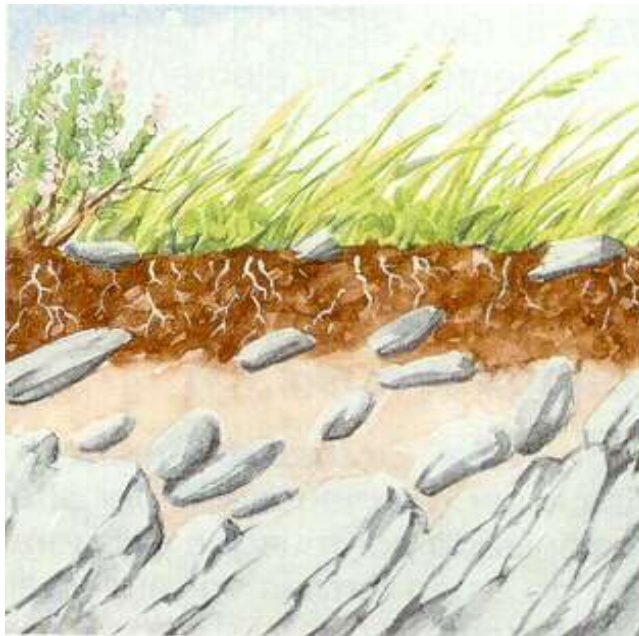
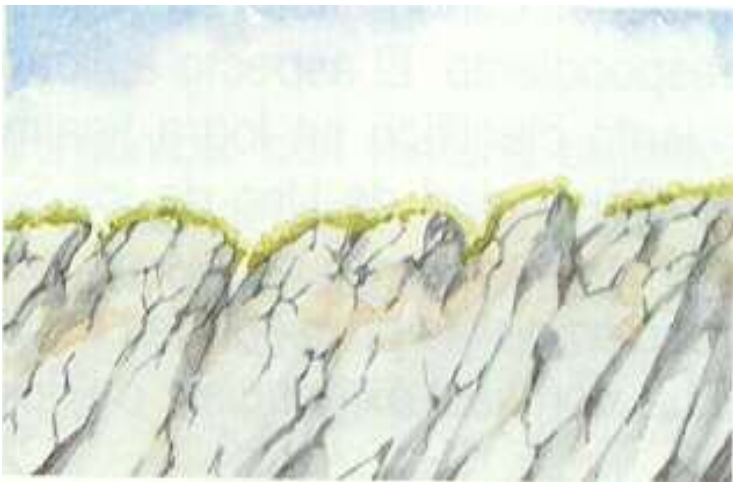


## AGRINAUTS

# RECURSO MÁS VALIOSO: EL SUELO

*Man ... despite his artistic pretensions and many accomplishments, owes his existence to a thin layer of topsoil ... and the fact that it rains (Old Chinese proverb)*

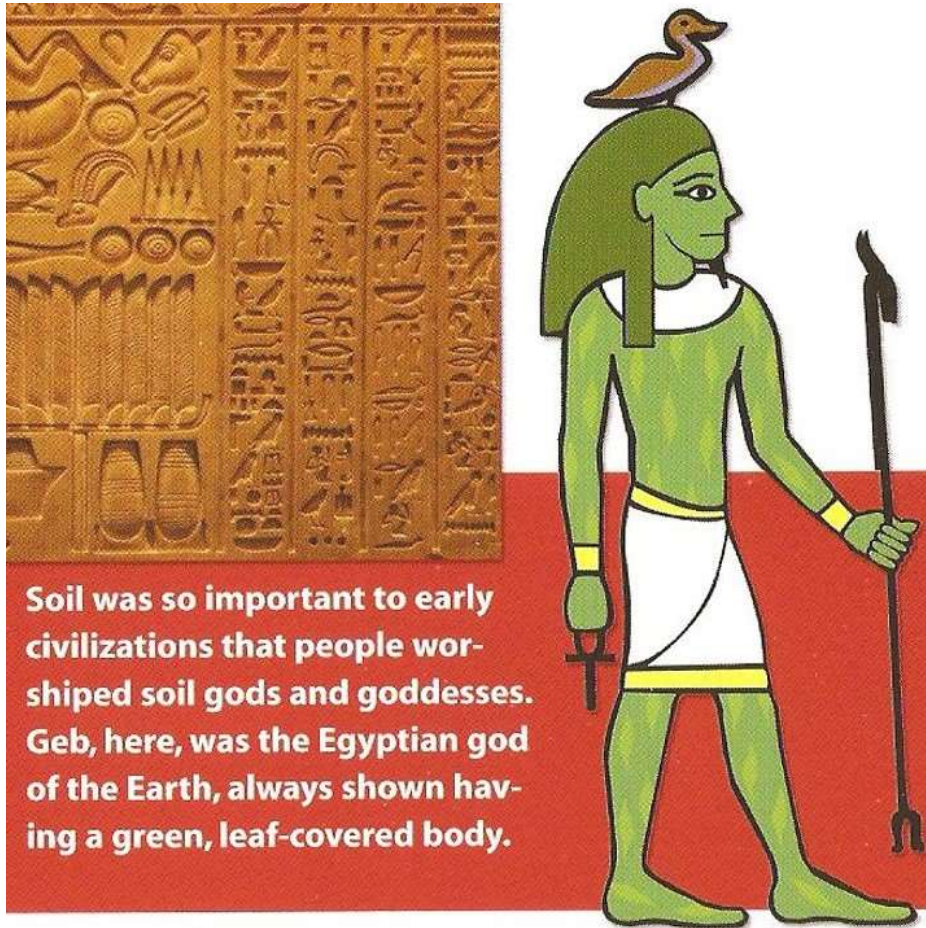
**EL SUELO NO ES UN RECURSO RENOVABLE  
A NUESTRA ESCALA TEMPORAL**





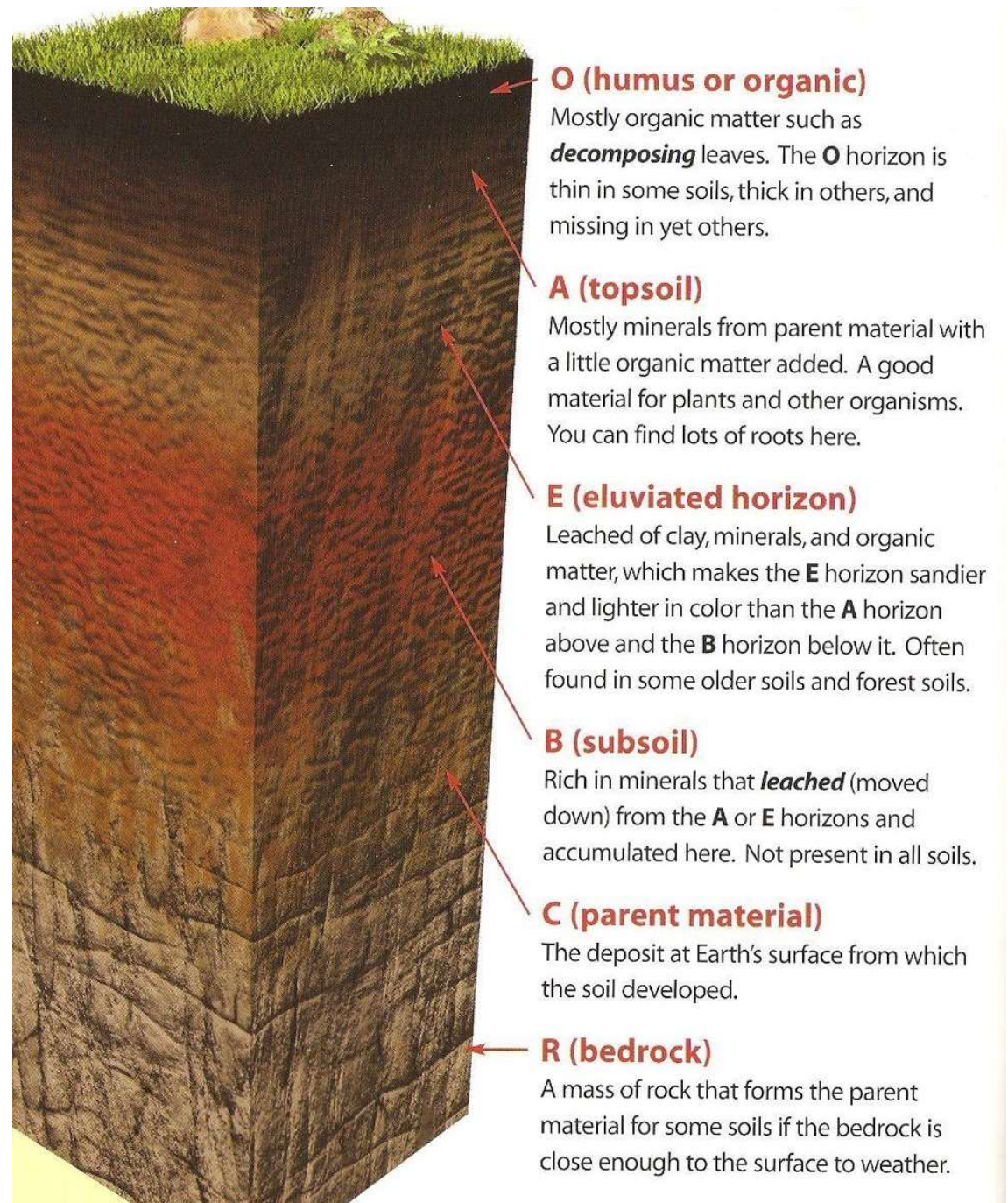
“Earth” and “soil” are some of the earliest words ever written

Romans: solium  
Greeks: pedon (pedologists)



Soil was so important to early civilizations that people worshiped soil gods and goddesses. Geb, here, was the Egyptian god of the Earth, always shown having a green, leaf-covered body.

The word “human” is probably related to the word “humus” (a soil’s decomposed OM)



**O (humus or organic)**

Mostly organic matter such as **decomposing** leaves. The **O** horizon is thin in some soils, thick in others, and missing in yet others.

**A (topsoil)**

Mostly minerals from parent material with a little organic matter added. A good material for plants and other organisms. You can find lots of roots here.

**E (eluviated horizon)**

Leached of clay, minerals, and organic matter, which makes the **E** horizon sandier and lighter in color than the **A** horizon above and the **B** horizon below it. Often found in some older soils and forest soils.

**B (subsoil)**

Rich in minerals that **leached** (moved down) from the **A** or **E** horizons and accumulated here. Not present in all soils.

**C (parent material)**

The deposit at Earth’s surface from which the soil developed.

**R (bedrock)**

A mass of rock that forms the parent material for some soils if the bedrock is close enough to the surface to weather.

**Old Aunt Ethel Bakes Cookies Regularly**

# FUNCIONES/SERVICIOS DEL SUELO

Proveedor de alimento, fibra y combustible

Medio para el crecimiento de las plantas

Hábitat para animales y microorganismos

Degradación de contaminantes

Descomposición de la materia orgánica

Reciclaje de nutrientes

Regula la calidad del agua y del aire

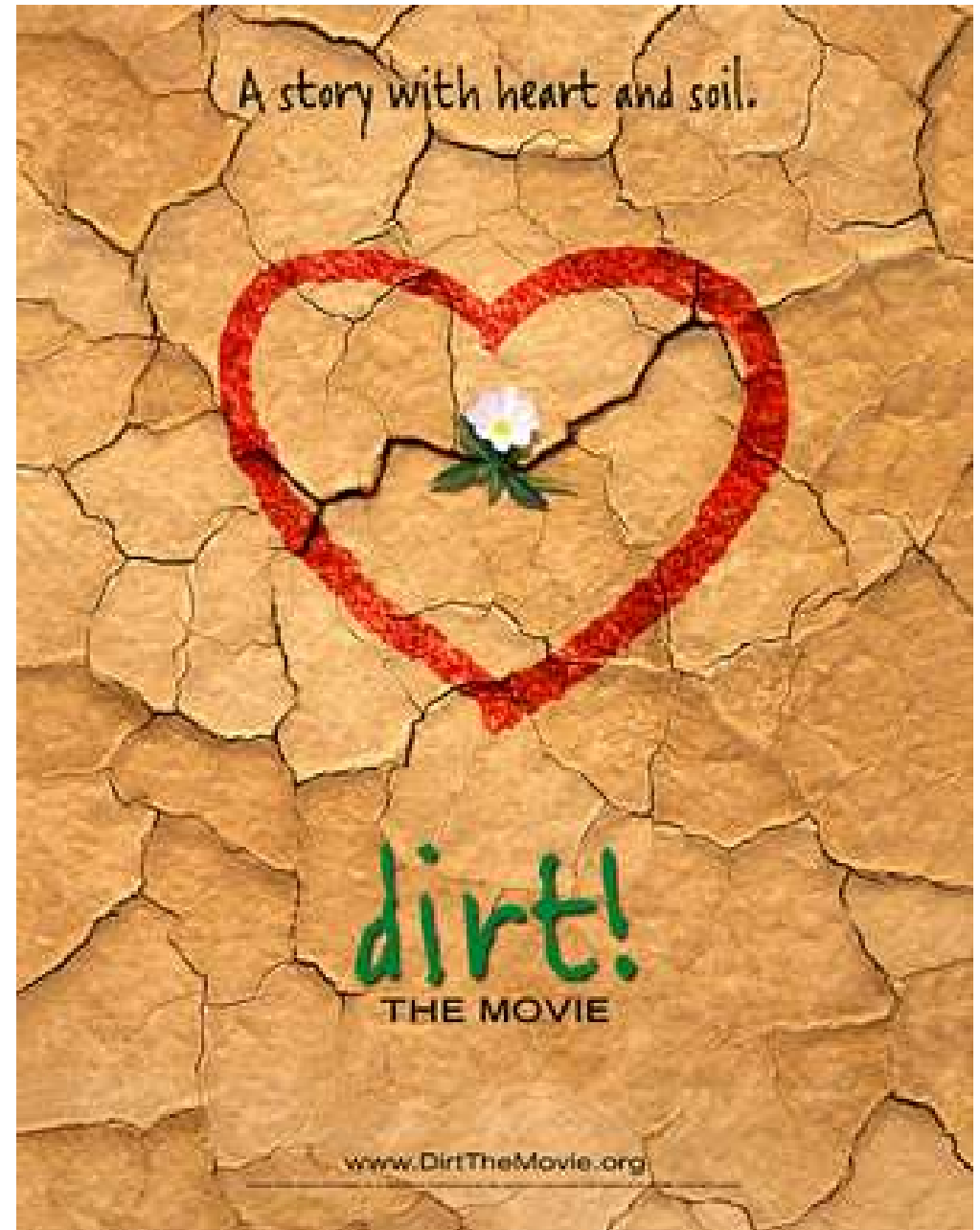
Reservorio genético

Depositario de herencia cultural

Control de patógenos (supresividad)

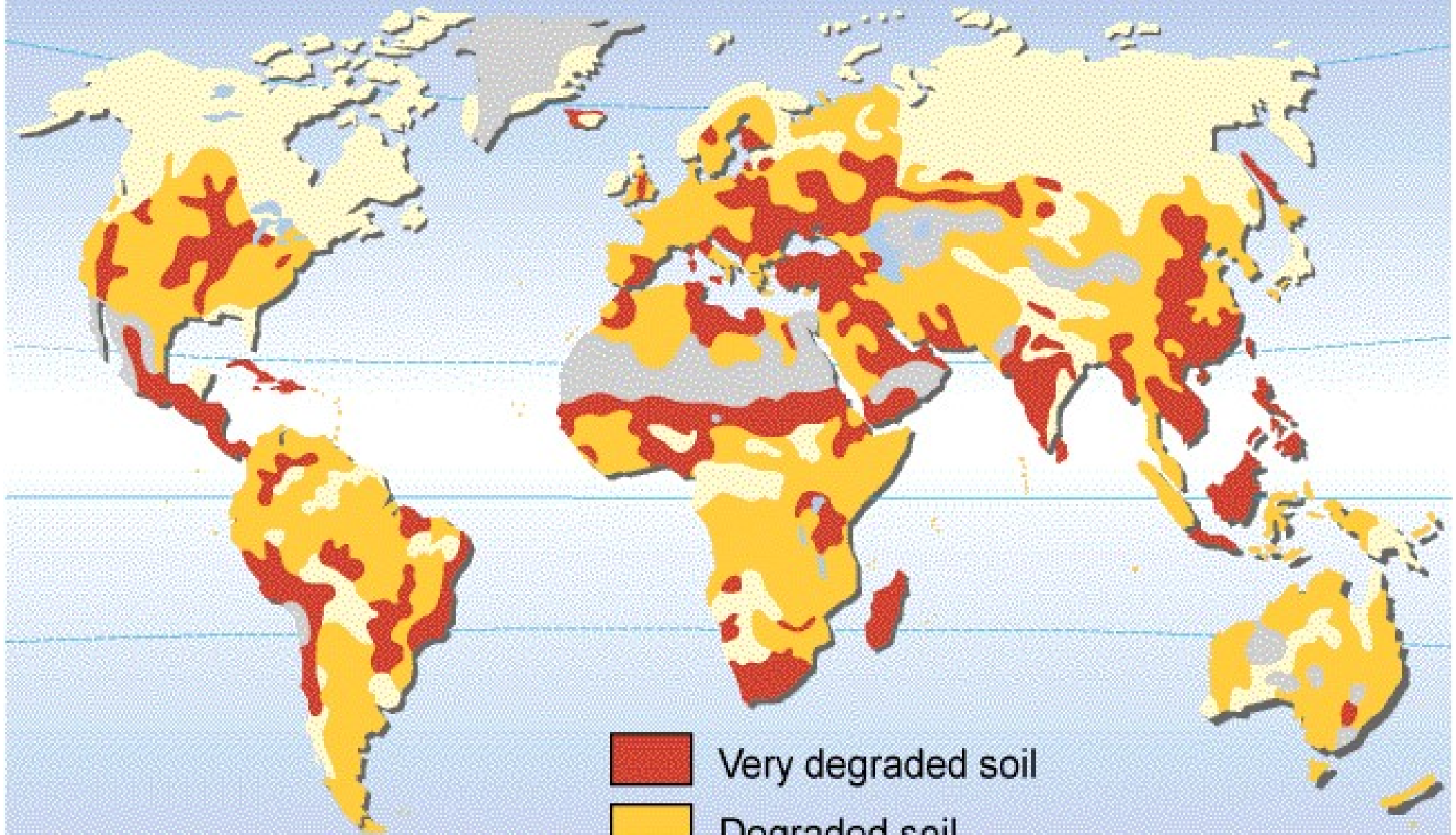
Distribución del agua de lluvia





Soporte de estructuras físicas



La vida en la tierra es el motor de nuestra vida en la Tierra

# Soil degradation



-  Very degraded soil
-  Degraded soil
-  Stable soil
-  Without vegetation



# AMENAZAS DEL SUELO

UNIÓN EUROPEA-ESTRATEGIA TEMÁTICA DEL SUELO

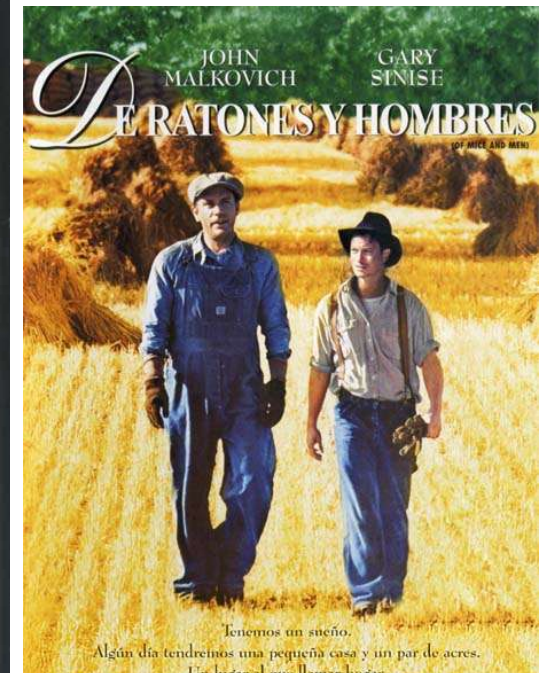
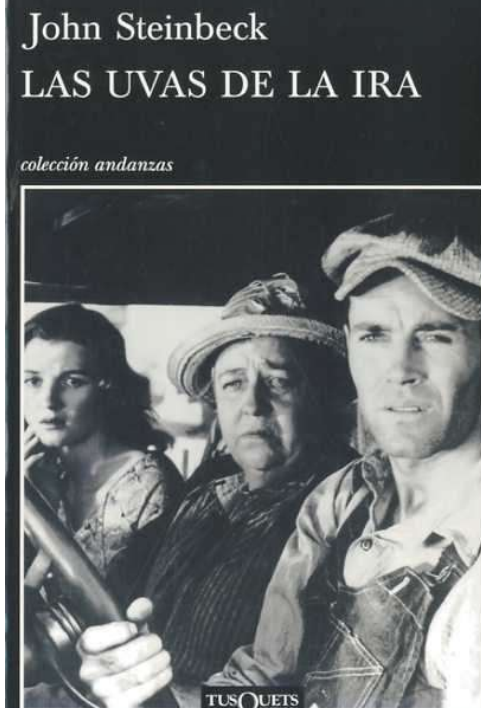
# EROSIÓN EÓLICA: DUST BOWL (1930-1940)



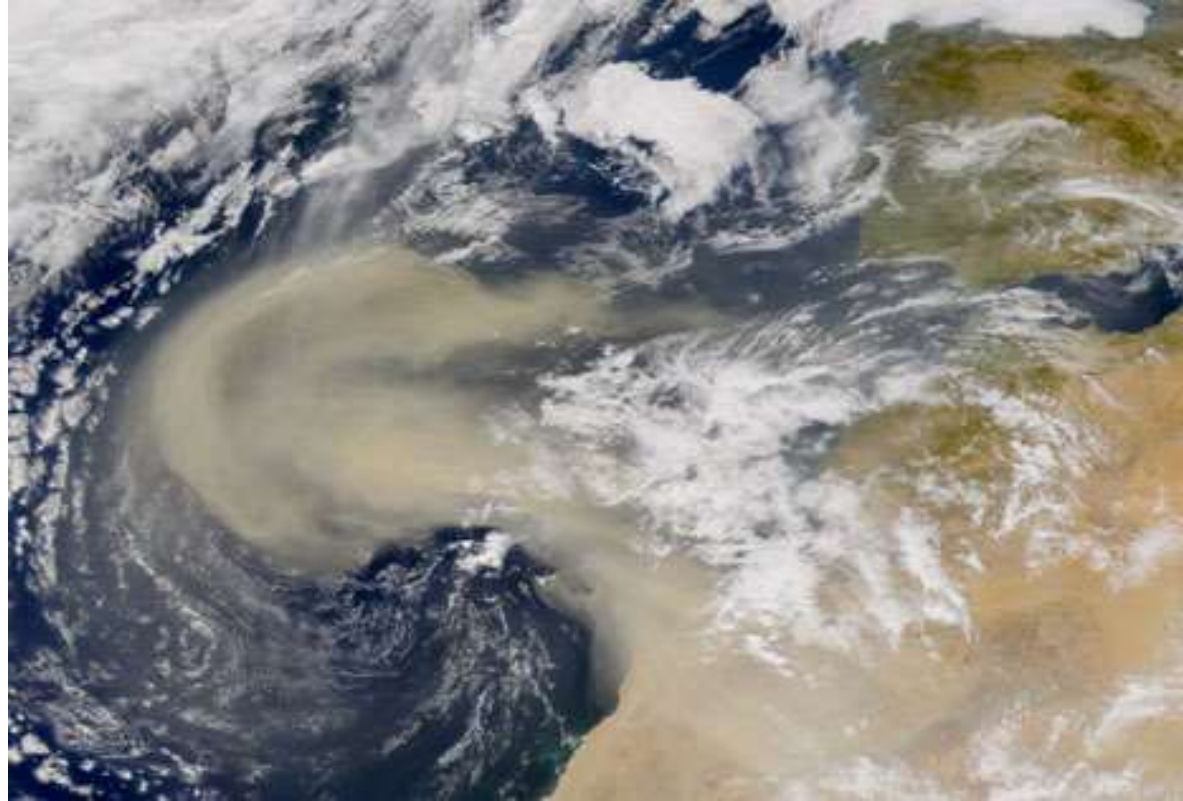
**The Dust Bowl**



- Cuenco de polvo. “Viento negro”
- Sustitución de pastizales nativos por cultivos de trigo sensibles a la sequía
- Multiplicó los efectos de la Gran Depresión
- 3 millones dejaron sus granjas
- Soil Erosion Service en 1933 comenzó a popularizar las técnicas de conservación del suelo entre los agricultores: rotación de cultivos, técnicas de laboreo mínimo, etc.



