

# 1. GAIA: Historia-ikuspuntua eta gaur egungo ingurumen mikrobiologia

## Mikrobio-ekologia eta ingurumen mikrobiologia

Hasteko, mikrobio-ekologia eta ingurumen mikrobiologia bereizi behar dira. Batetik, mikrobio-ekologiak mikroorganismoen eta inguruneke faktore biotikoen zein abiotikoen arteko elkarrekintzak aztertzen ditu. Bestetik, ingurumen mikrobiologiak aplikazioak bilatzen dizkie aurrez aipatutako elkarrekintzei; hots, informazio hori ingurumenean nola erabil daitekeen aztertzen du, horrela, gizakiontzako onurak lortzeko.

Ingurumen mikrobiologia, osasun publikoan sortzen diren arazoei aurre egiteko edo erantzuna ematen saiatzeko agertu zen:

- Ur kalitatea: uretan mikroorganismoak dauden heinean, gaixotasunak transmititzeko medio egokia da. Ekiditeko ur-tratamenduak egiten dira.
- Elikagaiak: elikagaietan ere agertzen dira mikroorganismoak, batzuk patogenoak izaten direlarik. Haien barreiadura saihesteko detekzioa eta kalitate-kontrolak burutzen dira.
- Lurpeko uren eta lurretako kutsadura kimikoa: kutsadura horiek gutxitzeko modu bat da bioerremediazioa.

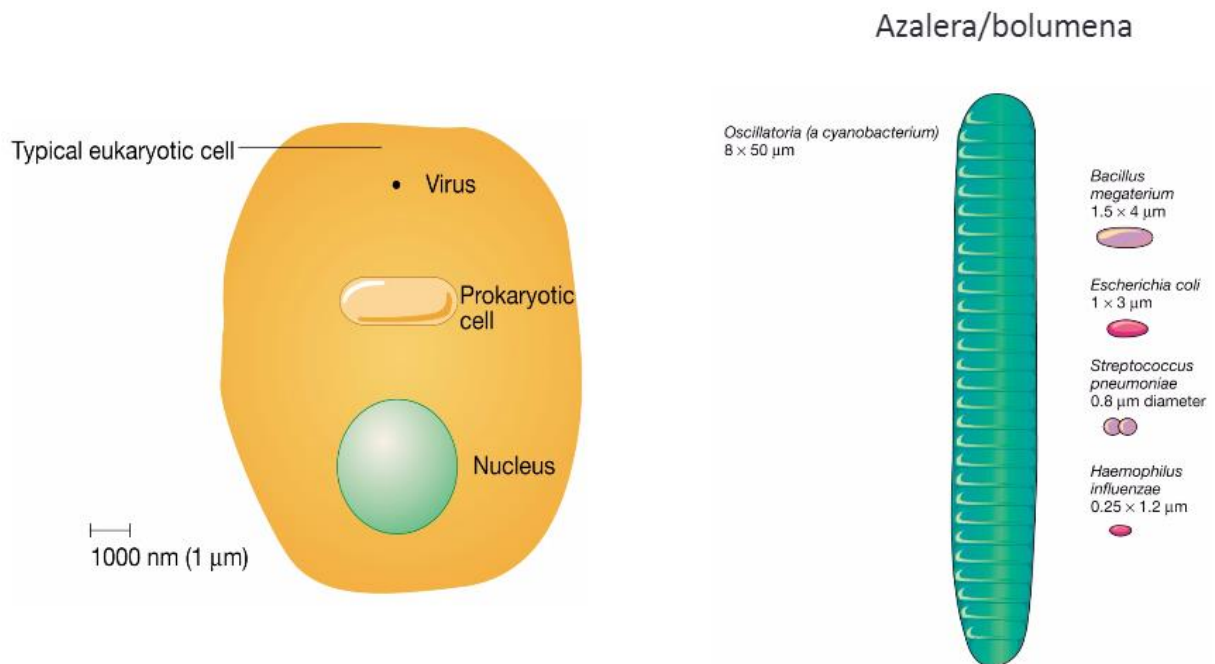
Zientzia hau zenbait galderei erantzuna emateko gai da: nortzuk daude? Zenbat dira? Zer egiten dute? Zer egin dezakete (beste baldintza batzuetan jarritz gero)? Nola eragiten diete ingurumen baldintzek? Nola erlazionatzen dira? Nola banatzen dira? Nola komunikatzen dira? Zein material elkartrukatzen dute? Nola aldatzen dira erlazioak espazioan eta denboran? ...