# EROSIÓN EÓLICA



# EROSIÓN HÍDRICA



Incendios

# DESPRENDIMIENTOS E INUNDACIONES





# COMPACTACIÓN



# PÉRDIDA DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES



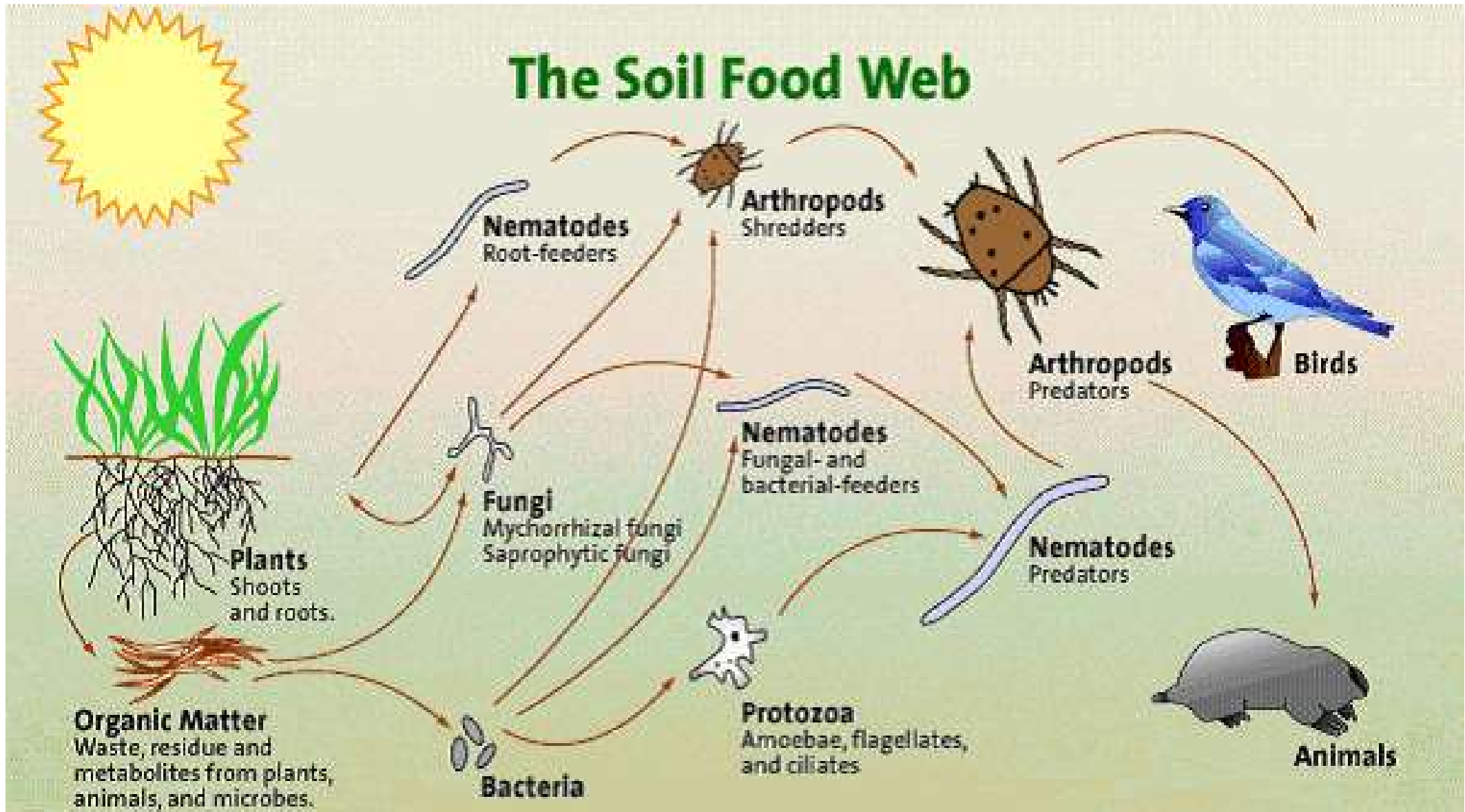
# SALINIZACIÓN



# SEALING



# PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD



**First trophic level:**  
Photosynthesizers

**Second trophic level:**  
Decomposing Mutualists  
Pathogens, Parasites  
Root-feeders

**Third trophic level:**  
Shredders  
Predators  
Grazers

**Fourth trophic level:**  
Higher level predators

**Fifth & higher trophic level:**  
Higher level predators

## AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL

¿QUÉ IMPACTO TIENE ESTA PRÁCTICA SOBRE LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO?

**Pues....¡DEPENDE, TODO DEPENDE!**

- Depende del tipo de suelo
- Depende de las condiciones edafoclimáticas
- Depende del tipo de vegetación - cultivo
- Depende de la intensidad y frecuencia de la práctica
- Depende de si hablamos de efectos a corto-medio-largo plazo
- Depende del grupo taxonómico
- **Depende de la métrica:** riqueza, uniformidad, genética, filogenética, taxonómica, funcional,  $\alpha$  -  $\beta$  -  $\gamma$ , índice (Shannon, Simpson, Pielou, Margalef,...), etc.

**Por eso, ponemos cara rara cuando se dice: “SE HA DEMOSTRADO...”**

**Habrà co-beneficios y co-perjuicios simultáneamente (¿Subjetivo?)**

## AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL

**Para proteger la biodiversidad, quizás no sea “medio ambiente” el mejor término, quizás sea mejor volver a hablar de proteger la naturaleza, los bosques, las ballenas,...**

El término “naturaleza” suele implicar emociones: paraentidad cuasi-religiosa, salvaje y libre, belleza sin parangón, “madre”, expresión de ese milagro de la materia que es la vida, etc.

# AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL

¿PRODUCCIÓN vs. CONSERVACIÓN?

¿CONFLICTO REAL?

YA, PERO TENEMOS QUE COMER, ¿NO?

¿Conflicto existencial entre “alimentar a la población humana o proteger la naturaleza”?

¿Entre producción y conservación?



PON FIN A LA PÉRDIDA  
Y EL DESPERDICIO DE  
ALIMENTOS.  
POR LAS PERSONAS.  
POR EL PLANETA.

- ❑ FAO: SE PRODUCE COMIDA PARA 10.000 - 12.000 MILLONES DE PERSONAS
- ❑ FAO: LACRA DE LA PÉRDIDA Y EL DESPERDICIO DE ALIMENTOS
- ❑ OMS: EPIDEMIA DE OBESIDAD

Figure 1  
Global population size: estimates for 1700-2022 and  
projections for 2022-2100

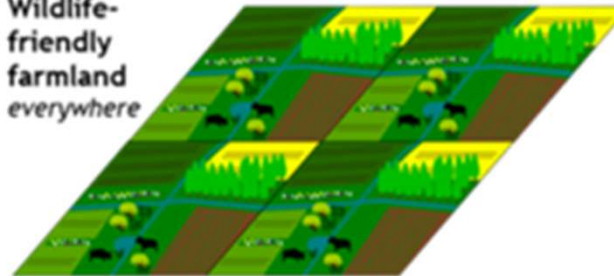


Source: United Nations, DESA, Population Division (2022). World Population Prospects 2022.

Note: The solid blue line is the estimates from 1700 to today, the dotted red line the projection for the future up to 2100, and the dashed red line the upper and lower bounds of the 95% prediction interval for the projections.

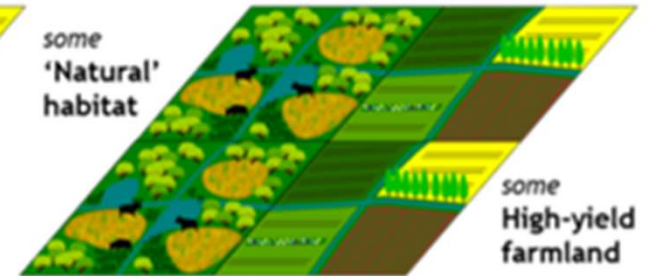
## Land sharing

Wildlife-friendly farmland everywhere



## Land sparing

some 'Natural' habitat



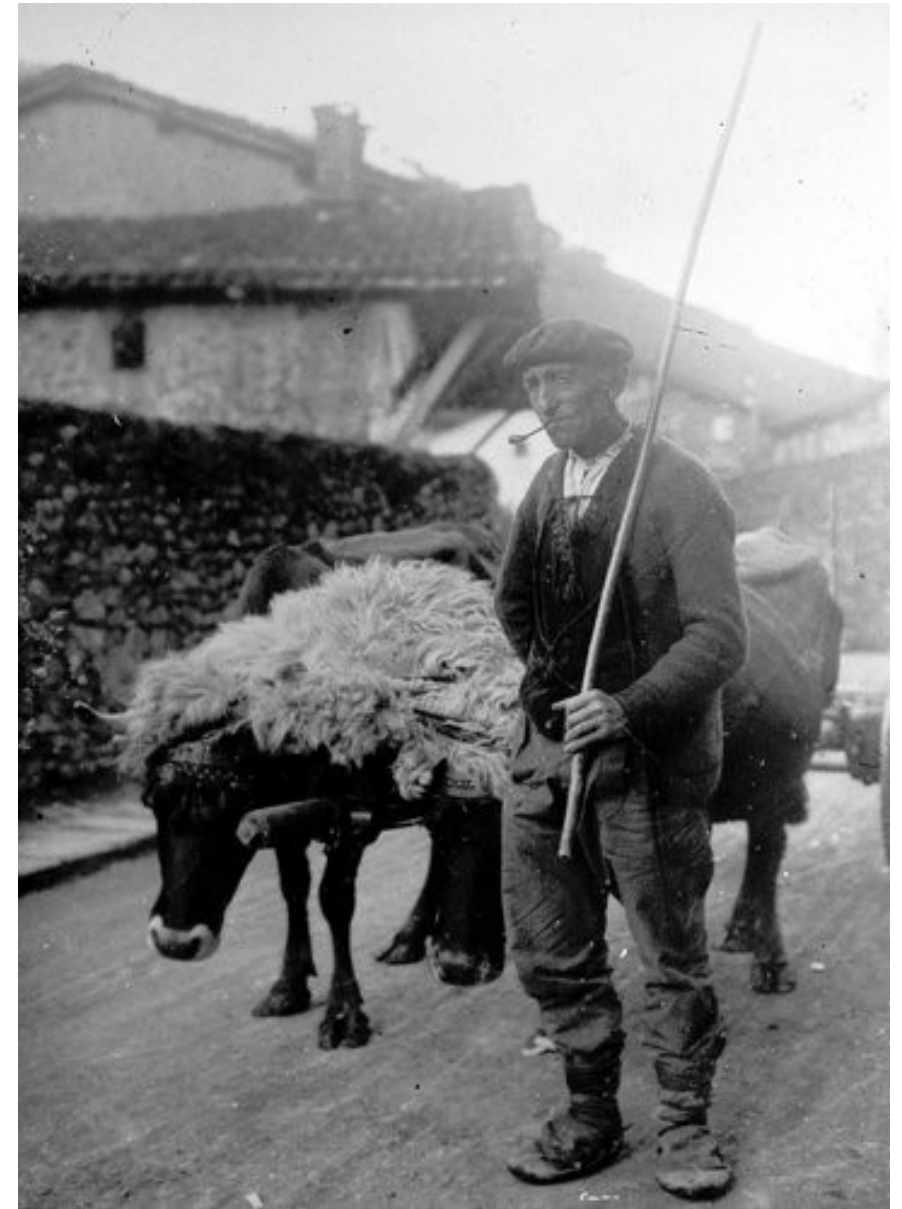
Falta de conocimiento sobre la apertura y la conectividad de los ecosistemas a escalas espaciales y temporales que trascienden los límites de la gestión

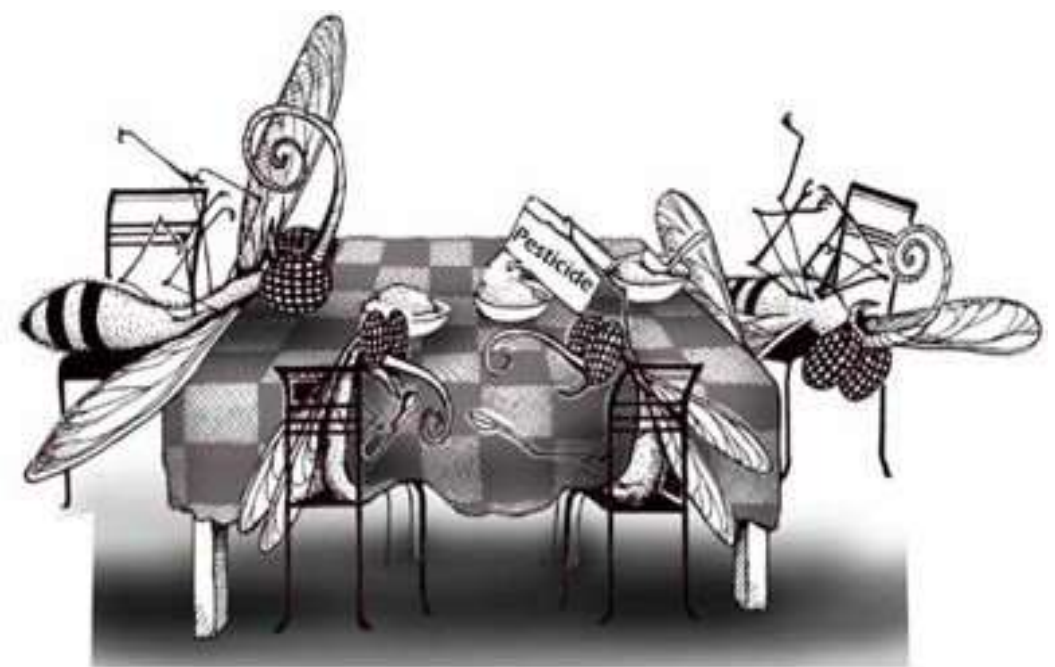
# CONTAMINACIÓN





# ACTIVIDADES CONTAMINANTES



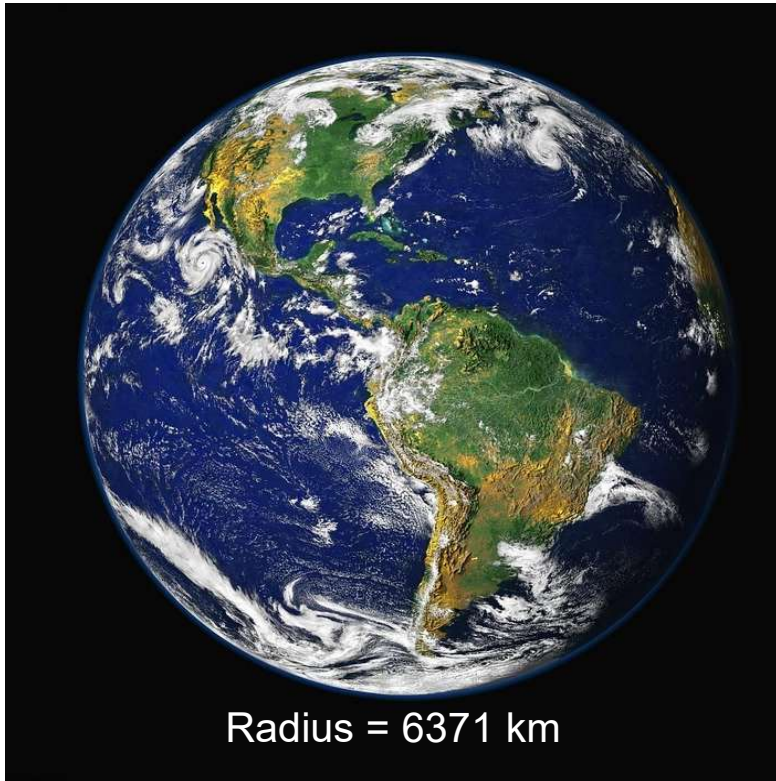


"Of course, that's the trouble with the older generation:  
they're so intolerant."

## REVOLUCIÓN VERDE



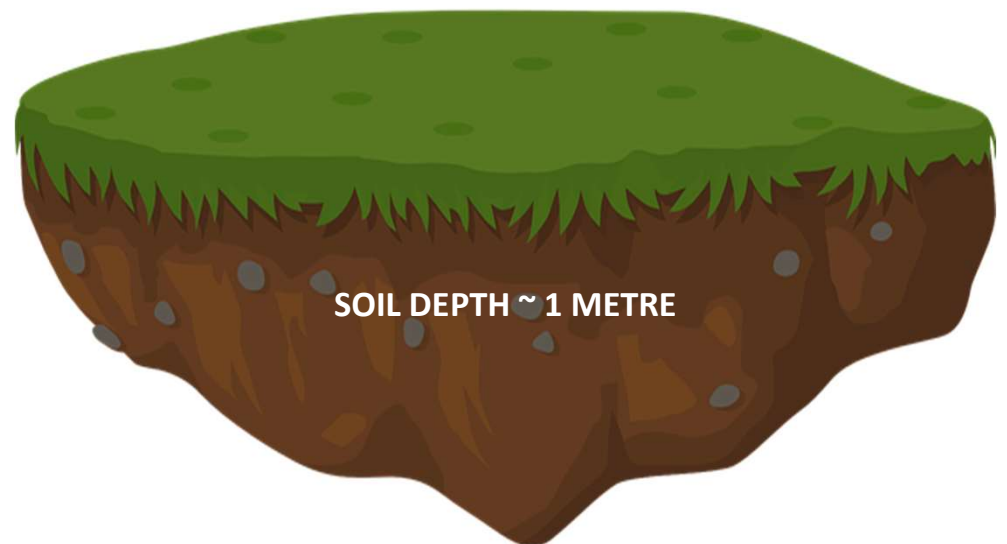
# SOIL IMPORTANCE



Earth = 6371 km → 100%  
Biosphere: 20 km → 0.31%  
Soil: 1 m → **0.000016%**

**We depend on this tiny %**

Civilizations have fallen because they failed to prevent and/or halt soil degradation. Ours?



# WE ARE COMPETING FOR SOIL

SEVERAL COUNTRIES ARE BUYING PRODUCTIVE LAND, MAINLY IN POOR COUNTRIES, TO SUSTAIN POPULATIONS BACK HOME OR AS INVESTMENT

# LAND GRABBING



# A HEALTHY SOIL FOR A HEALTHY PLANET



“Our planet is not fragile at its own timescale and we, pitiful latecomers in the last microsecond of our planetary year, are stewards of nothing in the long run.”

— Stephen Jay Gould

**Pale blue dot**

Photograph, February 14<sup>th</sup>, 1990

Voyager 1

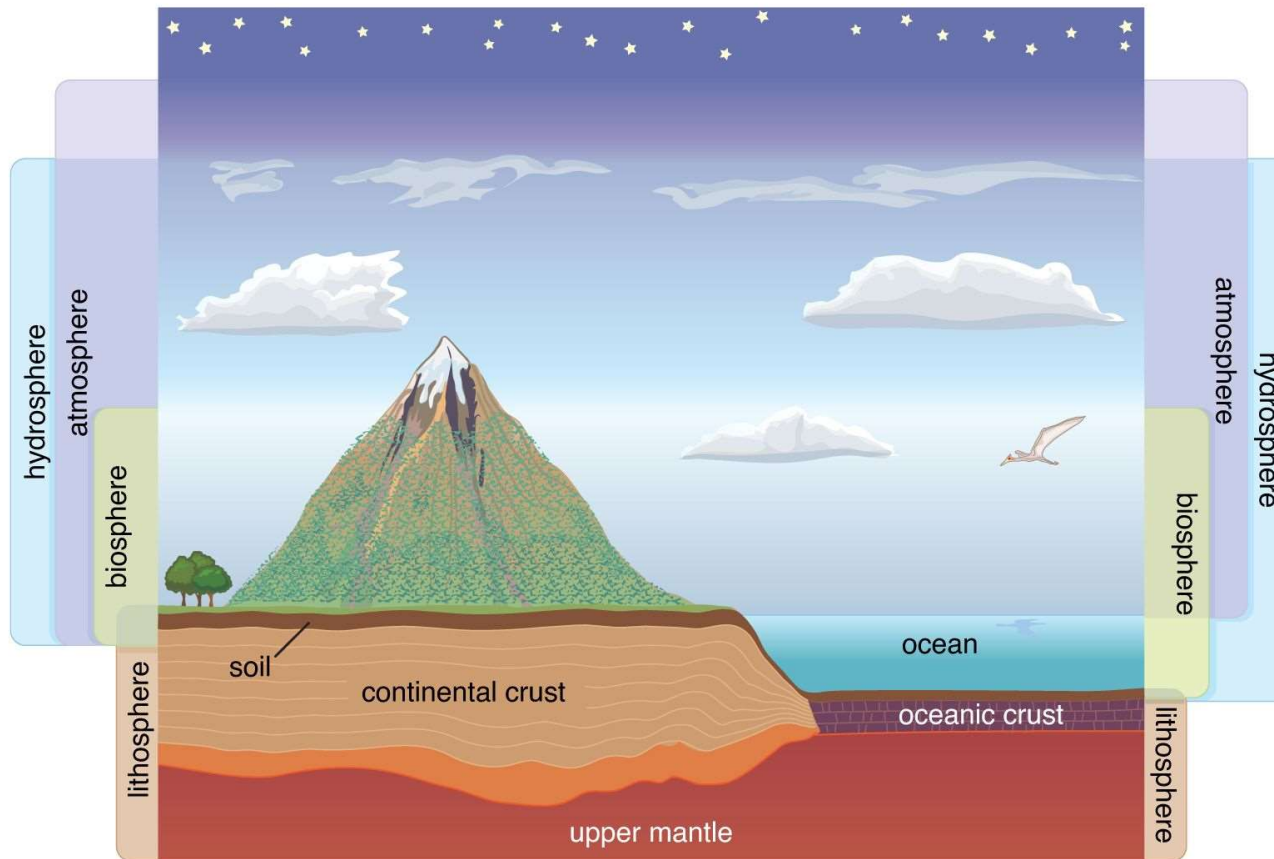
Earth →



**Unfortunately, habitable planets  
are hard to find**

# A HEALTHY SOIL FOR A HEALTHY BIOSPHERE

Earth's environmental spheres



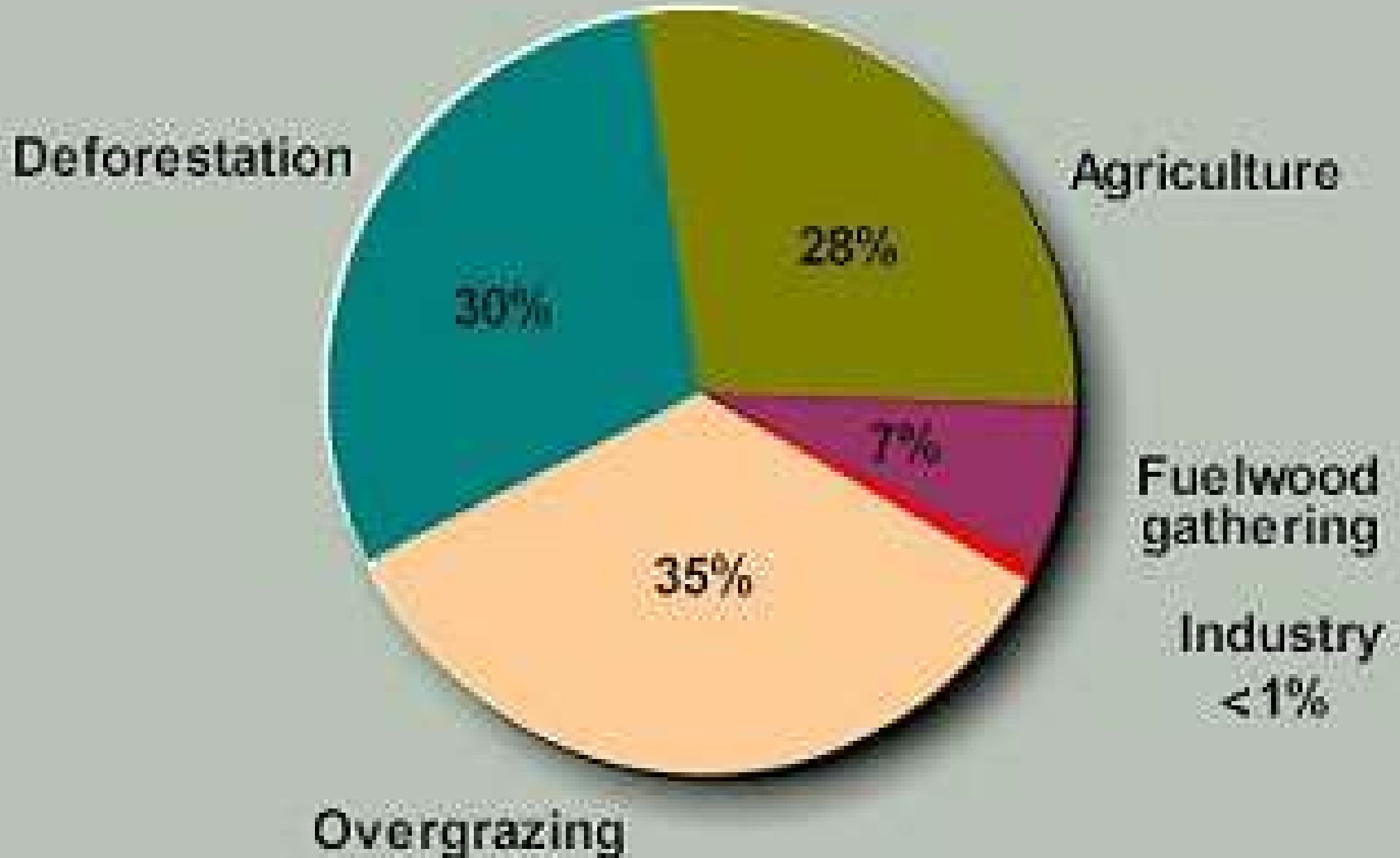
## BIOSPHERE

THE ZONE OF LIFE ON EARTH

The global ecological system integrating **all living beings and their RELATIONSHIPS**, including their interaction with the elements of the lithosphere, hydrosphere, and atmosphere



# Human Activities Causing Soil Degradation





# SUELOS: LA ÚLTIMA FRONTERA

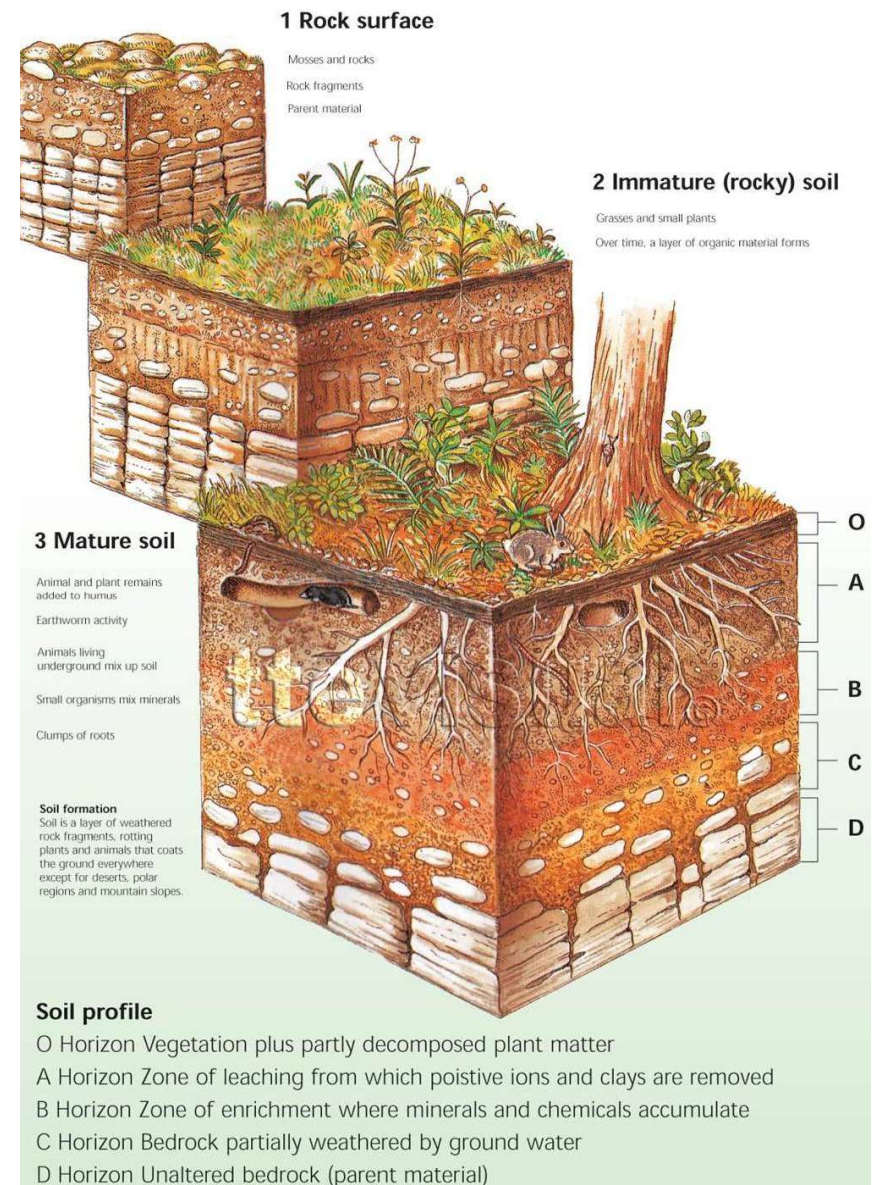
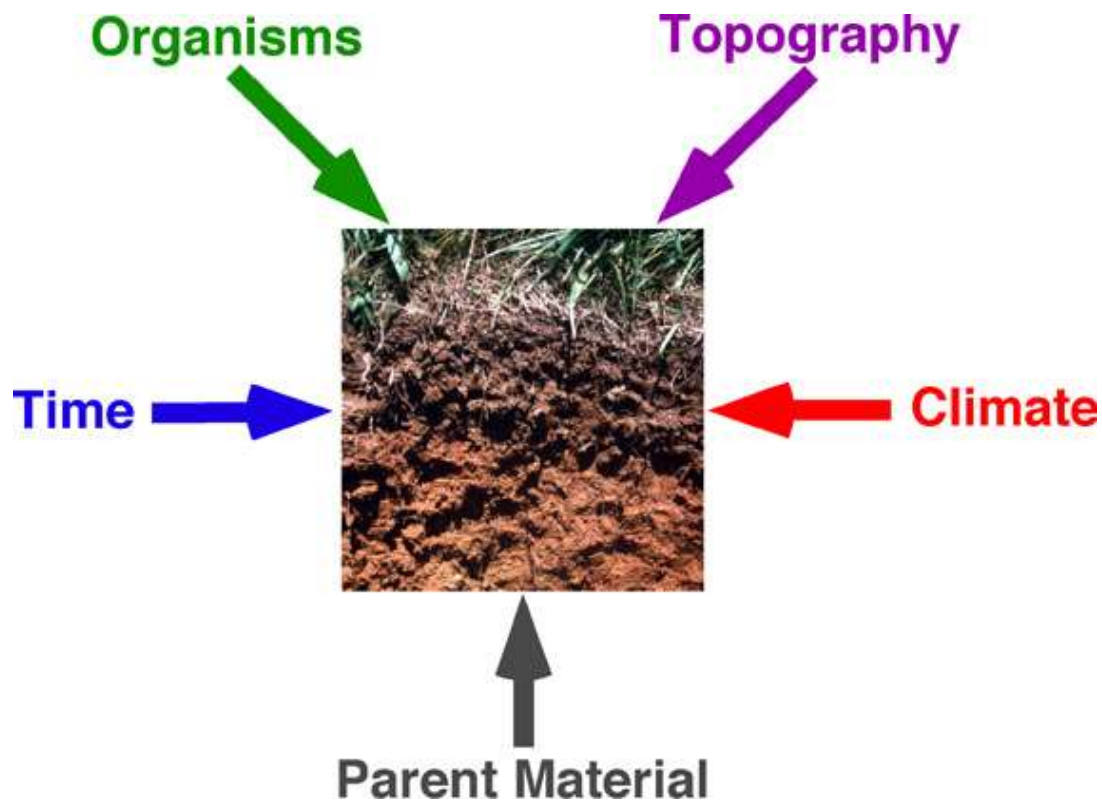


**EL ÚLTIMO RETO PARA LA ECOLOGÍA  
(MICROBIANA)**

# How soils form depends on **five soil-forming factors**:

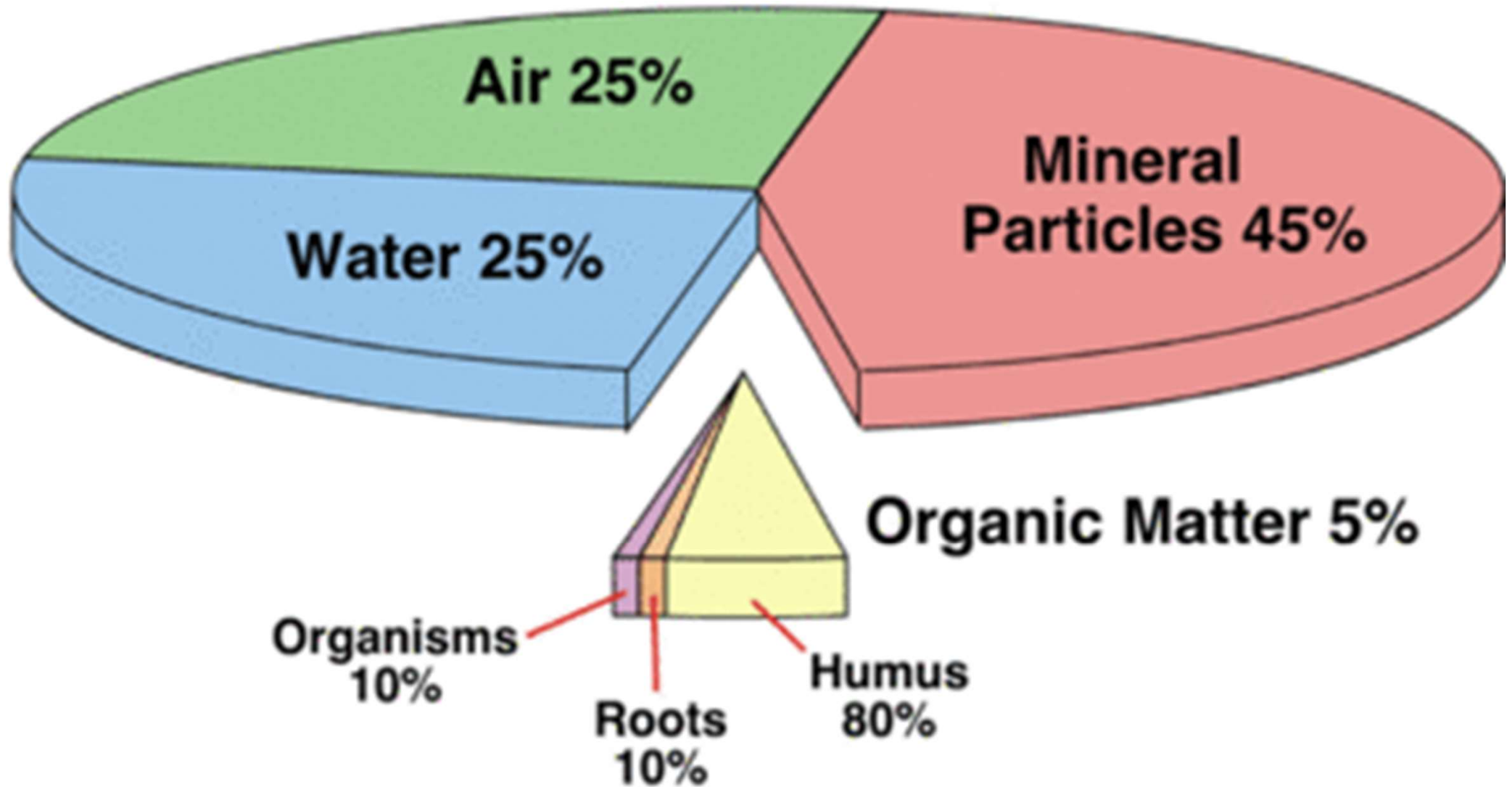
1. **Climate:** precipitation, temperature
2. **Topography:** shape of the land
3. **Biota:** vegetation, animals and microbes
4. **Parent material:** geologic and organic precursors to the soil
5. **Time:** time that parent material is subject to soil formation processes

HETEROGÉNEO EN EL ESPACIO  
DINÁMICO EN EL TIEMPO





# Average soil



# EN UN PUÑADO DE SUELO DE UN PASTO TEMPLADO

<b>Microorganismos Microfauna 1 - 100 <math>\mu\text{M}</math></b>	<b>Mesofauna 100 <math>\mu\text{M}</math> - 2 mm</b>	<b>Macro/Megafauna &gt;2 mm</b>
<b>Bacterias</b> 100 billones 10.000-50.000 especies (1.000.000 especies / 10 g)	<b>Tardígrados</b>	<b>Lombrices</b>
<b>Hongos</b> 50 km hifas >500 especies	<b>Colémbolos</b>	<b>Hormigas</b>
<b>Protozoos</b> 100.000 >100 especies	<b>Ácaros</b>	<b>Centípedos, cochinillas, etc.</b>
<b>Nematodos</b> 10.000 >100 especies	Juntos: >1.000 >100 especies	Juntos: >100 >10 especies

# SOIL BIODIVERSITY REPRESENTS A VAST BIOLOGICAL ENGINE DRIVING PROCESSES UPON WHICH OUR VERY SURVIVAL DEPENDS

BIOMASA por debajo del suelo generalmente es IGUAL O MAYOR que la que hay por encima  
BIODIVERSIDAD por debajo del suelo es ÓRDENES DE MAGNITUD MAYOR que la que hay por encima

# yikes, it's alive!

## Watch your step. Soil swarms with life.

But most of it is out of your sight—in the ground or so small you need a magnifying glass or a microscope to see it. Many, many times more organisms live below ground than above it.

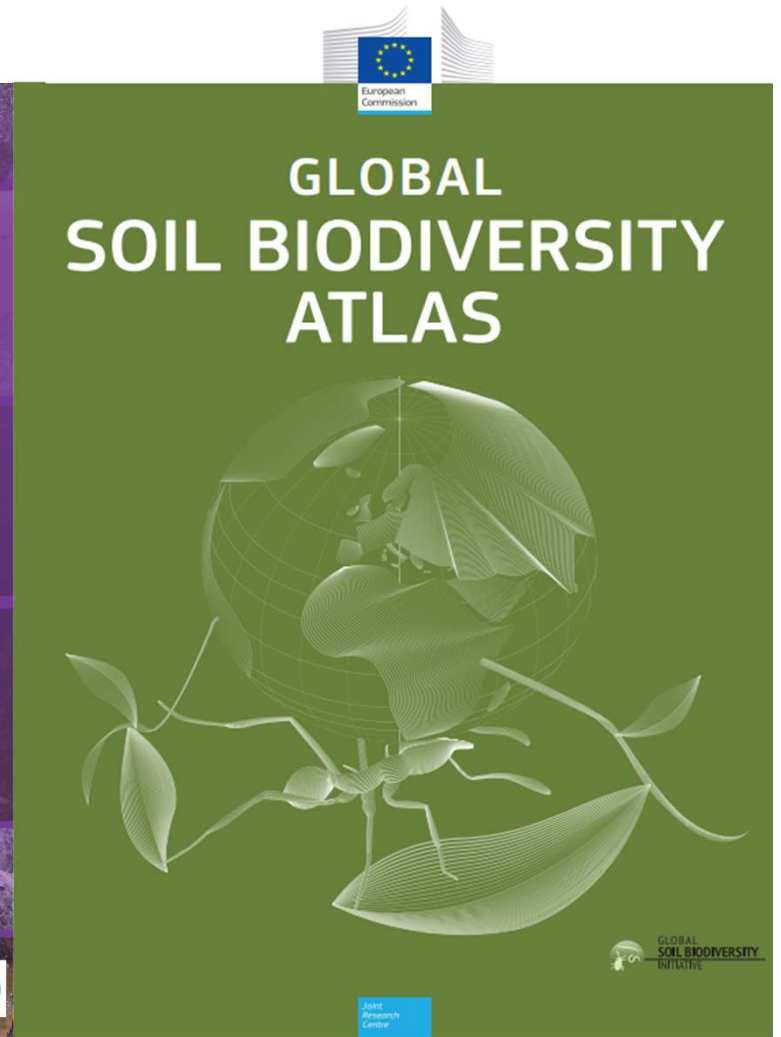
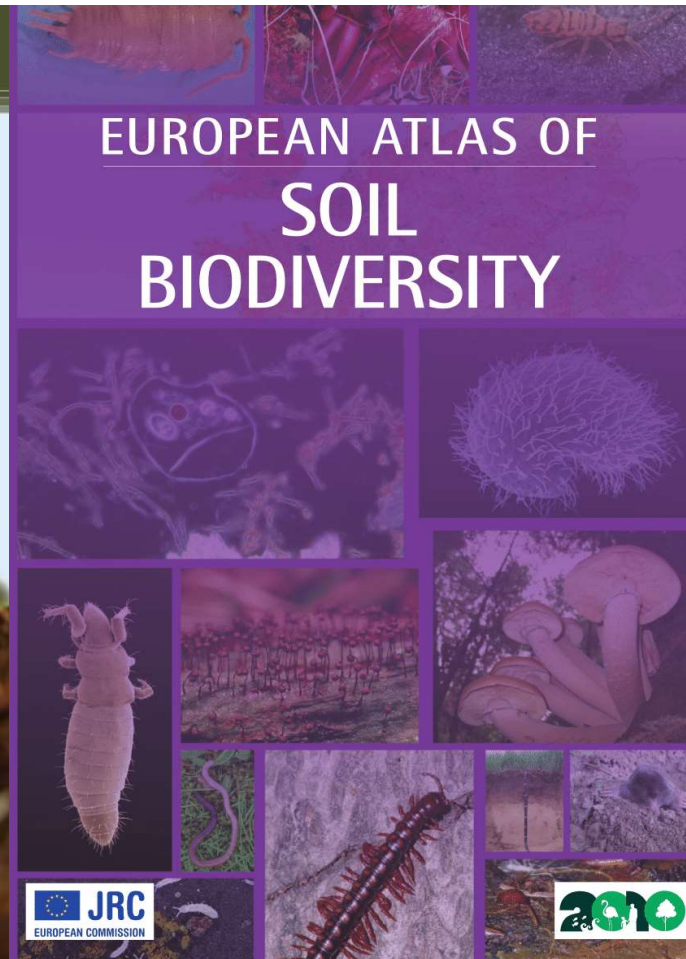
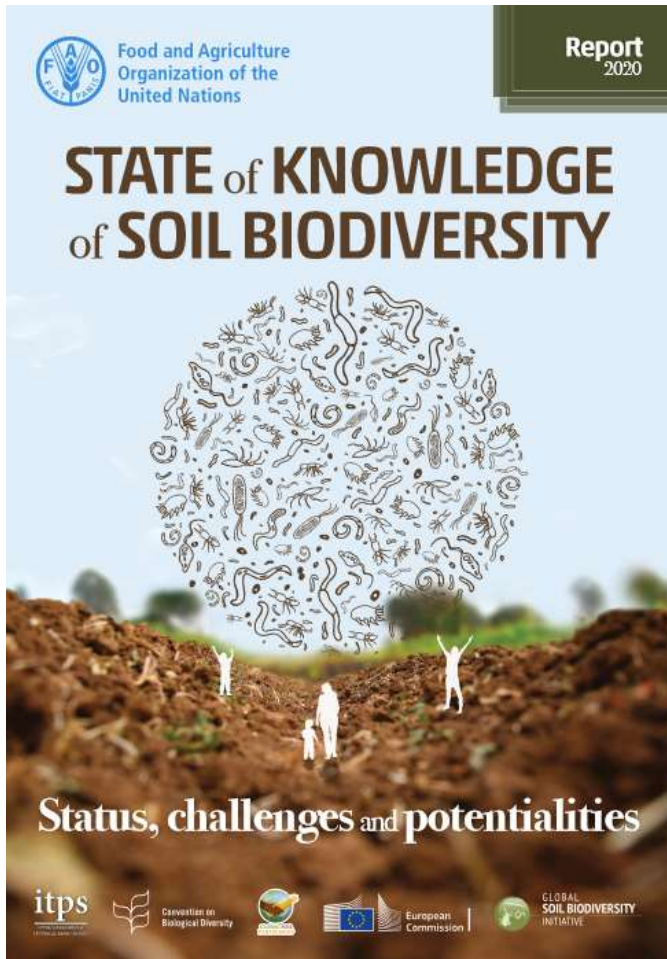
Soil provides a home for organisms, and in turn, organisms keep soil healthy. It's a partnership. Each sustains the other.

If you examine the upper few centimeters or inches of one square meter of ground (about 3 feet by 3 feet), you'll find millions of nematodes (tiny worms) in it for every bird or squirrel that you can see above the ground. This pyramid organizes diverse groups of soil organisms by their abundance. The smallest among them, it turns out, are the most abundant.



**Under the microscope**

# BIODIVERSIDAD DEL SUELO



# Soils are home to more than 25% of the Earth's total biodiversity

T. Decaëns, J. J. Jiménez, C. Gioia, G. Measey, P. Lavelle, The values of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.* 42, S23–S38 (2006)

**PNAS** RESEARCH ARTICLE | ECOLOGY

## Enumerating soil biodiversity

Mark A. Anthony<sup>1,2</sup>, S. Franz Bender<sup>3,4</sup>, and Marcel G. A. van der Heijden<sup>1,2</sup>

Edited by Diana Wall, Colorado State University, Fort Collins, CO; received March 21, 2023; accepted July 2, 2023

Soil is an immense habitat for diverse organisms across the tree of life, but just how many organisms live in soil is surprisingly unknown. Previous efforts to enumerate soil biodiversity consider only certain types of organisms (e.g., animals) or report values for diverse groups without partitioning species that live in soil versus other habitats. Here, we reviewed the biodiversity literature to show that soil is likely home to  $59 \pm 15\%$  of the species on Earth. We therefore estimate an approximately two times greater soil biodiversity than previous estimates, and we include representatives from the simplest (microbial) to most complex (mammals) organisms. Enchytraeidae have the greatest percentage of species in soil (98.6%), followed by fungi (90%), Plantae (85.5%), and Isoptera (84.2%). Our results demonstrate that soil is the most biodiverse singular habitat. By using this estimate of soil biodiversity, we can more accurately and quantitatively advocate for soil organismal conservation and restoration as a central goal of the Anthropocene.

### Significance

Soil organisms mediate unique functions we rely on for food, fiber, and human and planetary health. Despite the significance of soil life, we lack a quantitative estimate of soil biodiversity, making it challenging to advocate for the importance of protecting, preserving, and restoring soil life. Here, we show that soil is likely

Soil is likely home to  $59\% \pm 15\%$  of the species on Earth. Enchytraeidae have the greatest percentage of species in soil (98.6%), followed by fungi (90%), Plantae (85.5%), and Isoptera (84.2%)

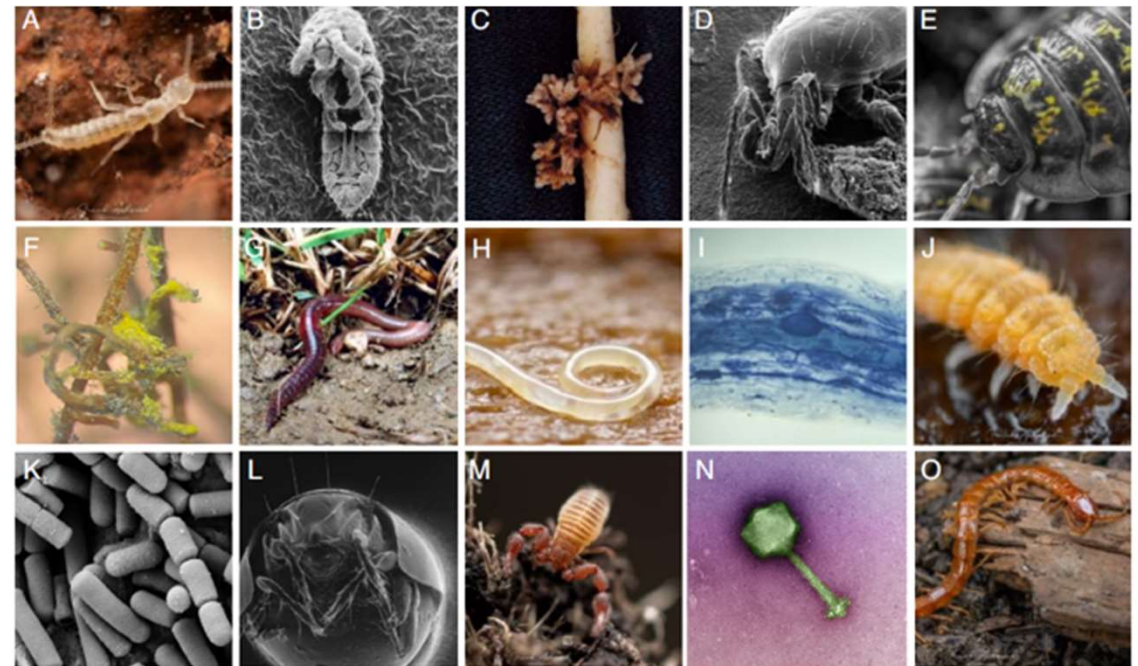


Fig. 1. Diversity of the major life forms found in soil. (A) bristletail (© F. Ashwood), (B) springtail (© H. Conrad), (C) nitrogen-fixing bacteria-containing nodules on clover root (© M. van der Heijden), (D) predatory mite (© H. Conrad), (E) isopod (© F. Ashwood), (F) scots pine root colonized by ectomycorrhizal fungi (yellow) (© M. Anthony), (G) earthworm (© G. Brändle), (H) nematode (© A. Murray), (I) corn root colonized by arbuscular mycorrhizal fungi (blue) (© F. Bender), (J) springtail (© F. Ashwood), (K) a common soil bacterium *Bacillus* (Creative Commons Attribution-Share license, photo by M. Das Murtey and P. Ramasamy), (L) horned mite (© H. Conrad), (M) pseudoscorpion (© F. Ashwood), (N) phage infecting a soil bacterium (© T. de Carvalho), (O) centipede (© F. Ashwood).