Mikrobio-ekologiak, bestalde, komunitateetan populazioen arteko dinamikak definitzen ditu, baita mikroorganismoen eta ezaugarri fisiko-kimikoen arteko loturak ere. Gainera, bizileku espezifiko batean mikroorganismoek betetzen dituzten prozesu metabolikoak ulertzen ditu. Azken finean, ingurune espezifiko batean gertatzen diren komunitate testuinguruan mikroorganismoen betebeharra zein den ezartzea da bere helburua.

100  $\mu\text{m}$  baino txikiagoa den edozein izaki mikroorganismo kontsideratzen da eta, beraz, irizpide horren arabera, izaki prokariotoak eukariotoak zein ez-zelularrak daude talde honen barruan:

- ✓ Prokariotoak: bakterioak eta arkeoak.
- ✓ Eukariotoak: protozooak, algak eta onddoak.
- ✓ Ez-zelularrak: birusak.

Baina mikroorganismo motaren arabera tamaina asko alda daiteke; are gehiago, mikroorganismo mota beraren barnean, tamaina asko alda daiteke.



Hala ere, tamaina ez ezik, beste zenbait ezaugarri ere badituzte amankomunean mikroorganismoen taldean sailkatzen diren izaki guztiek:

- Potentzialki tasa-metaboliko eta hazkuntza-tasa oso altuak dituzte: oso azkar hazten dira.
- Populazioen hazkuntza esponentziala da.
- Distantzia luzetan sakabanaketarako erraztasuna dute.
- Malgutasun genetiko dute: aldakortasun handia dago.
- Muturreko inguruneetara moldaera handia dute.

## Ingurumen mikrobiologiaren garrantzia: zergatik aztertu?

1. Mikroorganismoak leku guztietan daude eta ia denetarik egiten dute:

Mikroorganismoak planetako izaki bizidunak ugariak dira. Munduan 1 milioi espezie baino gehiago egon daitezkeela uste da eta esku batean egon daitezkeen mikroorganismoak mundu osoko pertsonak baino gehiago dira. Era berean, itsasoko bakterioak unibertso osoko izarrak baino ugariagoak dira, orratz baten puntan 10 milioi bakterio daudelarik. Hala, mikroorganismoek bizi totalaren biomasaren %60a osatzen dute eta itsasoko biomasaren %90a. Azken datu gisa, itsasoko prokariotoen pisua 240.000.000 (240 milioi) elefanteren pisuaren baliokidea da.

### Itsasoko gainazaleko ml batean

- $10^7$  birus
- $10^6$  bakterio
- $10^4$  protisto
- $10^3$  alga

### Lur edo sedimentuko 1 g

- $10^{10}$  birus
- $10^9$  bakterio
- ...

Gure gorputzean ere mikroorganismoak aurkitzen dira, noski, eta haiek osatzen duten komunitateari gizakiaren mikrobiota deritzo. Bertako mikroorganismo/zelula eukariotiko proportzioa 10:1-ekoa da, 700g-2kg artean izan ditzakeelarik 70 kg-ko gizaki batean. Horiek guztiek zenbait funtzio betetzen dituzte:

- ❖ Patogenoen hazkuntza ekiditen dute: toxinak, bakteriozinak...
- ❖ Digestio-aparatuan, digeritzea edo liseritzea ahalbidetzen dute.
- ❖ Hazkuntza-faktoreak ekoitz ditzakete: azido folikoak, bitaminak...
- ❖ Sistema immunologikoa estimulatzeko dute.

Mikrobiotak, gainera, loditasunarekin, garun-biokimikarekin, alergiarekin nahiz aurre-ereditzearekin lotura du.