# SOIL IS THE MOST BIODIVERSE SINGULAR HABITAT

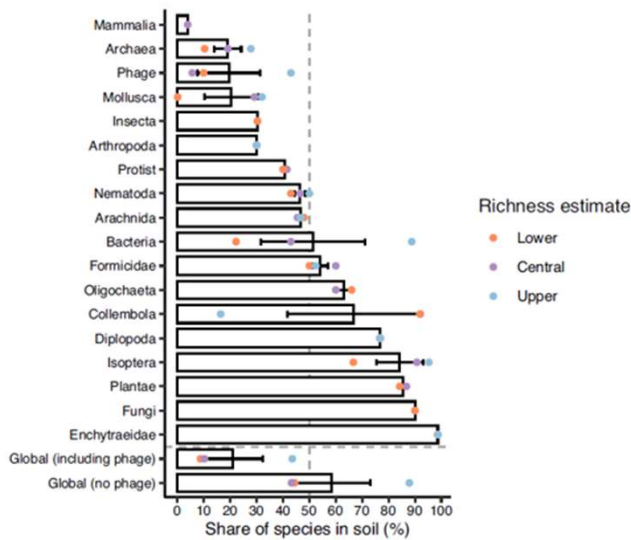


**Table 1. Enumeration of biodiversity on Earth and in soil**

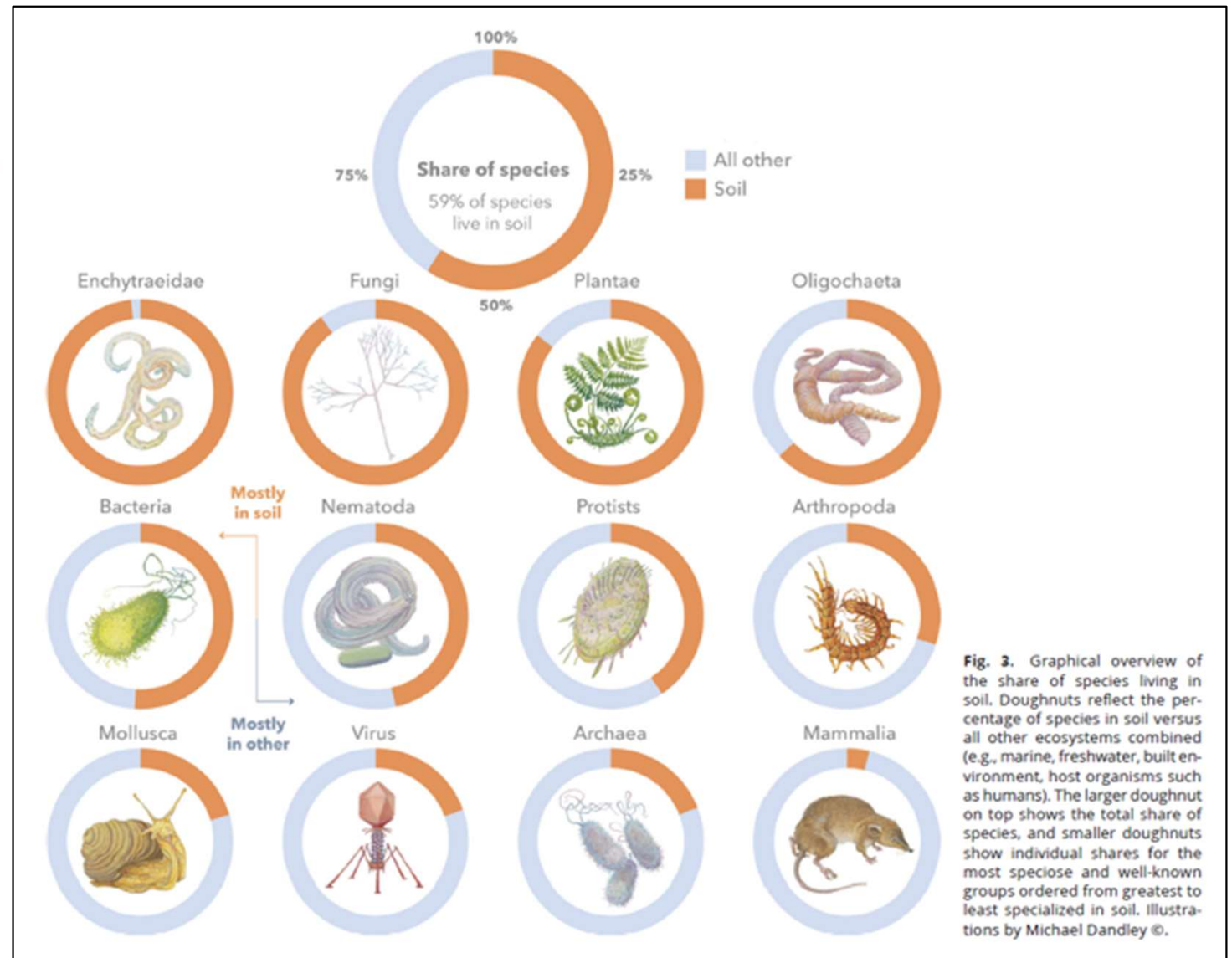
Macrobies	Total species			Conf.
	Lower	Central	Upper	
Mammalia	n/a	$6.5 \times 10^3$ (16, 49)	$4.5 \times 10^4$ (41)	H
Nematoda	$5 \times 10^5$ (50, 51)	$1 \times 10^6$ (33, 52)	$1 \times 10^8$ (52)	L
Arthropoda	$1.14 \times 10^6$ (53)	$7 \times 10^6$ (32)	$3 \times 10^7$ (54) <sup>h,7</sup>	M
<i>Insecta</i>	$9.5 \times 10^5$ (53)	$5-5.5 \times 10^6$ (32, 41)	$1 \times 10^8$ (55) <sup>h,7</sup>	M
<i>Arachnida</i>	$9 \times 10^4$ (53)	$1.1 \times 10^5$ (41)	$7.5 \times 10^5$ (50)	M
<i>Collembola</i>	$6.5 \times 10^3$ (56)	$8.7 \times 10^3$ (53)	$5 \times 10^4$ (57)	M
<i>Diplopoda</i>	$1.3 \times 10^4$ (53, 58)	$1.5 \times 10^4$ (58)	$7-8 \times 10^4$ (41, 59)	M
<i>Isoptera</i>	$3 \times 10^3$ (53)	$5.4 \times 10^3$ (60)	$1 \times 10^4$ (7)	M
<i>Formicidae</i>	$1 \times 10^4$ (53)	$1.5 \times 10^4$ (61)	$2.1 \times 10^4$ (62)	M
Oligochaeta	$5 \times 10^3$ (63)	$1 \times 10^4$ (64)	?	H
Enchytraeidae	$7.1 \times 10^2$ (65)	$7.8 \times 10^2$ (53)	$1.2 \times 10^3$ (7)	H
Mollusca	$8 \times 10^4$ (41)	$1.2 \times 10^5$ (53)	$2 \times 10^5$ (50)	H
Plantae	$3.8 \times 10^5$ (53)	$5.37 \times 10^5$ (64)	n/a	H
Microbes <sup>k</sup>	$6.7 \times 10^{6k}$	$1.01 \times 10^{9k}$	$1 \times 10^{12-14}$ (34, 66) <sup>7</sup>	L
Phage	$1 \times 10^9$ (67) <sup>7</sup>	$1 \times 10^{11}$ (68) <sup>17</sup>	$3.7 \times 10^{11}$ (68) <sup>17</sup>	VL
Bacteria	$4.3-4.5 \times 10^6$ (19, 39)	$1 \times 10^9$ (17)	$3.7 \times 10^9$ (43) <sup>n</sup>	L
Fungi	$2.2 \times 10^6$ (35)	$6.2 \times 10^6$ (69)	$1.65 \times 10^8$ (42) <sup>n,7</sup>	M
Archaea	$1.1 \times 10^4$ (70)	$1.9 \times 10^5$ (19) <sup>r</sup>	$3.8 \times 10^5$ (19) <sup>r</sup>	L
Protists	$6 \times 10^4$ (55)	$1-3 \times 10^5$ (12, 55, 71)	$8.4-16.2 \times 10^7$ (42, 72) <sup>7</sup>	L
Total	$1.1 \times 10^8$	$1.01 \times 10^{11}$	$3.74 \times 10^{11}$	L
Macrobies	Species in soil			
Mammalia	75 (12)	250 (73)	?	H
Nematoda	$2.15 \times 10^{5a}$	$4.65 \times 10^{5a}$	$5 \times 10^{7a}$	L
Arthropoda	$3.49 \times 10^5$ (12)	$2.1 \times 10^{6c}$	$9.2 \times 10^{6c}$	M
<i>Insecta</i>	$2.88 \times 10^5$ (12)	$1.67 \times 10^{6c}$	$3 \times 10^{6c}$	M
<i>Arachnida</i>	$4.32 \times 10^4$ (12)	$5 \times 10^{4d}$	$3.5 \times 10^{5c}$	M
<i>Collembola</i>	$5.98 \times 10^3$ (74) <sup>e</sup>	$8 \times 10^3$ (12)	$8.18 \times 10^3$ (74) <sup>e</sup>	M
<i>Diplopoda</i>	$1 \times 10^4$ (12)	$1.15 \times 10^{4c}$	$6.15 \times 10^{4c}$	M
<i>Isoptera</i>	$2 \times 10^3$ (12)	$4.9 \times 10^{3f}$	$9.5 \times 10^{3f}$	M
<i>Formicidae</i>	$5 \times 10^3$ (75) <sup>g</sup>	$9 \times 10^3$ (12)	$1.1 \times 10^4$ (75) <sup>g</sup>	M
Oligochaeta	$3.3 \times 10^3$ (63)	$6 \times 10^3$ (12)	?	H
Enchytraeidae	$7 \times 10^{2h}$	$7.7 \times 10^2$ (12)	$1.18 \times 10^{3c}$	H
Mollusca	80 (12)	$3.5 \times 10^4$ (76) <sup>j</sup>	$6.4 \times 10^4$ (77) <sup>j</sup>	H
Plantae	$3.2 \times 10^{5i}$	$4.66 \times 10^{5i}$	n/a	H
Microbes <sup>k</sup>	$6 \times 10^{6k}$	$4.4 \times 10^{8k}$	?	L
Phage	$5.6 \times 10^6$ (68) <sup>m,7</sup>	$9.9 \times 10^9$ (78) <sup>m,7</sup>	$1.59 \times 10^{11,m,7}$	VL
Bacteria	$9.5 \times 10^5$ (39) <sup>o</sup>	$4.3 \times 10^{8,o}$	$3.3 \times 10^{9,o}$	L
Fungi	$2 \times 10^{6q}$	$5.6 \times 10^{6q}$	n/a <sup>q</sup>	M
Archaea	$1.1 \times 10^{3s}$	$3.6 \times 10^{4s}$	$1.9 \times 10^{5s}$	L
Protists	$2.4 \times 10^{4t}$	$8.3 \times 10^{4t}$	n/a <sup>t</sup>	L
Total	$9.5 \times 10^6$	$1.04 \times 10^{10}$	$1.62 \times 10^{11}$	L

Species that live in soil: those that live **within, on** (e.g., insects that feed on the surface of soil), **or which complete any part of their life cycle in soil** (e.g., organisms with an inactive pupal stage in soil or plant seeds that germinate in soil) **or in the tissues of soil-dwelling symbionts** (for instance, microbial parasites of soil animals)

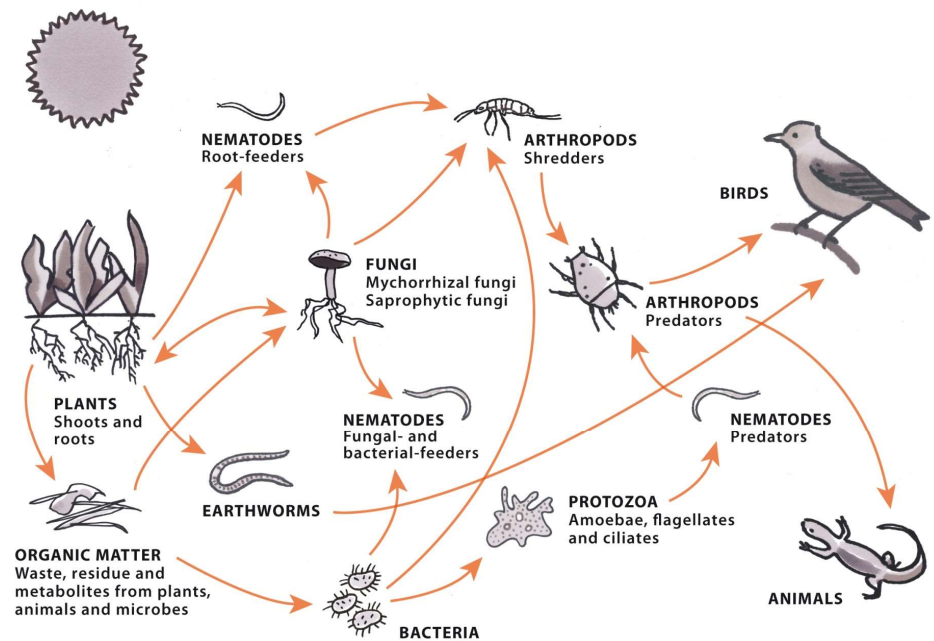
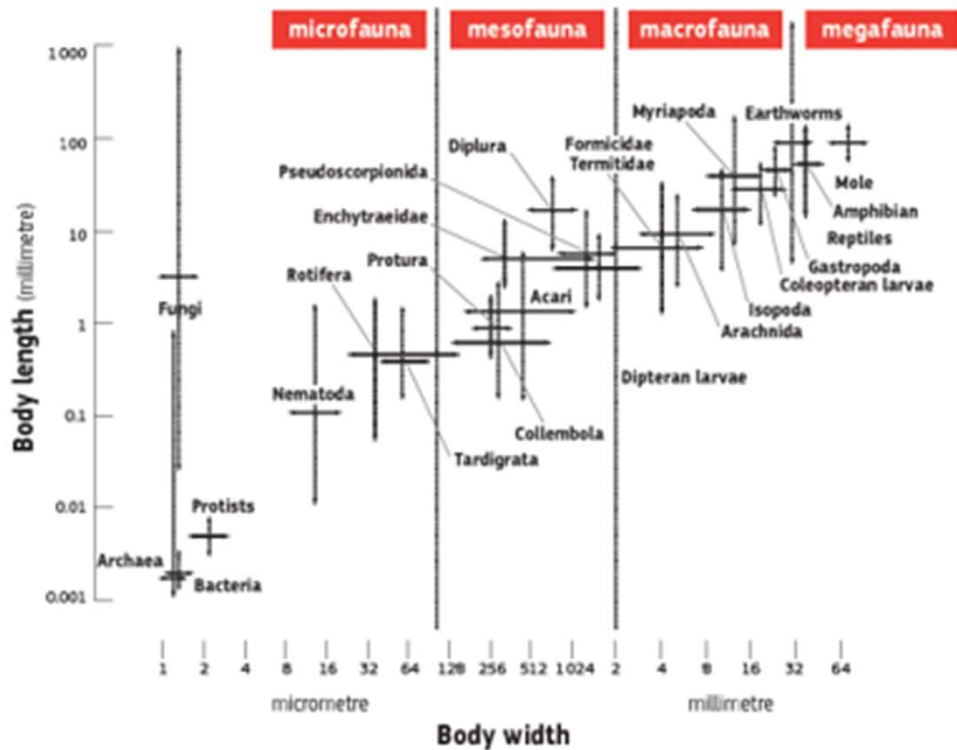
The total number of species in soil is estimated to be between  $9.5 \times 10^6$  and  $1.62 \times 10^{11}$



**Fig. 2.** Percentages of different groups of life on Earth that live in soil. Species that live in, on, or complete part of their life cycle in soil were classified as “species in soil”. The global percent of species in soil, including or excluding phage, summarized across all groups is also shown. Bars represent the mean and error bars are plus or minus one SE (where >1 prediction was available) of the lower, central, and upper estimates (e.g., for bacteria, we estimate 22.2, 43, and 88.8% for the lower, central, and upper estimates, respectively, for an average of  $51 \pm 20\%$ ). Note that some groups do not have a lower, central, and upper species richness estimate (e.g., Mammalia; see Table 1), and there are no error bars for these groups. See Table 1 for an estimate of the total number of taxa on Earth and those living in soil for each taxonomic group as well as our confidence in each prediction.



**Fig. 3.** Graphical overview of the share of species living in soil. Doughnuts reflect the percentage of species in soil versus all other ecosystems combined (e.g., marine, freshwater, built environment, host organisms such as humans). The larger doughnut on top shows the total share of species, and smaller doughnuts show individual shares for the most speciose and well-known groups ordered from greatest to least specialized in soil. Illustrations by Michael Dandley ©.

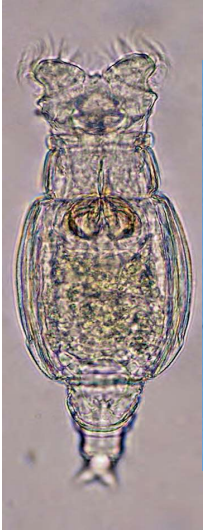


## LOS ORGANISMOS DEL SUELO PUEDEN DIVIDIRSE EN TRES GRUPOS FUNCIONALES

**INGENIEROS QUÍMICOS:** bacterias, arqueas, hongos y protistas-protozoos. Responsables de la descomposición de la materia orgánica

**REGULADORES BIOLÓGICOS:** pequeños invertebrados (nematodos, colémbolos, ácaros, etc.). Depredadores de plantas, de otros invertebrados o de microorganismos, regulando así su dinámica en el espacio y el tiempo

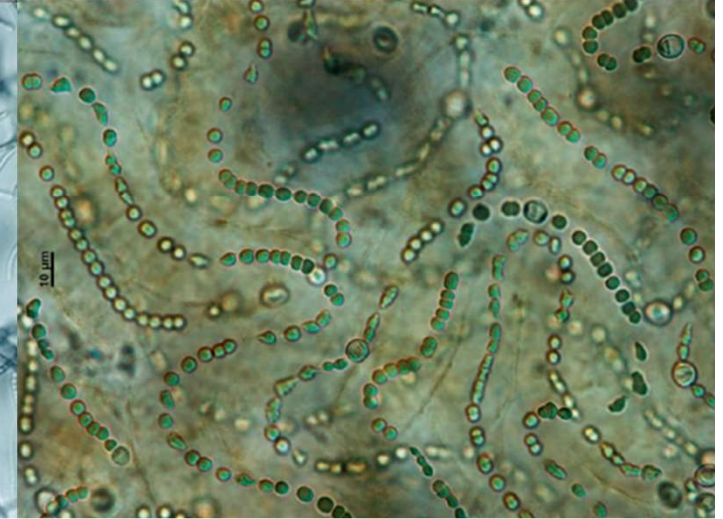
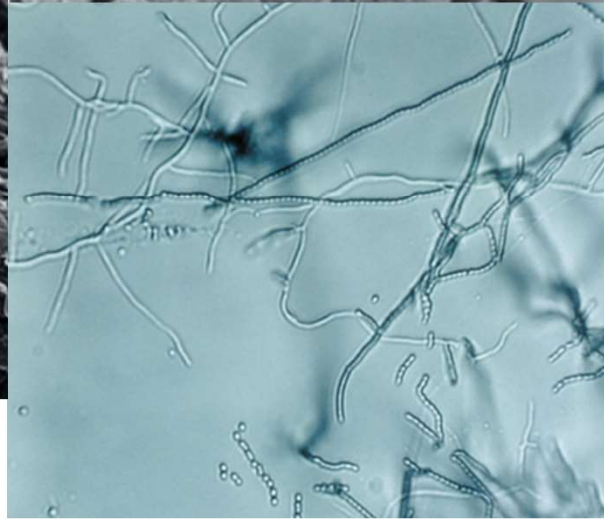
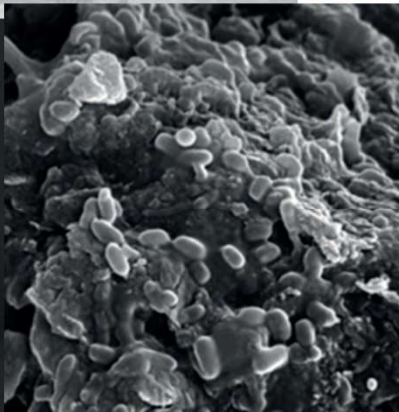
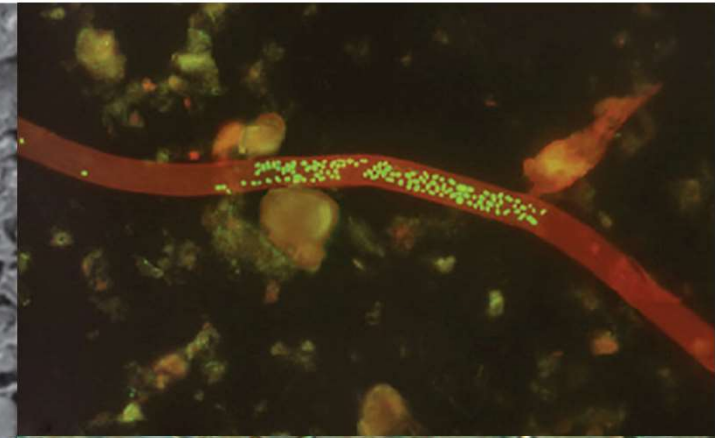
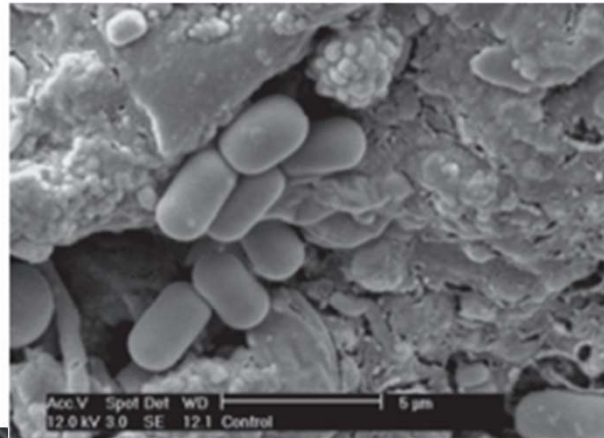
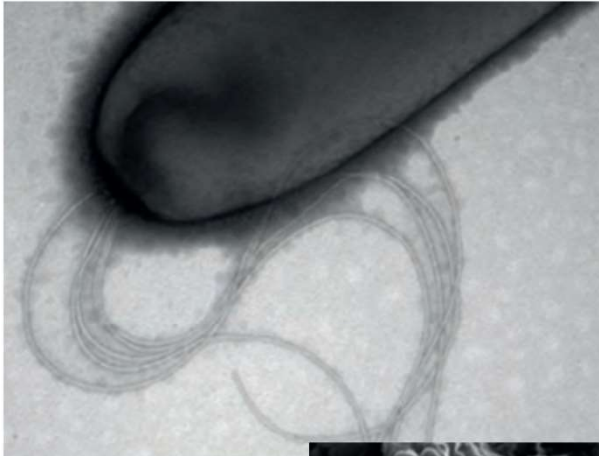
**INGENIEROS DEL ECOSISTEMA:** lombrices, hormigas, termitas, topes, etc. Modifican o crean hábitats



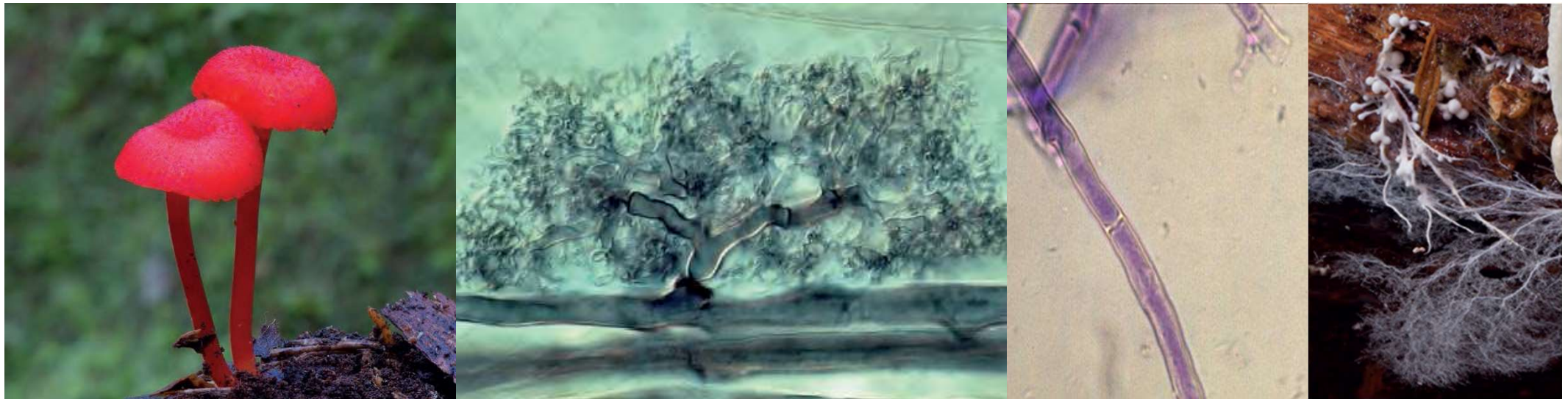
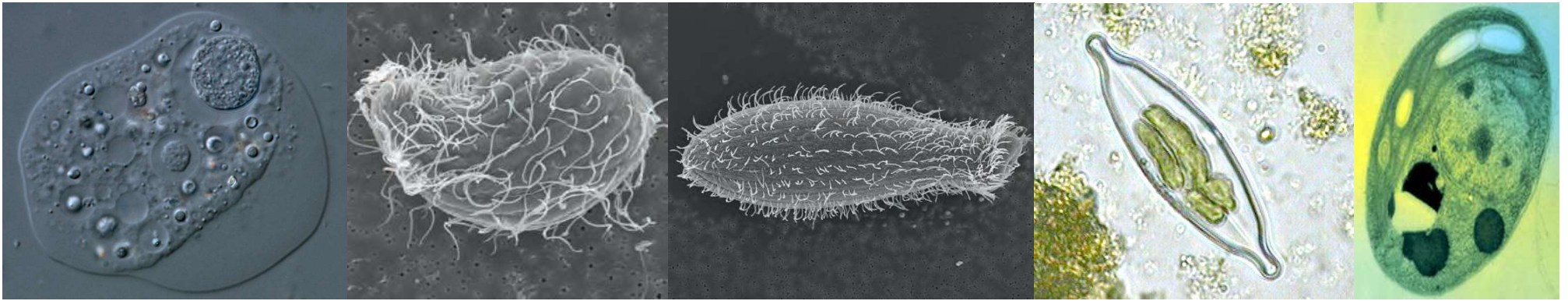
**Maestros de la  
criptobiosis**

## MICROBES RULE!!

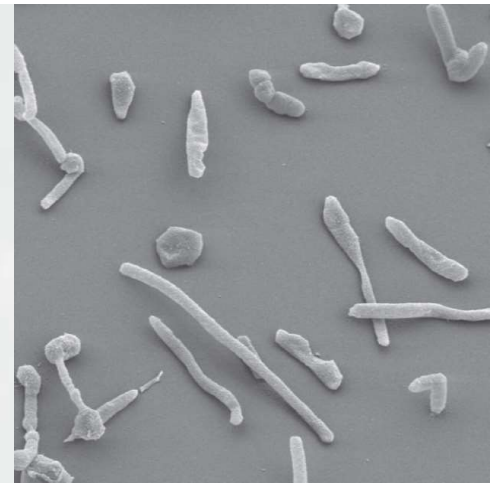
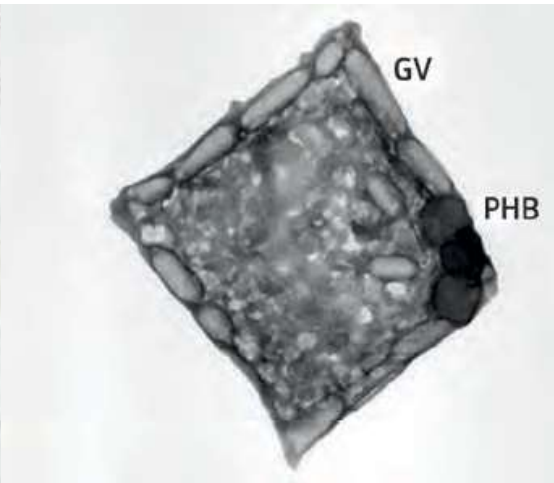
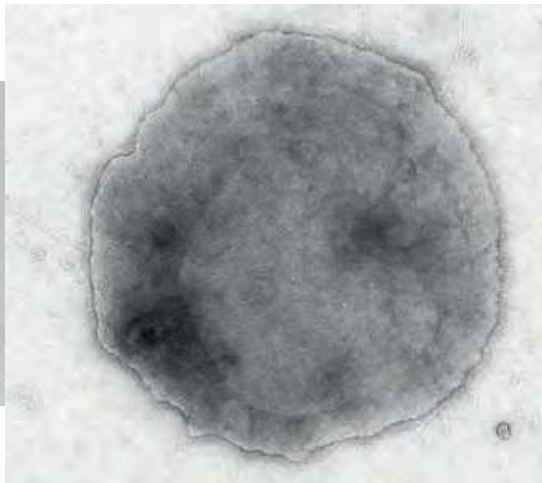
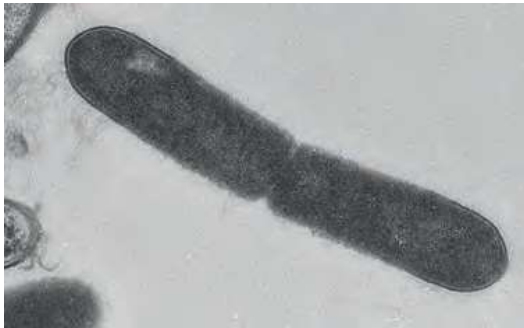
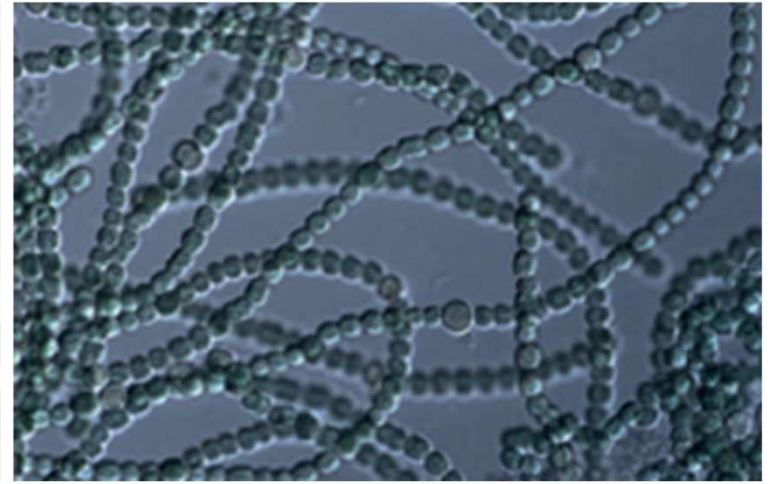
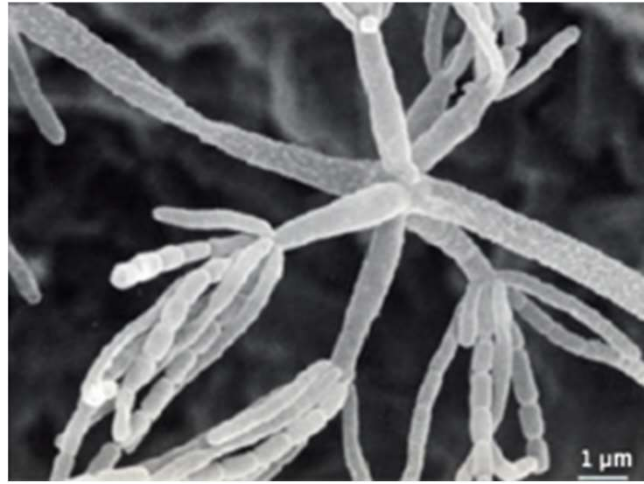
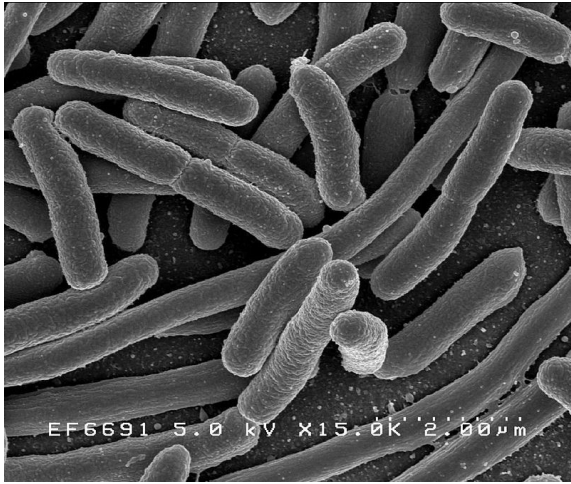
- ❑ Procariotas: ARQUEAS y BACTERIAS (¿mitocondrias, cloroplastos?)
- ❑ Eucariotas: HONGOS y PROTISTAS: eucariotas que no son ni animales, ni plantas, ni hongos. Amebas, ciliados, flagelados, diatomeas, oomicetos, mohos mucilaginosos,...



*Images credit: European Atlas of Soil Biodiversity & Global Soil Biodiversity Atlas*



**No me extraña que MICROGRAPHIA, el libro de Robert Hooke de 1665, fuera el primer best seller científico**



*Images credit: European Atlas of Soil Biodiversity & Global Soil Biodiversity Atlas*

# MARVELS OF NATURE

## **PHYSARUM POLYCEPHALUM**

A slime mold searches for bacteria and spores of fungi. It extends its tentacles until it finds prey. As it crawls over its victims, it oozes out cell-slashing enzymes and drinks up the debris

**They can discover the shortest path through a maze.** In one experiment, scientists created a map of the United States, with oatmeal standing in for the biggest cities. The slime molds built what looked remarkably like the American interstate highway system

They form tentacles enmeshed in a skeleton of wires. The slime mold is **perpetually building new parts of its skeleton and taking down other**. The slime mold **beats like a web-shaped heart**. Slime molds can make new nuclei but they don't bother to divide their cells in two. **Every slime mold is a single gigantic cell**. Under the right conditions, slime molds can get as big as a throw rug

JOURNAL ARTICLE

### Collective behaviour and swarm intelligence in slime moulds FREE

Chris R. Reid, Tanya Latty ✉

*FEMS Microbiology Reviews*, Volume 40, Issue 6, November 2016, Pages 798–806, <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw033>

Published: 29 August 2016 [Article history](#) ▾



“The blob”  
UN MOHO INTELIGENTE

Slime mold in culture: *Physarum polycephalum*; plasmodial wandering stage, (seeking food). SCIENCE SOURCE



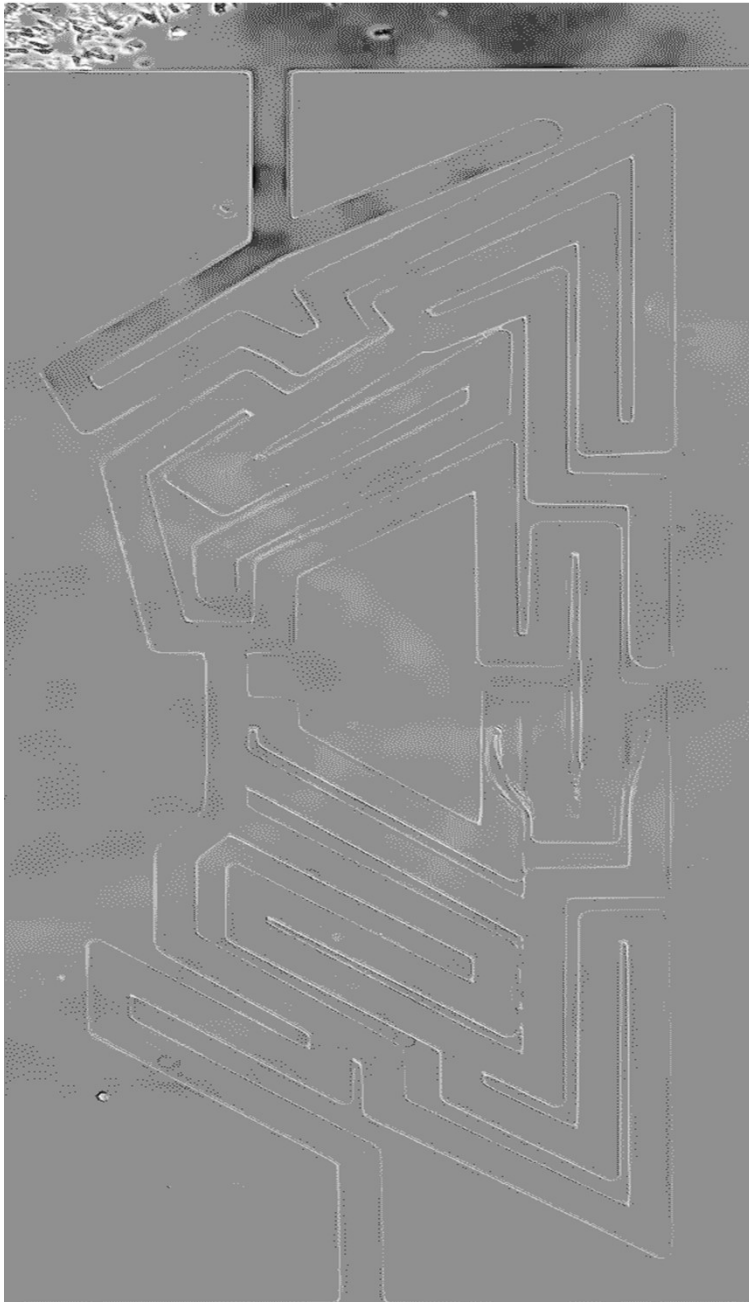
This Pulsating Slime Mold Comes in Peace (ft. It's Okay to Be Smart) | Deep Look

**BIOMIMICRY: BRAINLESS SLIME MOLDS CAN CREATE SMART NETWORKS**



# MARVELS OF NATURE

## *Dictyostelium discoideum*



## *Dictyostelium discoideum* (social, farmer) “Amoebas” solve a microscopic version of London's Hampton Court Maze

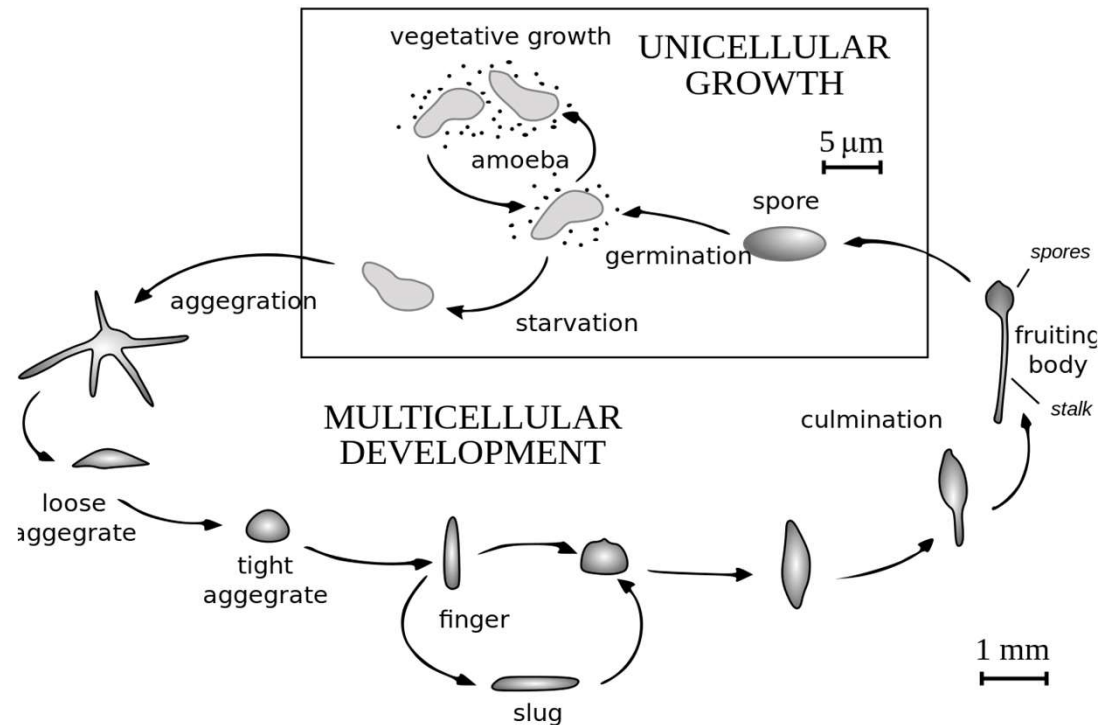
Seeing around corners: Cells solve mazes and respond at a distance using attractant breakdown. *Science* 2020



Wikipedia: Queller/Strassmann Lab - Usman Bashir

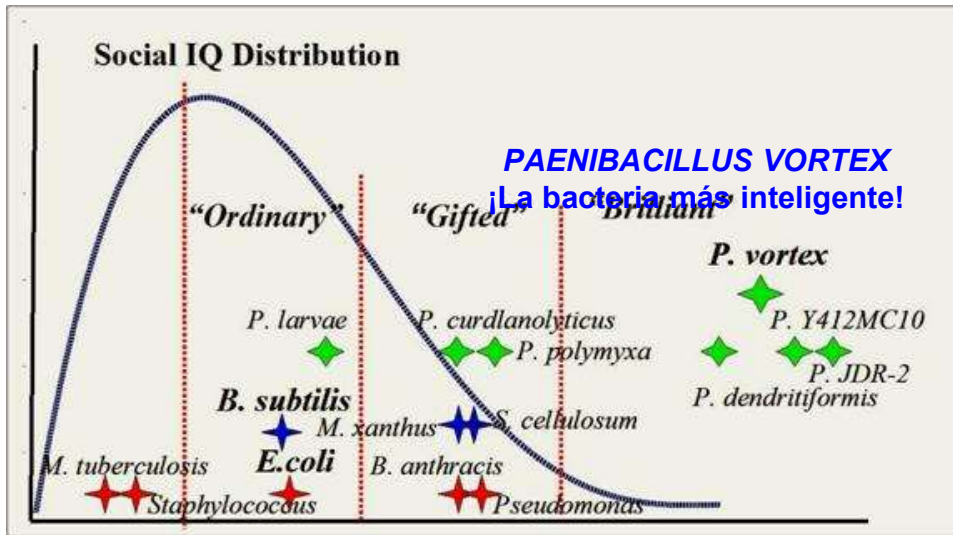


Wikipedia: By Bruno in Columbus

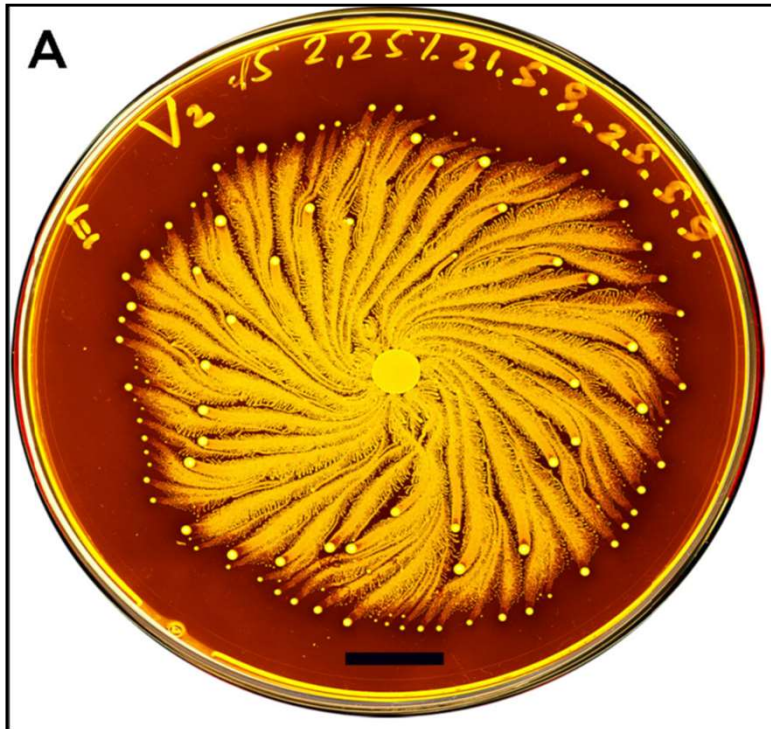


Wikipedia: By Tijmen Stam, IIVQ (SVG conversion)

# MARVELS OF NATURE



**Armillaria ostoyae:** In Oregon, a colony of this "honey fungus" covers an area of ca. **900 hectares** and is estimated to be 2,000-8,000 years old. All cells are genetically identical (all of the fungal hyphae have grown out of one spore), making this both the largest and oldest living organism in the world



# MARVELS OF NATURE: MICROBES

## DESAFÍAN CONSTANTEMENTE NUESTRO CONOCIMIENTO

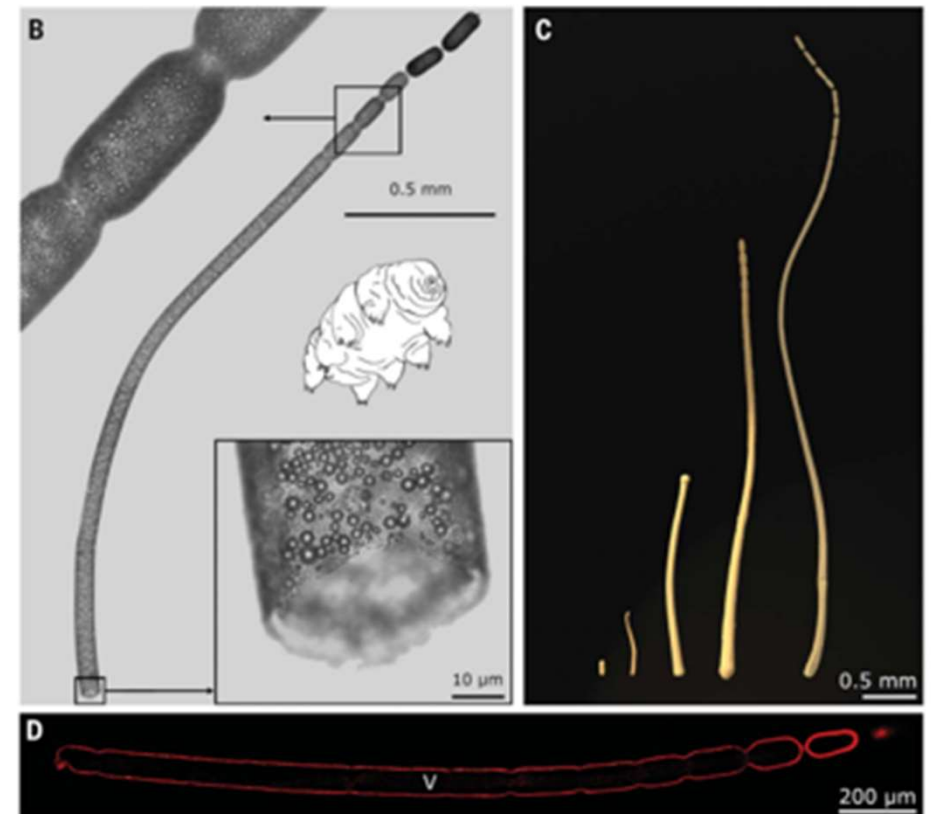
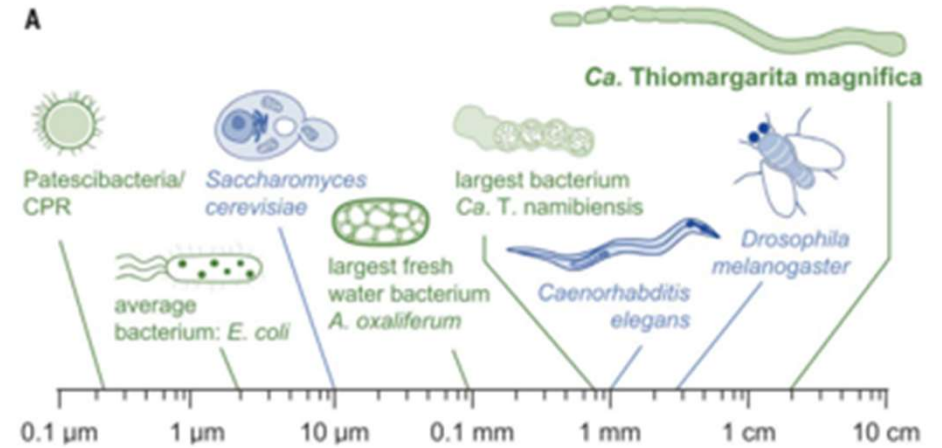
**MICROBIOLOGY** Volland et al., Science 376, 1453–1458 (2022)

### A centimeter-long bacterium with DNA contained in metabolically active, membrane-bound organelles

Jean-Marie Volland<sup>1,2,\*†</sup>, Silvina Gonzalez-Rizzo<sup>3†</sup>, Olivier Gros<sup>3,4,\*†</sup>, Tomáš Tymi<sup>1,2</sup>, Natalia Ivanova<sup>1</sup>, Frederik Schulz<sup>1</sup>, Danielle Goudeau<sup>1</sup>, Nathalie H. Elisabeth<sup>5</sup>, Nandita Nath<sup>1</sup>, Daniel Udvary<sup>1</sup>, Rex R. Malmstrom<sup>1</sup>, Chantal Guidi-Rontani<sup>6</sup>, Susanne Bolte-Kluge<sup>7</sup>, Karen M. Davies<sup>5,8†</sup>, Maïtena R. Jean<sup>3</sup>, Jean-Louis Mansot<sup>4</sup>, Nigel J. Mouncey<sup>1</sup>, Esther R. Angert<sup>9</sup>, Tanja Woyke<sup>1,2,10\*</sup>, Shailesh V. Date<sup>2,11,12\*</sup>

Cells of most bacterial species are around 2 micrometers in length, with some of the largest specimens reaching 750 micrometers. Using fluorescence, x-ray, and electron microscopy in conjunction with genome sequencing, we characterized *Candidatus* (*Ca.*) *Thiomargarita magnifica*, a bacterium that has an average cell length greater than 9000 micrometers and is visible to the naked eye. These cells grow orders of magnitude over theoretical limits for bacterial cell size, display unprecedented polyploidy of more than half a million copies of a very large genome, and undergo a dimorphic life cycle with asymmetric segregation of chromosomes into daughter cells. These features, along with compartmentalization of genomic material and ribosomes in translationally active organelles bound by bioenergetic membranes, indicate gain of complexity in the *Thiomargarita* lineage and challenge traditional concepts of bacterial cells.

Hasta 2 cm de largo, ¡DNA compartimentado!



# THE ECOLOGICAL THEATER AND THE EVOLUTIONARY PLAY

George E. Hutchinson



Las especies (biodiversidad) son los actores-actrices

## PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ECOLOGÍA

- ❑ **REDES:** COMPRENSIÓN SISTÉMICA DE LAS REDES VIVAS (expresada en la teoría de la autopoiesis)
- ❑ **FLUJOS:** COMPRENSIÓN SISTÉMICA DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA Y MATERIA A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS VIVOS (reflejada en la teoría de las estructuras disipativas)
- ❑ **CICLOS:** LOS CICLOS DE LA NATURALEZA
- ❑ **ANIDAMIENTO:** SISTEMAS ANIDADOS
- ❑ **EQUILIBRIO DINÁMICO**
- ❑ **DESARROLLO**
- ❑ **PRINCIPIO DE EXCLUSIÓN COMPETITIVA**

## INTERACCIONES, INTERRELACIONES, INTERCONEXIONES, INTERDEPENDENCIAS

Surgen propiedades emergentes (**monismo físico; determinismo sincrónico; carácter sistémico; irreducibilidad**)

**LA VIDA SE APODERÓ DEL PLANETA A TRAVÉS DE LA  
FORMACIÓN DE REDES**

El “método” ha demostrado su eficacia  
(casi 4.000 millones de años)

# REDES / SISTEMAS

Zeitgeist del siglo XXI  
(superar la ortodoxia  
mecanicista, reduccionista,  
atomista)  
Los elementos como formas  
contingentes

Pensar en términos de relaciones, PATRONES Y CONTEXTO. Los fenómenos naturales están interconectados y sus propiedades esenciales se derivan de sus relaciones con otras cosas. La estructura como corporeización física del PATRÓN DE ORGANIZACIÓN

## TOPOLOGÍA: REDES

### Topología reticular - Métricas

Conectancia

Modularidad

Grado de anidamiento

Diversidad de interacciones

Grado de distribución

...

El contexto y la interacción no son simples efectos de segundo orden que se superponen a un análisis monádico primario

**EL CONTEXTO Y LA INTERACCIÓN SON LA ESENCIA**

(Richard Lewontin)

# ONTOLOGÍA PROCESAL - FLUYENTE: PROCESOS Y FLUJOS

No es una estructura fija  
ES UN PROCESO



No es una estructura fija  
ES UN PROCESO

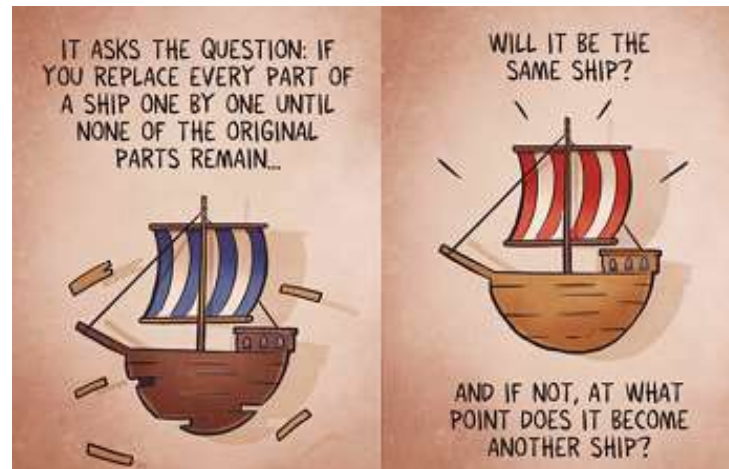


Conjunto jerárquico de procesos (microbianos) que presentan propiedades de los sistemas autoorganizados y emergentes

## NUESTRA INSEPARABILIDAD DE LOS FLUJOS DE LA NATURALEZA

**Seres vivos: procesos, flujos; extensiones de las esferas.** Los minerales y nutrientes de la litosfera, el agua de la hidrosfera y el oxígeno de la atmósfera nos atraviesan continuamente en forma de átomos y moléculas (y también las bacterias de la biosfera). **Los cambios en cualquiera de las esferas afectan a todas las demás esferas y a todas las especies**

- **Interdependencia ontológica de la actividad y la existencia**
- **Identidad diacrónica:** encadenamiento continuo de los estados temporales de una entidad
- **Termodinámica del no-equilibrio:** un organismo es un sistema abierto que debe intercambiar constantemente energía y materia con su entorno para mantenerse lejos del equilibrio



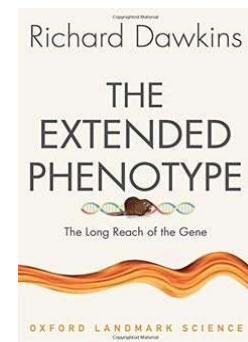
## Paradoja del barco de Teseo

“Ningún hombre puede cruzar el mismo río dos veces, porque ni el hombre ni el río serán los mismos” (aforismo de Heráclito)

### Soil as an extended composite phenotype of the microbial metagenome

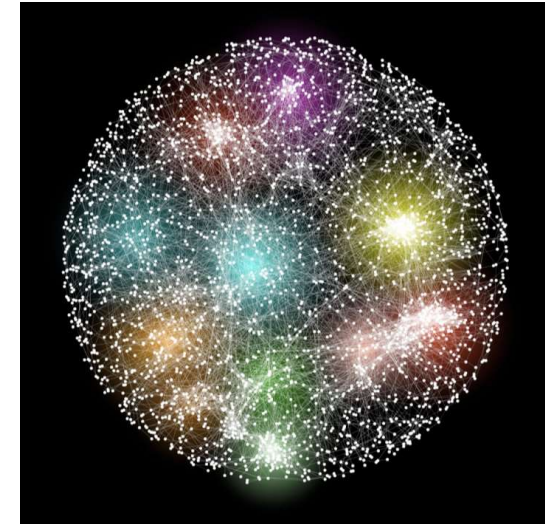
Andrew L. Neal<sup>1,2</sup>, Aurélie Bacq-Labreuil<sup>2,4</sup>, Xiaoxian Zhang<sup>3</sup>, Ian M. Clark<sup>3</sup>, Kevin Coleman<sup>3</sup>, Sacha J. Mooney<sup>2</sup>, Karl Ritz<sup>2</sup> & John W. Crawford<sup>3,5</sup>

We use a unique set of terrestrial experiments to demonstrate how soil management practices result in emergence of distinct associations between physical structure and biological functions. These associations have a significant effect on the flux, resilience and efficiency of nutrient delivery to plants (including water). Physical structure, determining the air-water balance in soil as well as transport rates, is influenced by nutrient and physical interventions. Contrasting emergent soil structures exert selective pressures upon the microbiome metagenome. These selective pressures are associated with the quality of organic carbon inputs, the prevalence of anaerobic microsites and delivery of nutrients to microorganisms attached to soil surfaces. This variety results in distinctive gene assemblages characterising each state. The nature of the interactions provide evidence that soil behaves as an extended composite phenotype of the resident microbiome, responsive to the input and turnover of plant-derived organic carbon. We provide new evidence supporting the theory that soil-microbe systems are self-organising states with organic carbon acting as a critical determining parameter. This perspective leads us to propose carbon flux, rather than soil organic carbon content as the critical factor in soil systems, and we present evidence to support this view.