## Ubikuoak

### Bizilekuak:

- Lurra
- Ura
- Aire
- Izaki makroskopikoak
- Gaizakia barne

Leku guztietan daudenez, ubikuoak dira, bizileku desberdin asko dituztelarik. Gainera, beste bizidunak bizi ezin daitezkeen lekuetan bizi dira batzuk; hau da, muturreko baldintzetan bizitzeko gai dira: pH, tenperatura, presio... ezberdinetan. Bestalde, edozein konposatu erabil dezakete, baita toxikoak direnak ere, zenbait prozesu haiek bakarrik burutzen dituztelarik:

- Metanoaren ekoizpena.
- Amonioaren sintesia  $N_2$ -tik abiatuta.
- Kimiolitotrofia.
- Arnasketa anaerobioak.
- Fotosintesi anoxigenikoa (oxigenorik sortzen ez den fotosintesia).
- Hainbat hartxidura.

## 2. Mikroorganismoek gaixotasunak sortzen dituzte izaki makroskopikoetan, gizakia barne:

Gaixotasunak sortzen dituzten mikroorganismoak (patogenoak) gutxi batzuk dira, baina zenbait betebeharrak dituzte populazioen tamainaren erregulazioan.

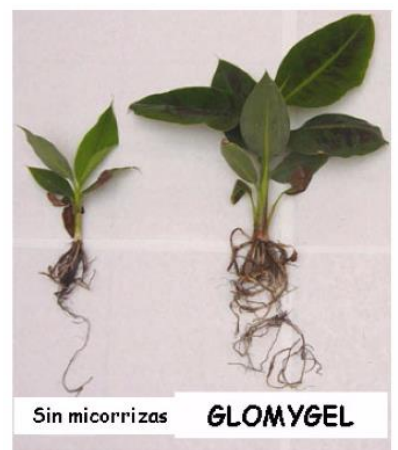
Infekzio ezberdinak sortzeko gai dira:

- ✓ Gernu-aparatuko infekzioak.
- ✓ Arnas-bideetako infekzioak.
- ✓ Sexu bidez transmititutako infekzioak: kandidiasia, HIESa, sifilia...
- ✓ Beherakoak.
- ✓ Azaleko infekzioak.

## 3. Gure elikaduraren zati garrantzitsu bat mikroorganismoen menpe dago:

Elikagai askoren ezaugarriak mikroorganismoen elkarrekintzen menpe daude, zenbait elikagai sortzeko erabiltzen direlarik: ogia, esnekiak, edari alkoholikoak, enkurtidoak...

Gainera, lurzoruen jarioortasuna mikroorganismoaren aktibitatearen menpe dago, landareen hazkuntza baldintzatzen dutelarik. Zenbait landare espezieen kasuan, hazkuntza faboratzen dute bien arteko sinbiosiaren bitartez (*Rhizobium*...).



Belarjaleen digestioa ere mikroorganismoen menpe dago eta, beraz, gu haietaz elikatu ahal izateko mikroorganismoak beharrezkoak zaizkigu.

Azkenik, ur-sistemetan kate trofikoaren 1. maila osatzen dute mikroorganismoek, bertako bizitza ahalbidetuz eta guri arrainez... hornituz.

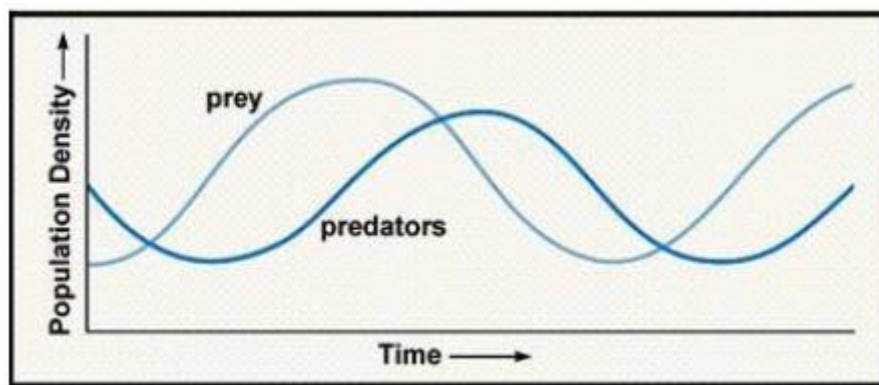
#### 4. Mikroorganismoek kutsatzaileak degradatzen dituzte:

Kutsatzailea organikoak ekoizkin ez-toxiko bilakatzen dituzte eta, zenbait kasutan, CO<sub>2</sub>-raino degradatzen dituzte. Gainera, metal astunak bezalako kutsatzaile ez-organikoak ere degradatzen dituzte. Zenbaitek, bestalde, CO<sub>2</sub>-a erabiltzeko gaitasuna ere badute.