LOS FENOTIPOS EXTENDIDOS SON MANIFESTACIONES DE LOS GENES QUE SE PRODUCEN FUERA DEL ORGANISMO QUE POSEE ESOS GENES. UN GEN EXTIENDE SU EFECTO EN, POR EJEMPLO, LA PRESA DE UN CASTOR, LA TELA DE UNA ARAÑA O EL NIDO DE UN PÁJARO

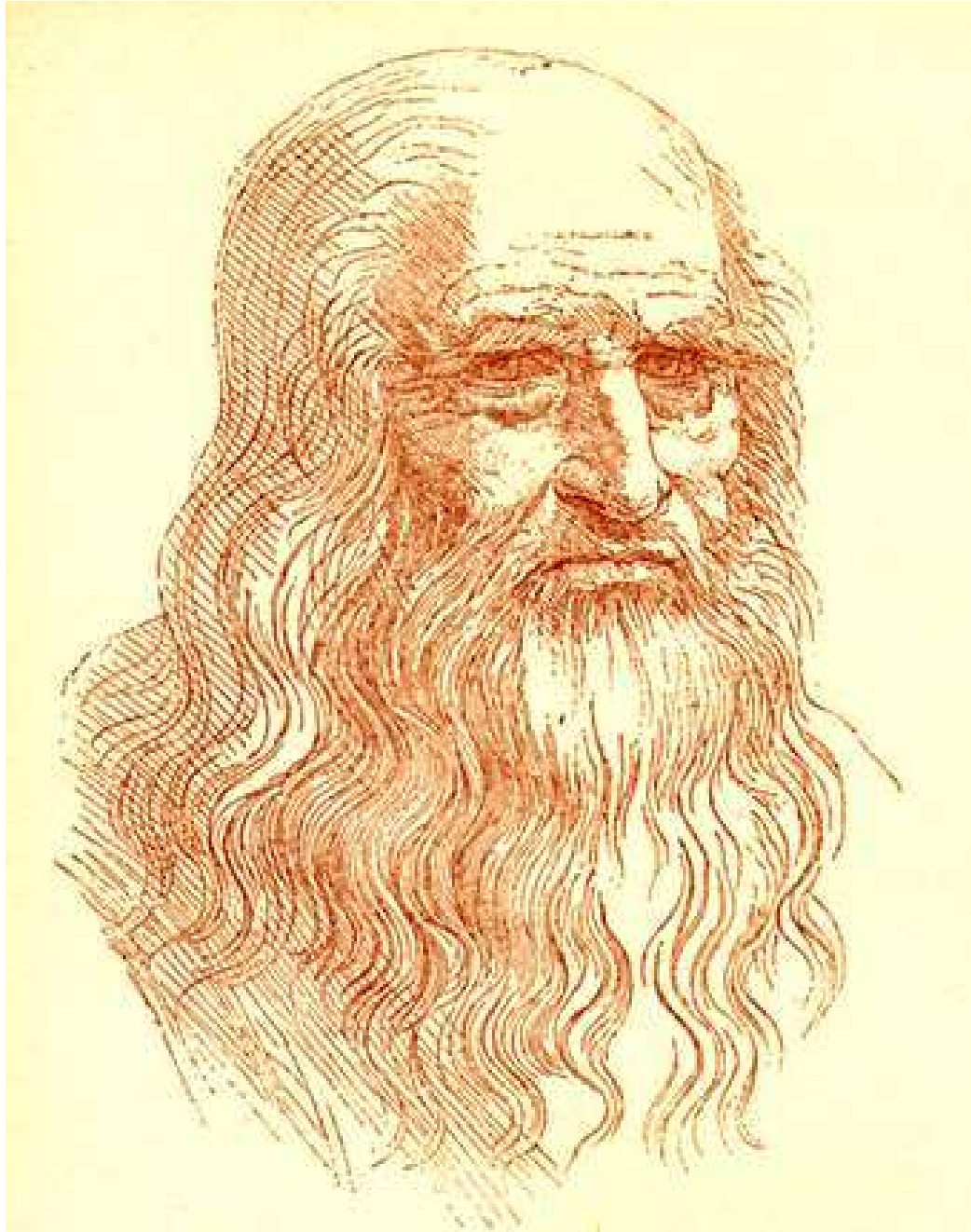
# NECESITAMOS UN CAMBIO DE PARADIGMA



SUELO: una red microcómica de interacciones, interrelaciones, interconexiones, e interdependencias. Importante: NO organismos; Sí procesos, relaciones. ¡¡REDES!!

*UNA BACTERIA NO ES UN ORGANISMO UNICELULAR. ES UN NODO DE UNA RED*

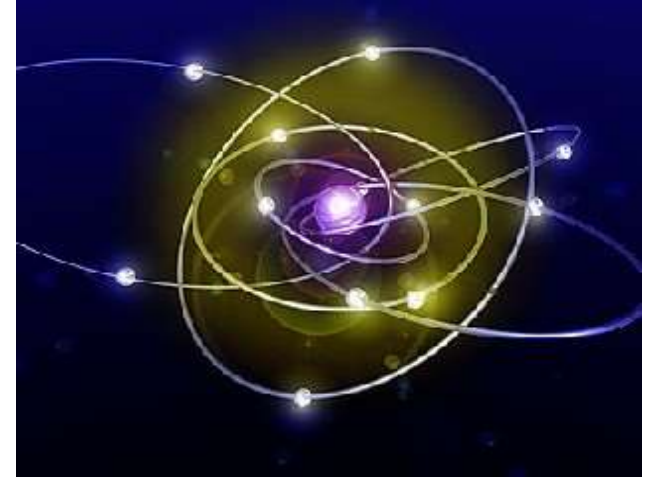
A SYSTEM IS AN INTERCONNECTED SET OF ELEMENTS THAT IS COHERENTLY ORGANIZED IN A WAY THAT ACHIEVES SOMETHING  
(elements, interconnections, function or purpose)



**LEONARDO DA VINCI:  
FIRST SYSTEMS THINKER**

He transcended the disciplinary boundaries of his time by recognizing patterns that interconnected forms and processes in different domains and by integrating his discoveries into a unified vision of the world

**FACILE COSA È FARSI UNIVERSALE**



# METAFÍSICA DE LA TEORÍA CUÁNTICA

La teoría cuántica implica una **interconexión** esencial subyacente en toda la naturaleza

Las **partículas materiales aisladas son abstracciones**, y sus propiedades son definibles y observables sólo a través de su **interacción** con otros sistemas

**Concepto de inquebrantable totalidad:** niega la idea del análisis del mundo en partes separadas e independientes

La teoría cuántica nos fuerza a ver el universo no como una serie de objetos físicos, sino más bien como una **complicada telaraña de relaciones** entre las diversas partes de un todo unificado

**El concepto clásico usual de que las “partes elementales” independientes son la realidad fundamental del mundo y que los diversos sistemas sean meramente formas y ordenamientos particulares de esas partes ha sido invertido.** En lugar de ello, decimos más bien que la realidad fundamental es la inseparable interrelación cuántica de todo el universo y que las partes que parecen funcionar de un modo relativamente independiente son **simplemente formas contingentes** y particulares dentro de todo ese conjunto



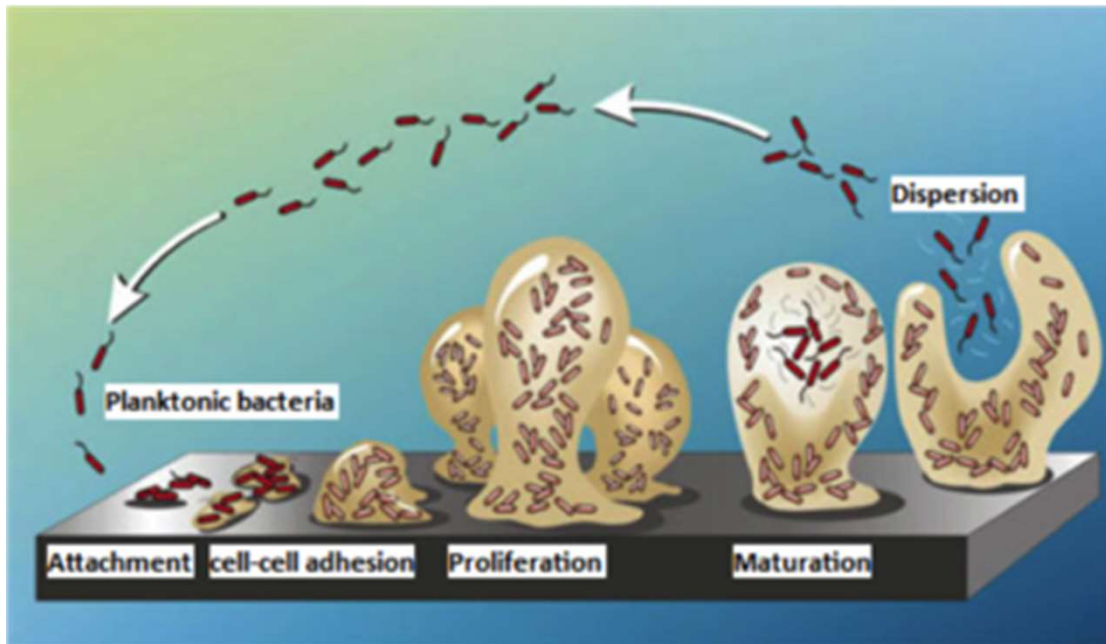
# INVENTARON LAS REDES SOCIALES MUCHO ANTES QUE FACEBOOK



No vivimos solas. Vivimos en “ciudades”



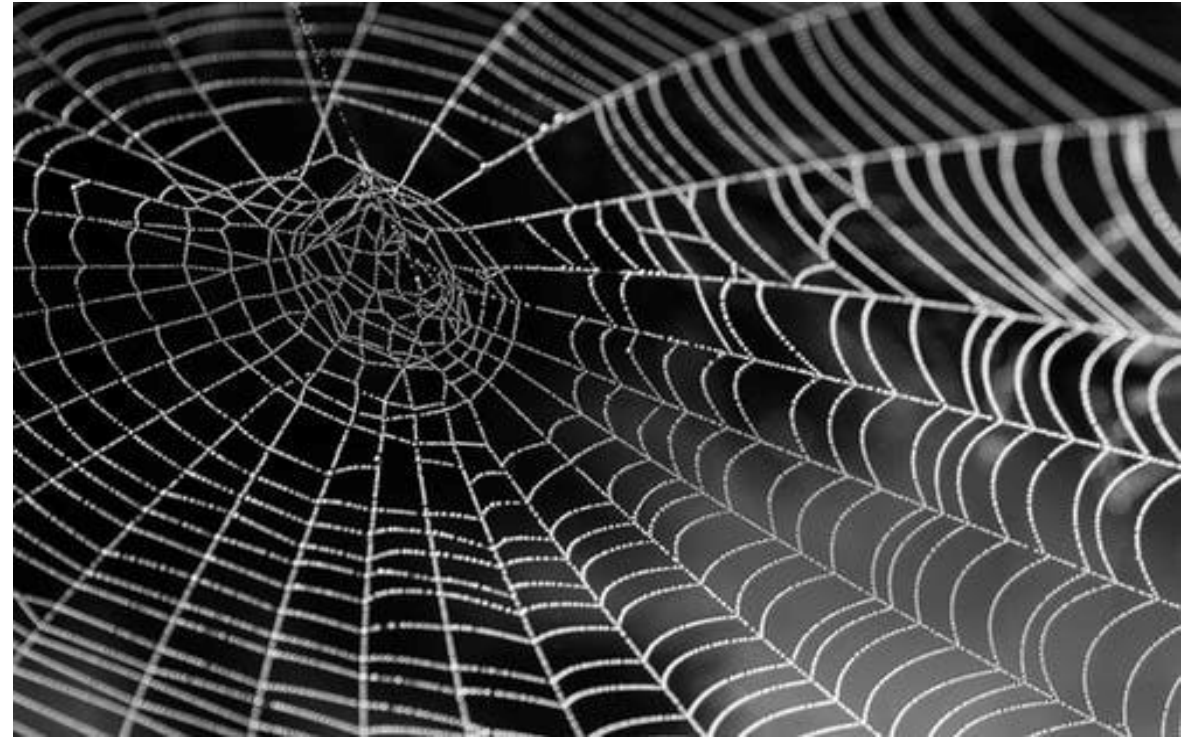
No somos así



BIOFILMS: 500-1000 veces más resistentes a antibióticos y desinfectantes

## SOCIOMICROBIOLOGÍA

**Desde que aparecieron en este planeta, las bacterias han ido formando una red que ha colonizado todo nuestro planeta**



**LA OBRA DE ARQUITECTURA BIOLÓGICA  
MÁS COMPLEJA Y FASCINANTE**

ELLAS Y NOSOTROS **SOMOS**  
**NODOS** DE ESA INCREÍBLE RED

LOS MICROORGANISMOS SE MUEVEN ENTRE ORGANISMOS Y ENTRE ÉSTOS Y EL SUELO, EL AGUA, EL AIRE, ETC. NOS CONECTAN UNOS CON OTROS Y CON EL MUNDO

# ES UNA RED ENORMEMENTE COMPLEJA...

**Placa subgingival:** el nivel de complejidad de su sistema microbiano supera el de las redes informáticas, las redes eléctricas, las de transporte y todas las demás redes creadas por el ser humano combinadas **(y la red del suelo, ni te cuento...)**



# ESTRUCTURA (medir) - PATRÓN DE ORGANIZACIÓN (cartografiar)

*La estructura es la corporeización física del patrón de organización*



## ESTRUCTURA DISIPATIVA

***ISLAS DE ORDEN EN UN MAR DE  
DESORDEN; NO SON COSAS SINO  
PROCESOS***

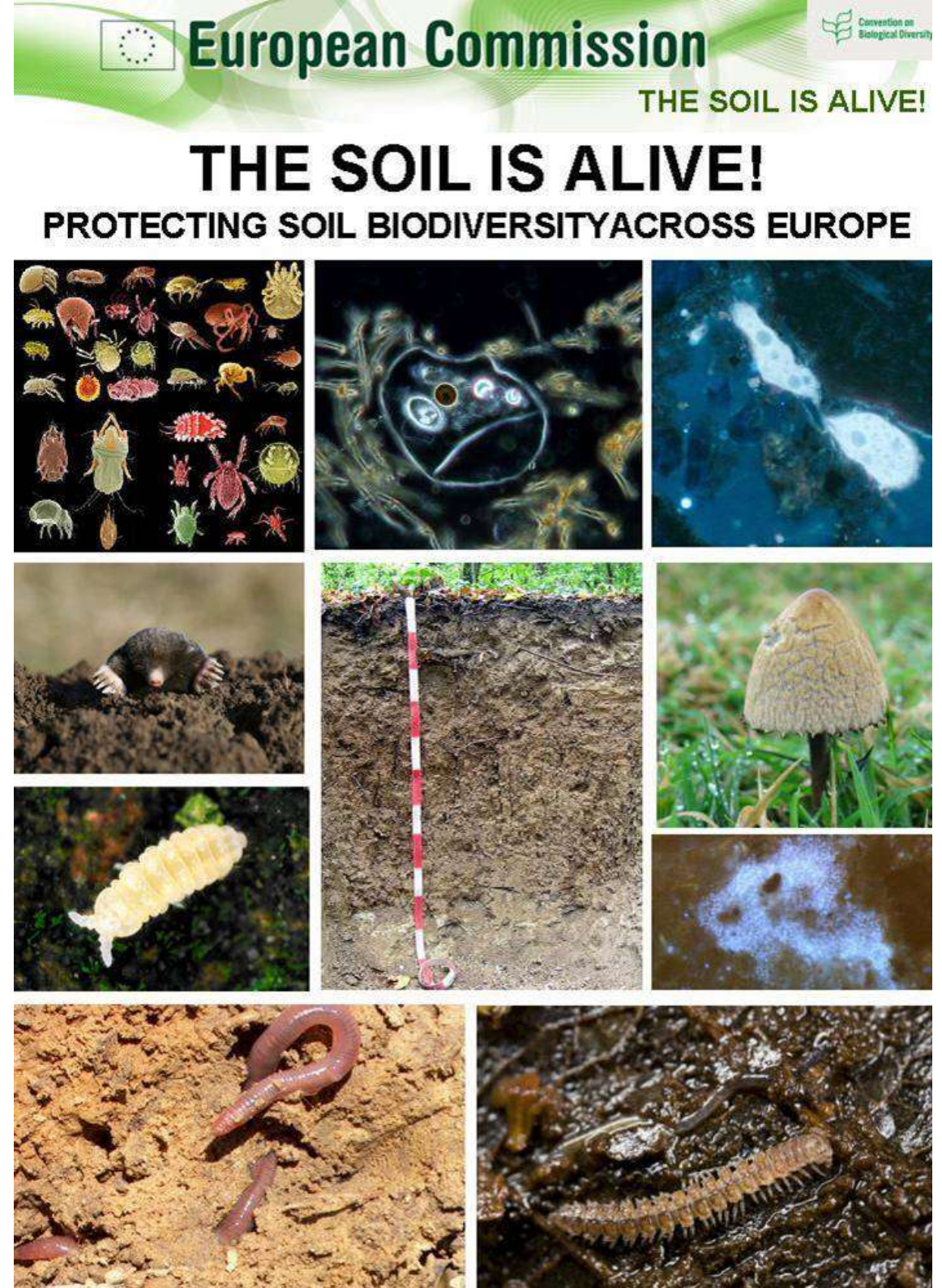
**MATERIA = ESTRUCTURA  
FORMA = PATRÓN DE ORGANIZACIÓN**

# EL SUELO ES UN SISTEMA VIVO

EL SUELO ES UNA ESTRUCTURA  
DISIPATIVA

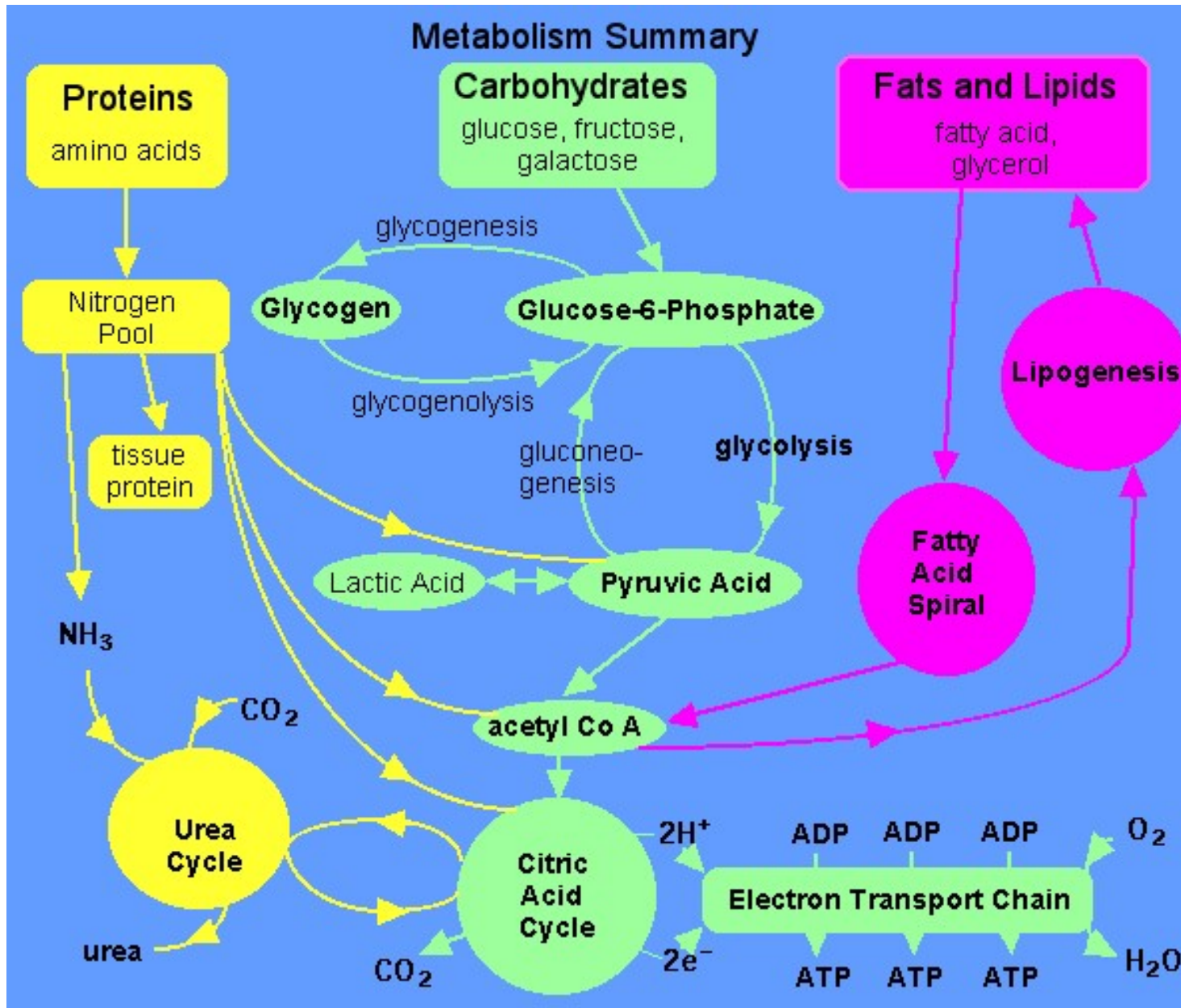
SU PATRÓN DE ORGANIZACIÓN  
ES UNA RED AUTOPOIÉTICA

SU COMPLEJIDAD  
ES ABRUMADORA,  
PERO.....



# VÍNCULO ENTRE ESTRUCTURA Y PATRÓN DE ORGANIZACIÓN

**EL PROCESO:** la actividad que se ocupa de la continua corporeización del patrón de organización



# PROCESOS DEL SUELO

Fijación de nitrógeno

Oxidación del hierro

Nitrificación

Metanogénesis

Descomposición de la materia orgánica

Mineralización del fósforo

Descomposición de lignina

Reducción de sulfato

Oxidación del azufre

Metilotropía

Descomposición de celulosa

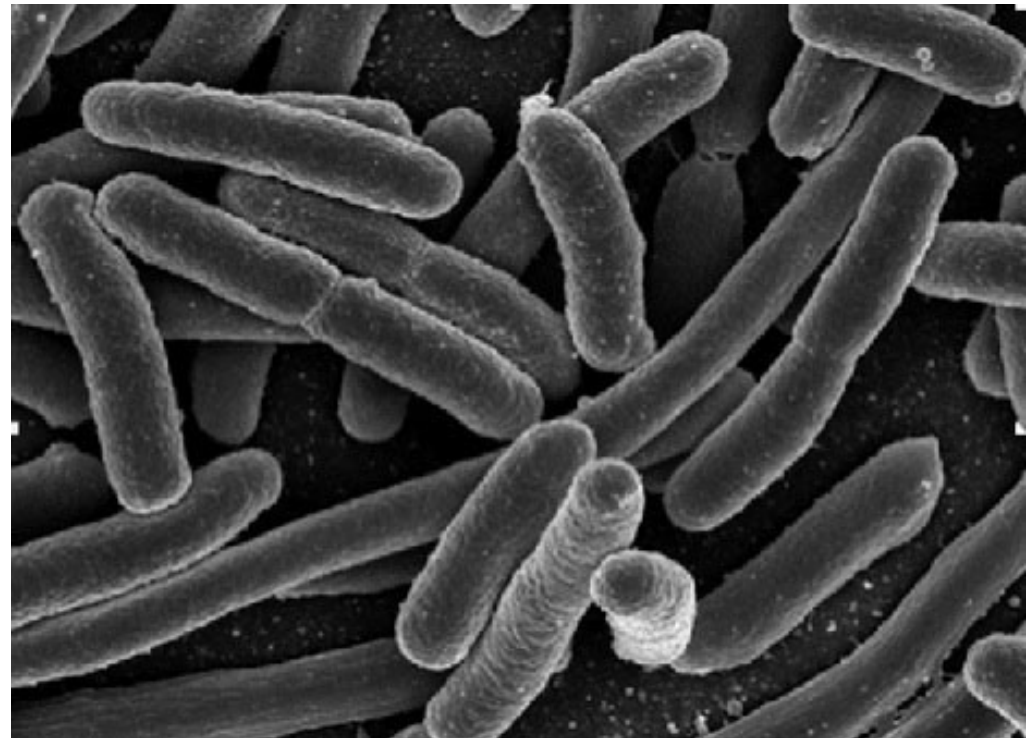
Descomposición de quitina

Desnitrificación

Acetogénesis

Reducción del hierro férrico

Mineralización del nitrógeno



# **RECONCEPTUALIZACIÓN RADICAL**

Durante la larga historia de la evolución de la vida, se ha extinguido más del 99% de todas las especies que han existido, pero la red bacteriana ha sobrevivido, perseverando en su regulación de las condiciones aptas para la vida sobre la Tierra

**¿Qué podemos aprender de ella?**

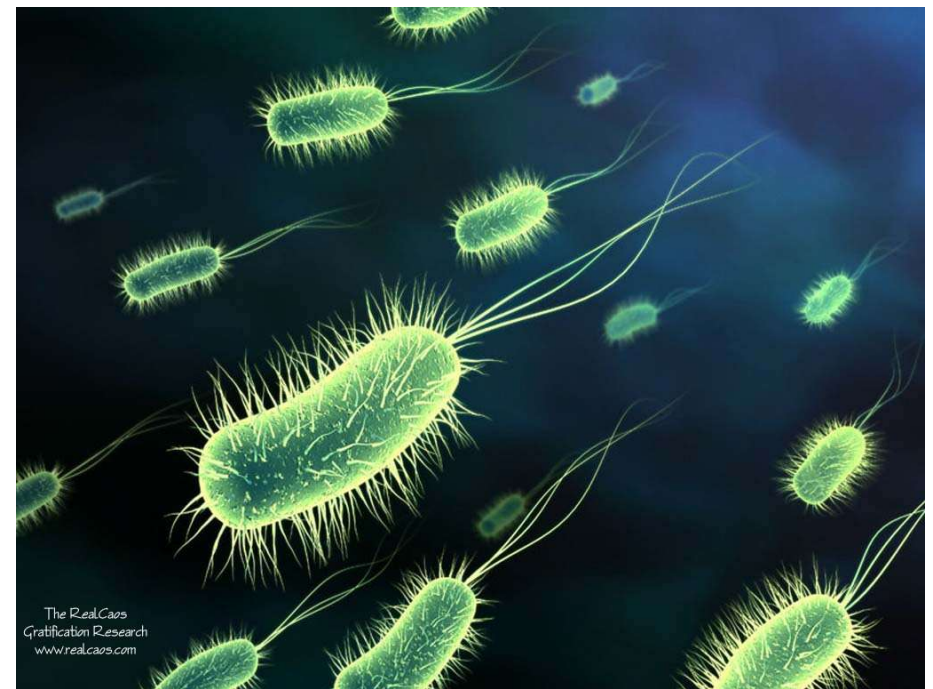
**CÓMO VIVIR SOSTENIBLEMENTE**



# Toda la vida está embebida en una red microbiana



**Life is a miracle of matter**

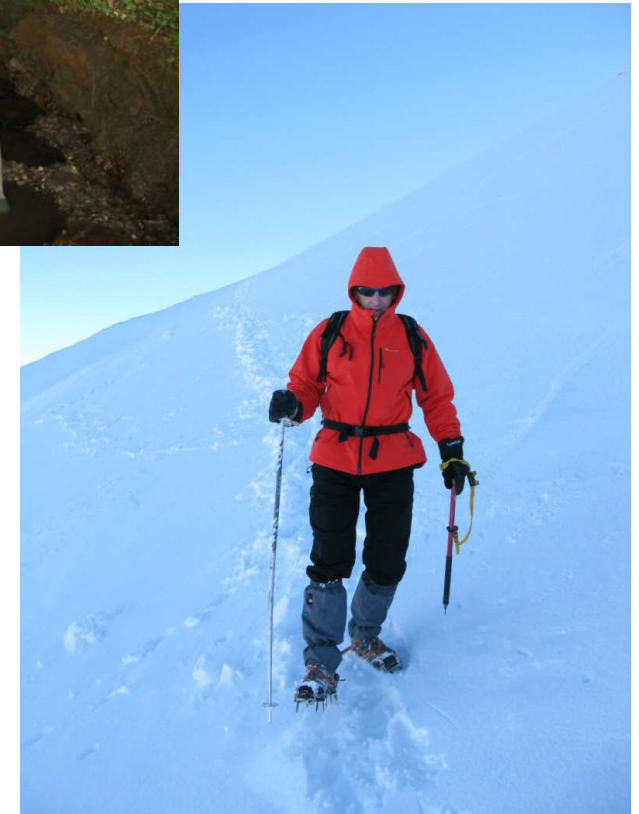


**Necesitamos ecólogos microbianos de:**

**BATA**



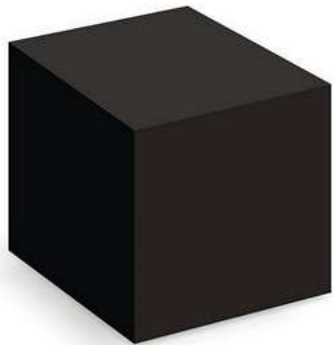
**BOTA**



# ACADEMIA DE PLATÓN DE ATENAS



No entre el que no esté familiarizado con la Geometría



# ACADEMIA VASCA DE CIENCIAS DEL SUELO



Por favor que entre el que esté familiarizado con la ecología microbiana (la ecología estudia los flujos de materia-energía y las redes)

## MANUAL DE INSTRUCCIONES



Las hormigas, al igual que los seres humanos, pueden crear civilizaciones sin el empleo de la razón

*If I could do it all over again, and relive my vision in the twenty-first century, **I would be a microbial ecologist.** Ten billion bacteria live in a gram of ordinary soil, a mere pinch held between thumb and forefinger. They represent thousands of species almost none of which are known to Science.....*

# WHAT IS BIOREMEDIATION?

THE USE OF ORGANISMS AND BIOLOGICAL PROCESSES TO REDUCE ENVIRONMENTAL POLLUTION

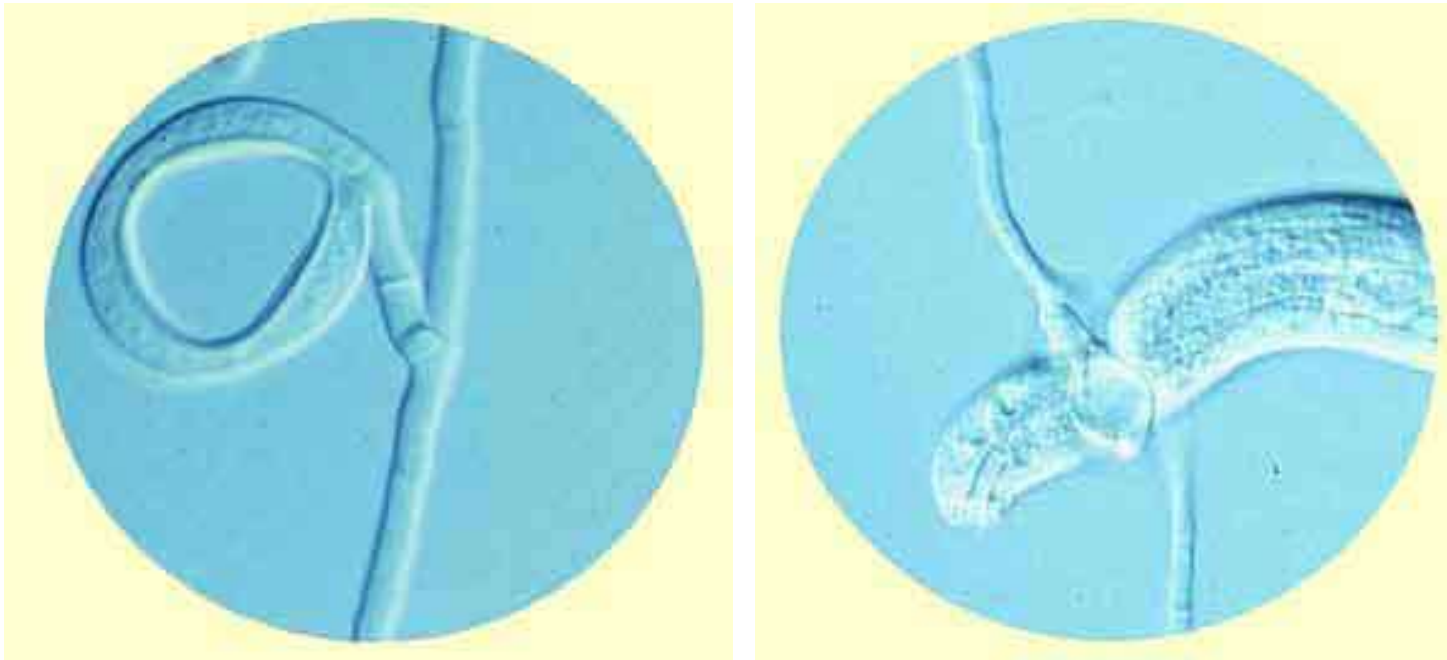
OBJECTIVE OF A REMEDIATION PROCESS?

RESTORE SOIL HEALTH

HOW CAN YOU ASSESS THE EFFECTIVENESS OF A REMEDIATION PROCESS?

MICROBIAL INDICATORS OF SOIL HEALTH

**Degradation is most frequently due to the activity of microbial consortia**



# ADVANTAGES

Less destructive (environmentally-friendly)

Cheaper than physicochemical treatments

Can be applied *ex situ* and *in situ*

Socially acceptable



# **BIOREMEDIATION OF CONTAMINANTS**

Oil and Oil Derivatives

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons

Chlorinated Aromatic Hydrocarbons

Heavy Metals (non-biodegradable)



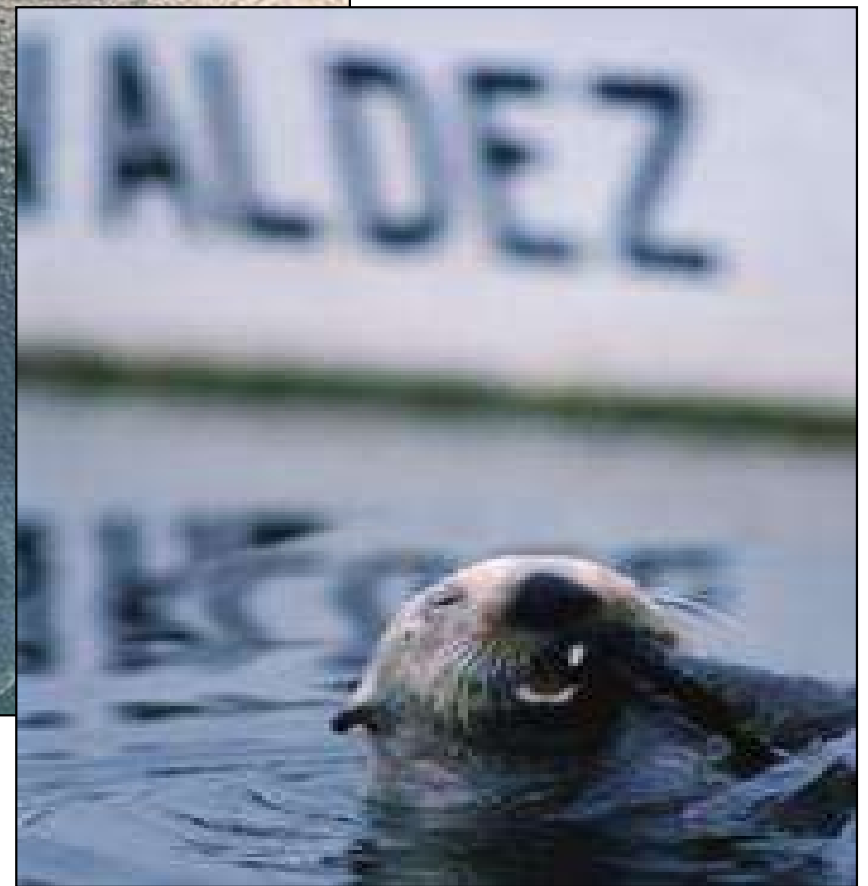
# Bioremediation

## FOR MARINE OIL SPILLS



CONGRESS OF THE UNITED STATES  
OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT





## **Exxon Valdez (1989)**

Prince Williams Bay (Alaska); 41,000 tonnes of crude oil

**Persian Gulf War (1991):** In the waning days of the Persian Gulf War, as Iraqi forces retreated to Baghdad, Saddam Hussein sent a team of engineers into the Kuwaiti oil fields and blew up hundreds of wells. Over the next seven months, more than 1 billion barrels of oil went up in flames, creating a large-scale environmental disaster.

Saddam also poured 10 million barrels of oil into the sea. Thousands of birds perished, and the people of the Persian Gulf became familiar with new diseases.

What many recall as a short-lived conflict resulting in the liberation of Kuwait was an environmental disaster. The oil that did not burn in the fires traveled on the wind in the form of nearly invisible droplets resulting in an oil mist or fog that poisoned trees and grazing sheep, contaminated fresh water supplies, and found refuge in the lungs of people and animals throughout the Gulf.





**Prestige (2002): 40,000-63,000 tonnes fuel spill**

**Oil Spill Gulf of Mexico (2010):** The Gulf of Mexico oil spill is recognized as the worst oil spill in U.S. history. Within days of the April 20, 2010 explosion and sinking of the Deepwater Horizon oil rig in the Gulf of Mexico that killed 11 people, underwater cameras revealed the BP pipe was leaking oil and gas on the ocean floor about 42 miles off the coast of Louisiana. By the time the well was capped on July 15, 2010 (87 days later), an estimated 4.9 million barrels of oil had leaked into the Gulf.



## **CRITERIOS QUE DEBEN DE TENERSE EN CUENTA ANTES DE CONSIDERAR UN PROCESO BIORREMEDIADOR**

Deben existir microorganismos con la actividad biodegradadora necesaria

Deben existir microorganismos con la capacidad de transformar el contaminante a tasas razonables

Los microorganismos deben reducir el contaminante hasta límites que cumplan las regulaciones (HASTA QUE SE RECUPERE LA SALUD DEL SUELO)

No se deben generar productos tóxicos

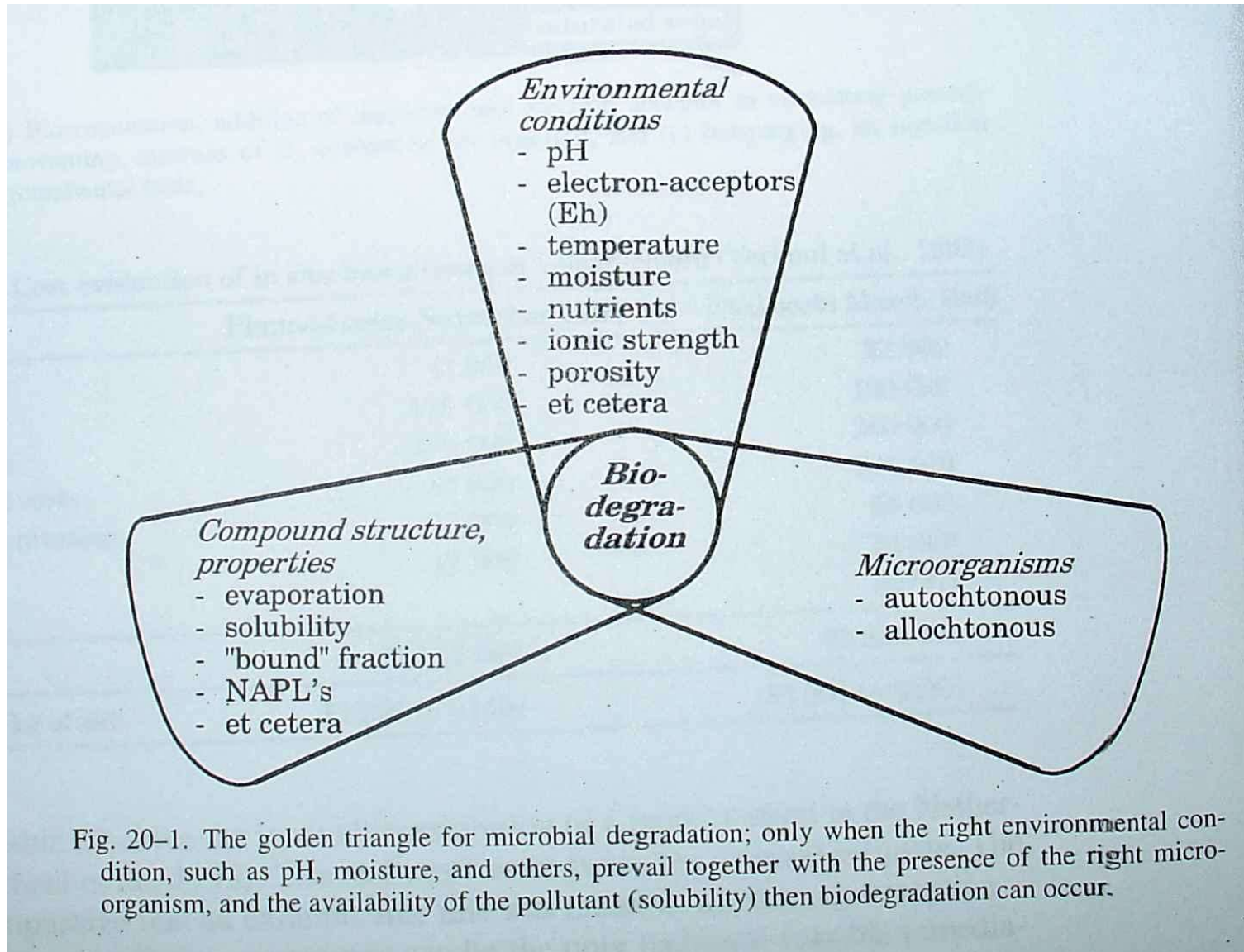
No debe haber compuestos químicos que sean inhibidores de la actividad degradadora

Los contaminantes deben estar disponibles para los microorganismos

Las condiciones deben favorecer la actividad microbiana (nutrientes, oxígeno, otros aceptores de electrones, humedad, temperatura, etc.)

El coste de dicha tecnología debe ser inferior o, por lo menos, no superior al de otras tecnologías

# EL TRIÁNGULO DORADO DE LA BIORREMEDIACIÓN



La biorremediación sólo tendrá éxito si:

Hay condiciones medioambientales adecuadas

Están presentes las comunidades de microorganismos necesarias

Los contaminantes están disponibles para el ataque microbiano

Table 1. Model Equations

**Flow Equations:**

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon f \rho_a) + \nabla \cdot (\rho_a \vec{u}_a) = \varepsilon S_a \quad \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon \sigma \rho_w) + \nabla \cdot (\rho_w \vec{u}_w) = \varepsilon S_w \quad \text{conservation of mass for air, water}$$

$$\vec{u}_a = \pm \frac{k_a}{\mu_a} (\nabla \pi_a + \rho_a \hat{g}), \quad \vec{u}_w = \pm \frac{k_w}{\mu_w} (\nabla \pi_w + \rho_w \hat{g}) \quad \text{Darcy's Law for air, water}$$

**Transport Equations** (for species  $Z = CH_4, TCE, O_2, N, M, M_D, P$ )

The rate of change in concentration of species  $Z$       advection term      dispersion term      sorption term      bioreaction term

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon(\sigma \rho_w + f H^Z)[z]_w) = \pm \nabla \cdot (\vec{u}_{TZ}[z]_w \rho_w) + \nabla \cdot (\varepsilon D_z \rho_w \nabla [z]_w) \pm (1 \pm \varepsilon) \rho_s \frac{d[z]_s}{dt} \pm \varepsilon \sigma \rho_w R_z$$

where:

$$d[z]_s / dt = (K_d^Z [z]_w \pm [z]_s) / \tau^Z \quad \text{rate-limited sorption expression}$$

$$D_z = \sigma D_w^Z + f H^Z D_a^Z \quad \text{dispersion expression}$$

$$\vec{u}_{TZ} = \vec{u}_w + H^Z \vec{u}_a \quad \vec{u}_{TM} = \vec{u}_{TM_D} = 0 \quad \text{species velocity expression}$$

$$R_{res} = k_{CO_2} [C]_w [M]_w \quad \text{respiration expression}$$

$$R_{CH_4} = k_{CH_4} Q_{CH_4} Q_{O_2} Q_M [M]_w \quad \text{bioreaction expression - } CH_4$$

$$R_{TCE} = k_{TCE} Q_{TCE} Q_{O_2} Q_M [M]_w \quad \text{bioreaction expression - TCE}$$

$$R_{O_2} = R_{res} + k_d [M]_w Q_{O_2} + F_{CH_4} R_{CH_4} + F_{TCE} R_{TCE} \quad \text{bioreaction expression - } O_2$$

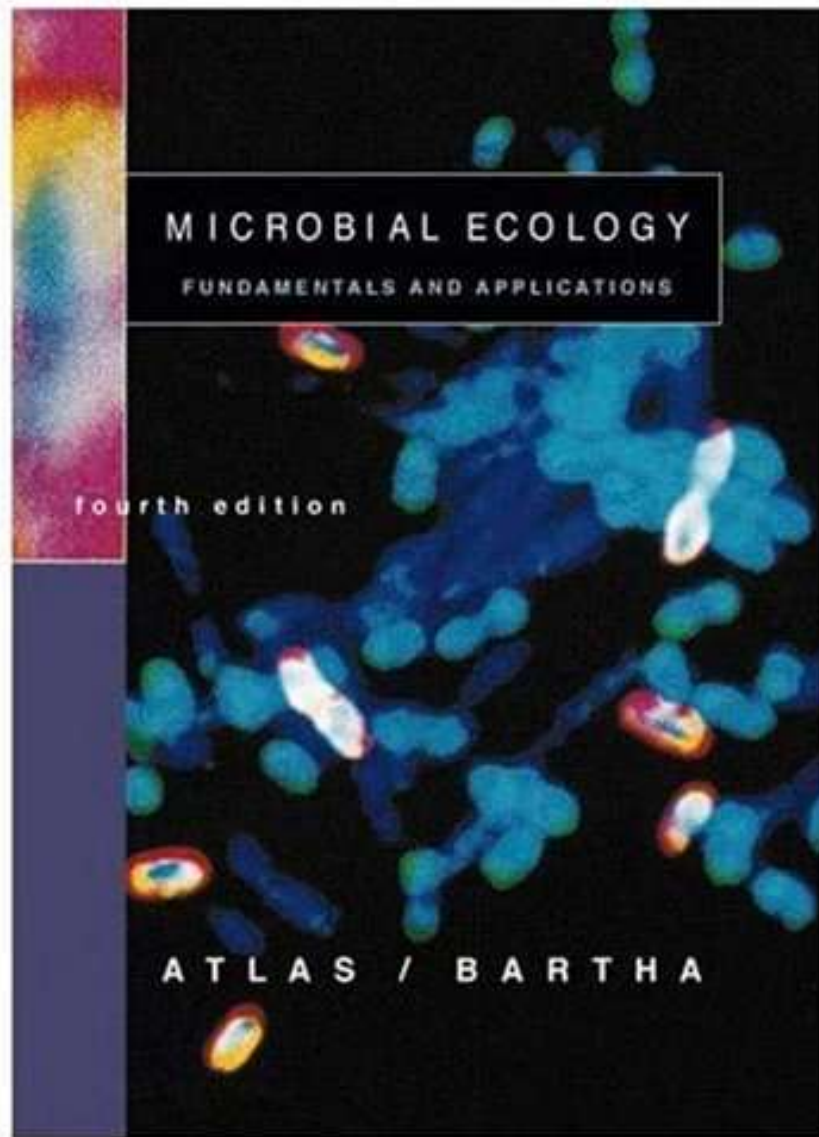
$$R_N = F_M \left( \left( \frac{M_o \pm M}{M_o + M} \right) Y_{CH_4} R_{CH_4} + R_{res} \pm k_{dN} \right) \quad \text{bioreaction expression - } N$$

$$R_M = \pm \left( \frac{M_o \pm M}{M_o + M} \right) Y_{CH_4} R_{CH_4} \pm R_{res} + R_{TCE} / T_C + k_d [M]_w \quad \text{bioreaction expression - microbes}$$

$$R_{M_D} = \pm k_d [M]_w + k_{dD} [M_D]_w \quad \text{bioreaction expression - dead microbes}$$

$$R_P = k_{dP} [P]_w \pm k_P Q_{O_2} Q_M [P]_w \quad \text{bioreaction expression - predators}$$

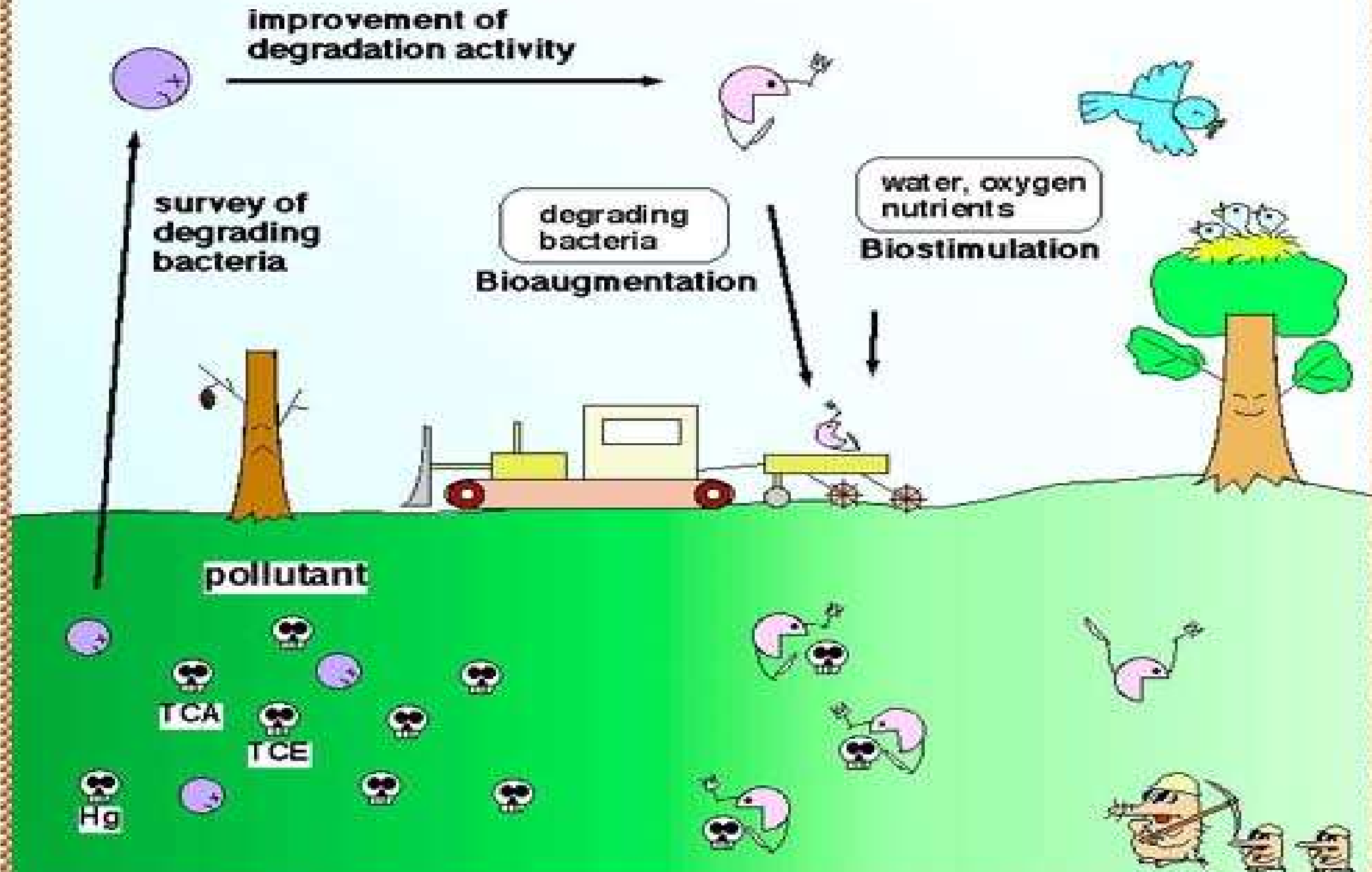
$$Q_z = [z]_w \left( GK_z + [z]_w \right) \text{ for } z = TCE, G = 1 + [CH_4]_w / I_{CH_4}, \text{ otherwise, } G = 1$$







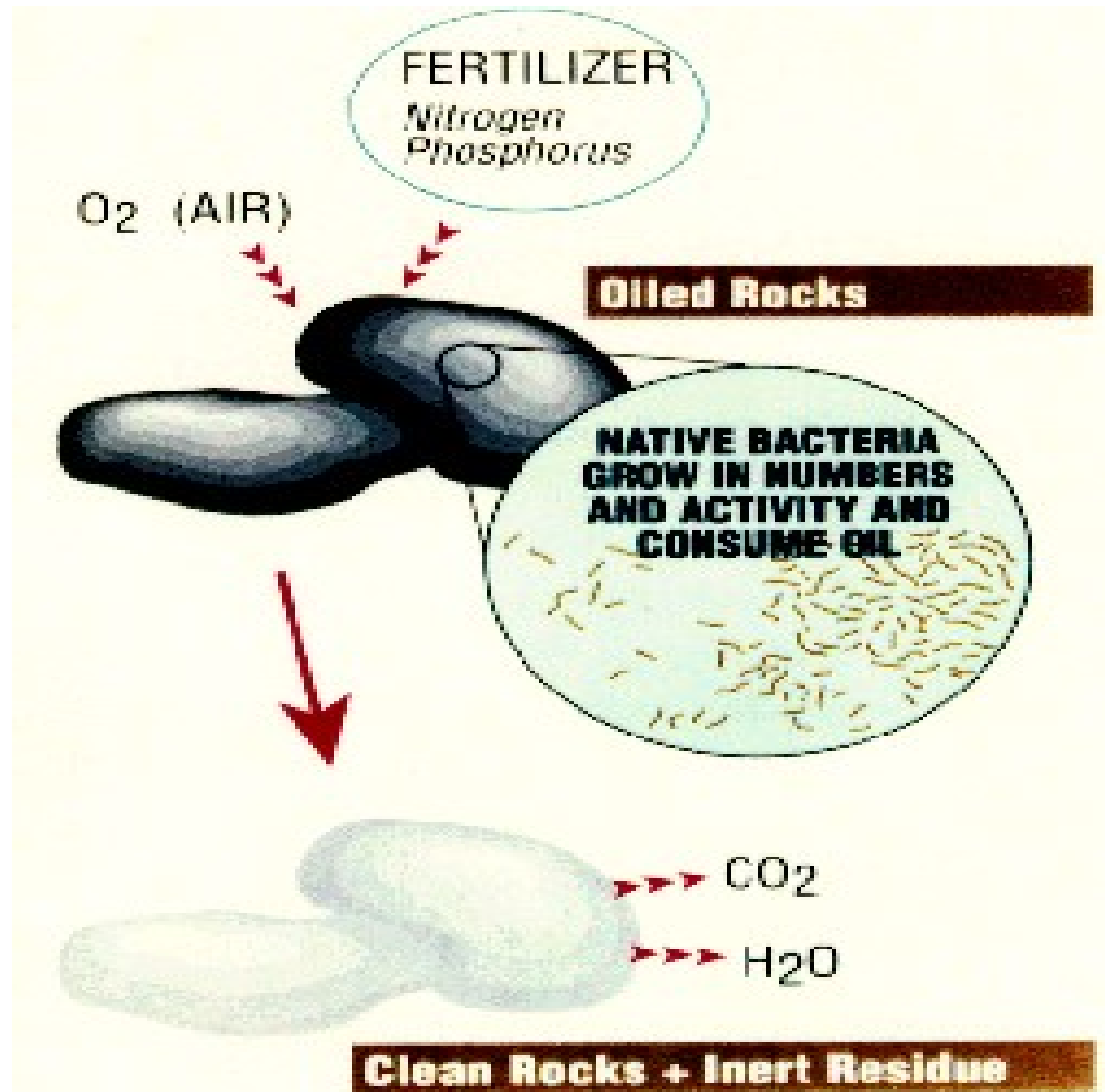
# Bioremediation



# BIOESTIMULACIÓN = “EQUILIBRAR LA DIETA”

ESTE TIPO DE BIORREMEDIACIÓN ES HABITUALMENTE CONSIDERADA LA MEJOR OPCIÓN PARA DESCONTAMINAR SUELOS

Mejorar la actividad de las poblaciones indígenas existentes mediante la adición de nutrientes, oxígeno, cambio de pH u otras condiciones diversas sobre las que se puede influir siempre para favorecer la actividad microbiana encargada de degradar el contaminante en cuestión



# BIOAUMENTACIÓN

## INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS CAPACES DE ACTUAR ESPECÍFICAMENTE EN DETERMINADOS AMBIENTES CONTAMINADOS

Inoculantes naturales: cultivos puros de uno o varios microorganismos. Se preparan, normalmente, a partir del aislamiento previo del microorganismo que está en un ambiente previsto y que se conoce su capacidad para degradar el contaminante deseado

Microorganismos manipulados genéticamente: ¡controversia!

Sólo en condiciones muy puntuales se podría utilizar la ingeniería genética: situaciones en que los microorganismos por si solos no dispongan de la capacidad metabólica para degradar el compuesto



# Muchas bacterias se comercializan como promotoras del crecimiento vegetal

*Agrobacterium radiobacter*

*Azospirillum brasilense*

*Azospirillum lipoferum*

*Azotobacter chroococcum*

*Bacillus fimus*

*Bacillus licheniformis*

*Bacillus megaterium*

*Bacillus mucilaginosus*

*Bacillus pumilus*

*Bacillus spp.*

*Bacillus subtilis*

*Bacillus subtilis var. amyloliquefaciens*

*Burkholderia cepacia*

*Delftia acidovorans*

*Paenibacillus macerans*

*Pantoea agglomerans*

*Pseudomonas aureofaciens*

*Pseudomonas chlororaphis*

*Pseudomonas fluorescens*

*Pseudomonas solanacearum*

*Pseudomonas spp.*

*Pseudomonas syringae*

*Serratia entomophila*

*Streptomyces griseoviridis*

*Streptomyces spp.*

*Streptomyces lydicus*

*Rhizobia spp.*



# MECANISMOS DIRECTOS

## FACILITAR ADQUISICIÓN DE NUTRIENTES

- ❑ **FIJACIÓN DE NITRÓGENO** (bacterias diazotróficas - fijadoras de  $N_2$ )  
*Rhizobium* (simbiótica), *Azospirillum* (vida libre)
- ❑ **SOLUBILIZACIÓN DE FOSFATO:** la cantidad de P en el suelo es generalmente alta. Pero la mayor parte de este P es insoluble, en forma de mineral inorgánico (apatita) o en forma orgánica (inositol fosfato-fitato; monoésteres y triésteres de fosfato). Por otra parte, el P soluble inorgánico de los fertilizantes se inmoviliza poco tiempo después de su aplicación, convirtiéndose en fósforo no-fitodisponible

*Solubilización de fósforo inorgánico:* a través de la síntesis de ácidos orgánicos de bajo peso molecular como el ácido cítrico y el glucónico

*Mineralización de fósforo orgánico:* a partir de la síntesis de fosfatasas que catalizan la hidrólisis de ésteres fosfóricos

- ❑ **SIDERÓFOROS:** las bacterias sintetizan sideróforos, moléculas con una gran afinidad por el  $Fe^{3+}$ , así como receptores de membrana capaces de unir los complejos sideróforo-hierro, facilitando de esta forma la toma de hierro

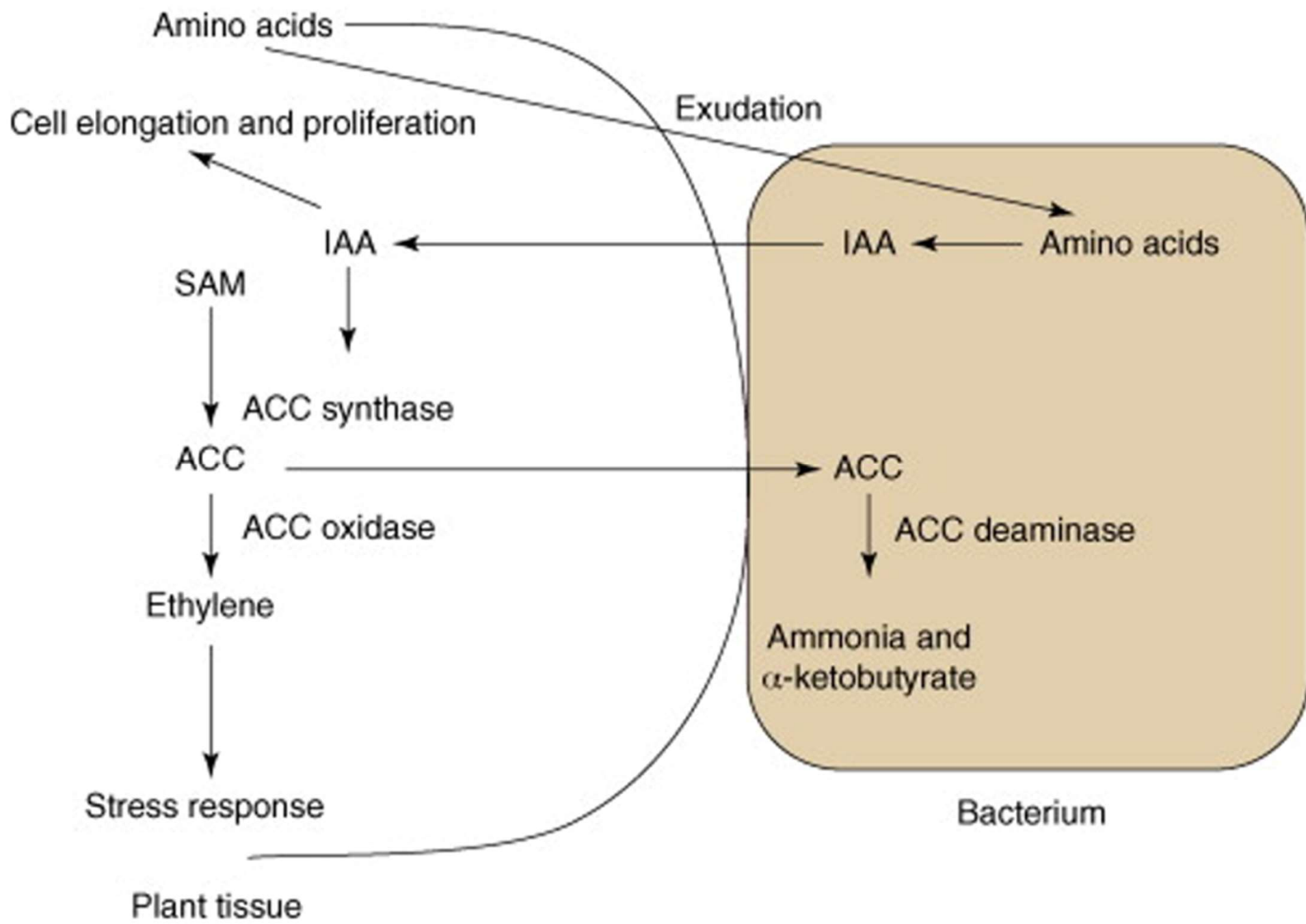
# MECANISMOS DIRECTOS

## MODIFICAR LOS NIVELES DE FITOHORMONAS

- ❑ ÁCIDO INDOLACÉTICO - IAA (AUXINAS)
- ❑ CITOQUININAS Y GIBERELINAS
- ❑ ETILENO - ACC DEAMINASA

Las bacterias pueden producir 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminasa: convierte el ACC (el precursor del etileno) en amonio y  $\alpha$ -cetobutarato, que son fácilmente asimilados. Así, se reduce la cantidad de etileno

Las bacterias colonizan las semillas o raíces; en respuesta a la presencia de triptófano u otras moléculas pequeñas presentes en las raíces o exudados radiculares, las bacterias producen IAA que, junto con el IAA endógeno de las plantas, puede estimular el crecimiento de las plantas o inducir la síntesis de ACC sintasa que convierte la S-adenosil metionina en ACC, el precursor de etileno. Una porción del ACC es excluida de las semillas o raíces y asimilado por las bacterias que, a través de la acción de la ACC deaminasa, lo convierten a amonio y  $\alpha$ -cetobutarato



IAA: ácido indolacético  
 ACC: 1-aminociclopropano-1-carboxilato  
 SAM: S-adenosil-L-metionina



# MECANISMOS INDIRECTOS

## BIOCONTROL

**ANTIBIÓTICOS:** las bacterias pueden producir antibióticos y controlar así la proliferación de patógenos

**ENZIMAS LÍTICAS:** las bacterias producen enzimas (quitinasas, celulasas,  $\beta$ -1,3 glucanasas, proteasas, lipasas) que pueden lisar una porción de las paredes celulares de los hongos patógenos

**COMPETICIÓN:** las bacterias pueden colonizar las superficies de las plantas y utilizar la mayor parte de los recursos, dificultando el crecimiento de los patógenos

**RESPUESTA SISTÉMICA INDUCIDA:** las bacterias pueden desencadenar una “resistencia sistémica inducida” en plantas: las plantas están “activadas” de forma que reaccionan más rápido y mejor a ataques de patógenos mediante la inducción de mecanismos de defensa

Diferentes moléculas producidas por las bacterias actúan como señales de la resistencia sistémica inducida: jasmonato, ácido salicílico,  $\beta$ -glucanos, pioverdina, etc.

# CARACTERES DESEADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA BIORREMEDIACIÓN, PERO ¿QUÉ CARACTERES INDICAN APTITUD ECOLÓGICA?

## CARACTERES QUE INDICAN CAPACIDAD DEPREDADORA DE MAMÍFEROS HERBÍVOROS:

- Dientes grandes y afilados
- Garras
- Rapidez
- Fuerza muscular (y en los músculos de la mandíbula)



# DOS MAMÍFEROS HERBÍVOROS...

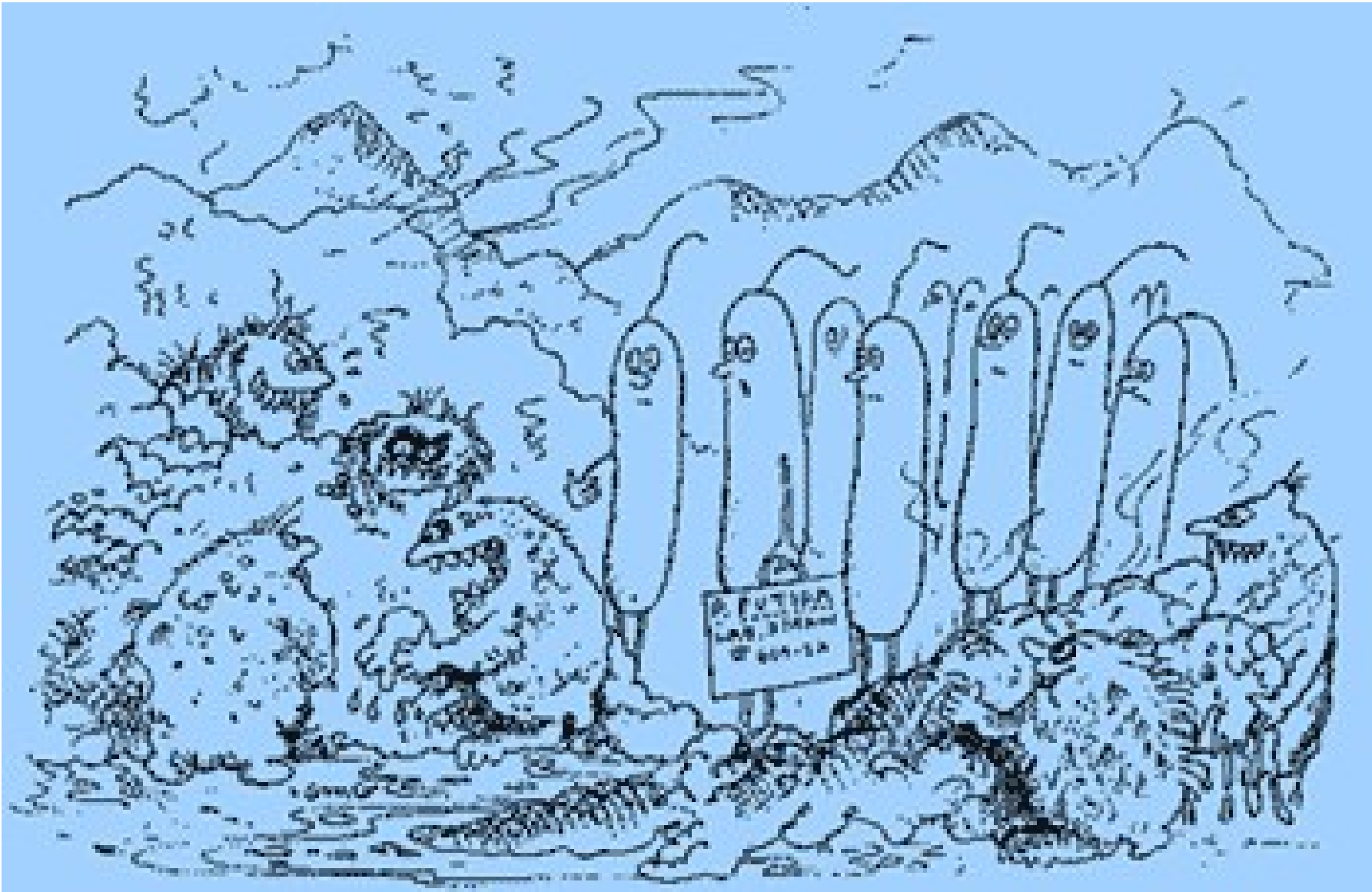


**MANATÍ**



**RENO**

# La bioaumentación ha cosechado una gran cantidad de fracasos



"Oh dear! I didn't realize 'in the field' would be like this!  
We should have stayed in the laboratory."

**NO HAY PROBLEMA: HAY QUE USAR ORGANISMOS AUTÓCTONOS (bacterias “autóctonas”)...**

*¿Qué quiere decir “autóctono”?*

**Bacteria europea**

**Bacteria de la Península Ibérica**

**Bacteria española**

**Bacteria vasca**

**Bacteria de Bizkaia**

**Bacteria de la Comarca de Las Encartaciones**

**Bacteria de la Villa de Lanestosa**

**Bacteria de una huerta de un agricultor de Lanestosa**

**Bacteria de la mina de Lanestosa**

**PARA QUE SEA COMERCIALMENTE INTERESANTE, ¿A QUÉ NIVEL INTERESA APLICAR EL CONCEPTO AUTÓCTONO?**

**A CUALQUIER NIVEL PUEDE NO TENER SENTIDO....**



# ESCALA

## ¿QUÉ ES PARA ELLAS AUTÓCTONO (LUGAR EN EL QUE SE ENCUENTRAN)?

*Escherichia coli*: 2  $\mu\text{m}$  de largo

*Bacillus megaterium*: 3-7  $\mu\text{m}$  de largo

Longitud: 100 m = 100.000.000  $\mu\text{m}$

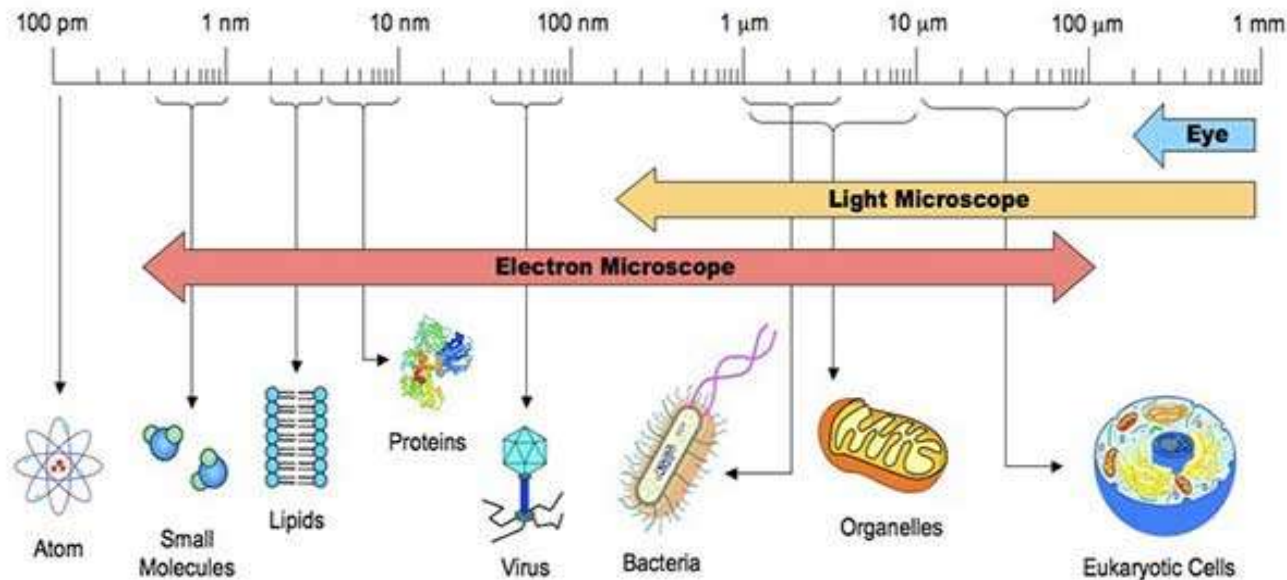
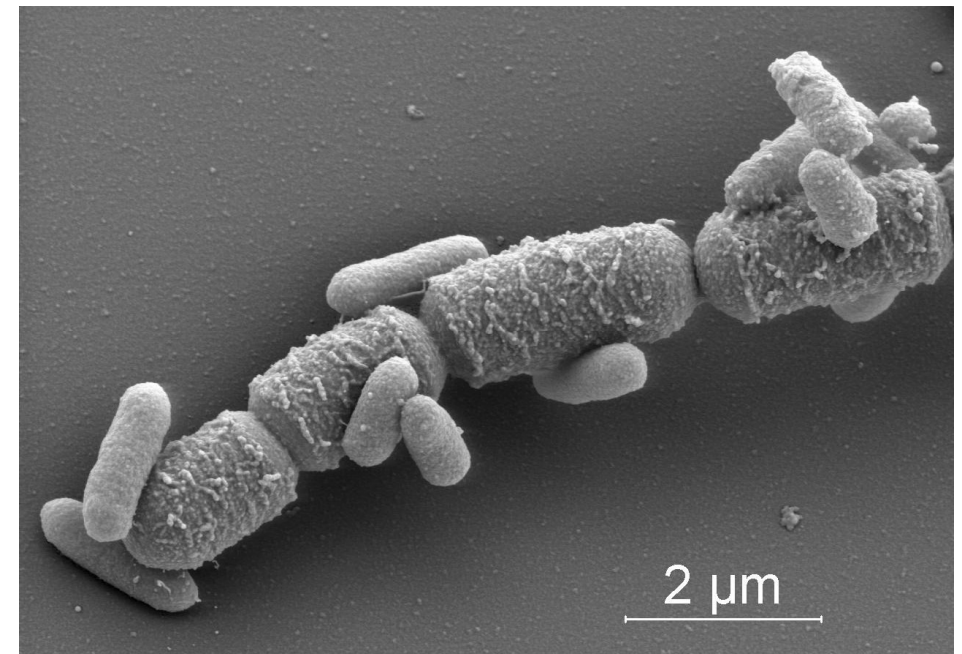
Si una bacteria tiene 5  $\mu\text{m}$  de largo...

$100.000.000 / 5 = 20.000.000$

Si una persona mide 1,75 m...

$1,75 \times 20.000.000 = 35.000.000 \text{ m} = 35.000 \text{ km}$

Distancia Pamplona-Nueva York: 5.815 km



# OPCIÓN: USAR UN CONSORCIO

## CONSORCIO DE DEPREDADORES DE MAMÍFEROS HERBÍVOROS...



**¿QUÉ NOS PUEDE PASAR?**



**COMPETICIÓN ENTRE MIEMBROS DEL CONSORCIO**

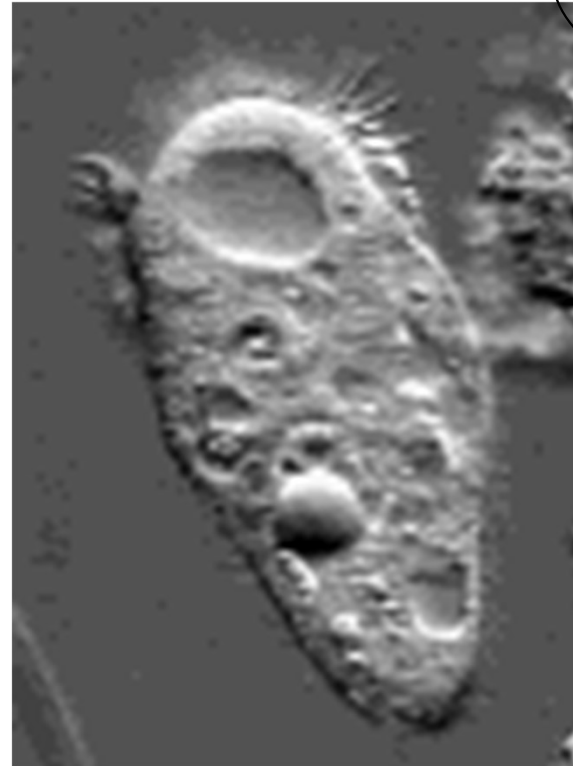


**SE DEDICAN A OTRA COSA...**



# Razones que explican los fracasos de la bioaumentación

- Nutrientes limitantes
- Acción de parásitos y depredadores (protozoos)
- Incapacidad de las bacterias para moverse en el suelo
- Utilización de otras fuentes de carbono
- Concentración del contaminante demasiado baja como para mantener la multiplicación de los microorganismos
- Necesidad de una fuente de carbono que mantenga el crecimiento (cometabolismo)
- Temperatura
- pH
- Salinidad
- Tóxicos



**Gracias**

# OBTENCIÓN DE CEPAS DEGRADADORAS DE COMPUESTOS XENOBIÓTICOS

Se aplica una presión de selección para que surja la característica deseada, léase, la utilización de un compuesto xenobiótico recalcitrante. Se empieza un cultivo de enriquecimiento en un quimiostato al que se suministran pequeñas concentraciones de un compuesto xenobiótico y concentraciones altas de un compuesto degradable relacionado

Durante este cultivo de enriquecimiento, que puede durar semanas o meses, la concentración del compuesto biodegradable se va disminuyendo poco a poco mientras se aumenta la del compuesto xenobiótico. De esta forma, se seleccionan mutantes espontáneos que pueden utilizar el compuesto xenobiótico. Asimismo, se puede utilizar luz UV o agentes mutágenos para provocar un mayor número de mutaciones