#### 5. Mikroorganismoak eredu gisa baliagarri izan daitezke ekologiaren eta eboluzioaren oinarri orokorrak aztertzeko:

Izan ere, haien hazkuntza-tasa altua eta manipulazio erraza abantailatsuak dira arlo horietako ikerketetan. Horrela, zenbait eredu lortzeko edo ulertzeko baliagarriak izan dira:

- Protozoo-bakterio elkarrekintza aztertuz, harrapakari-harrapakin elkarrekintza ulertu da.
- 1964. urtean Gausek protozooekin egindako saioek lehiakidetzaren ondoriozko desagerpena ulertzea ahalbidetu zuten.
- Lenski eta kolaboratzaileek 1988tik *Escherichia coli*-ren 50.000 belaunaldi aztertu dituzte, haietan eman diren aldaketak ikusteko eta eboluzioa ikertzeko.



#### 6. Mikrobio batzuk planetako bizitzaren jatorria eta, agian, beste planeta batzuetako bizitza azaltzeko adibide moduan erabil daitezke:

Mikrobioak izan ziren gure planetako lehen izaki bizidunak, haietatik eratorri garelarik gainerakoak eta, horrenbestez, bizidunon aitzindari komuna mikrobioen modukoa litzateke.

Bestetik, astrobiologian ere oso erabilgarriak dira. Izan ere, beste planeta batzuetako baldintzak gure planetako muturreko bizilekuetako baldintzen bertsuak izan daitezke eta zenbait mikroorganismo muturreko baldintza horietan bizitzeko gai baitira. Horrela, beste planetetako bizitza ikertzen eta ezagutzen lagun diezagukete.

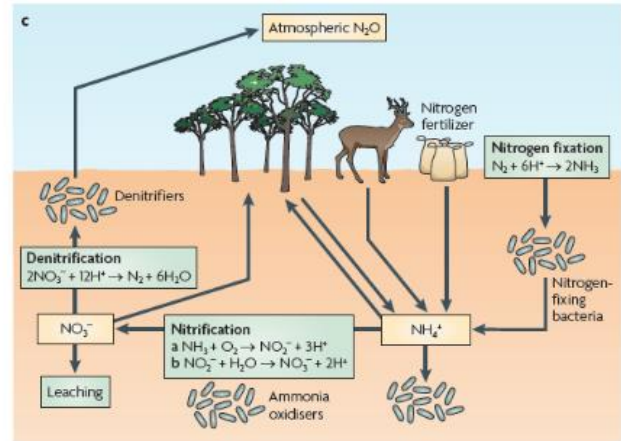
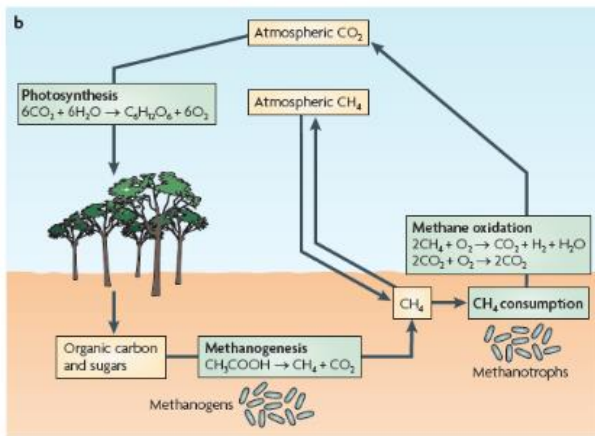
Lehenengo mikroorganismoak duela 3800 M.u. agertu ziren, fotosintetiko anoxigenikoak zein kimiolitotrofoak izan zitezkeenak, prokariotoak. Aurrerago zianobakterioak agertu ziren; hots, izaki fotosintetiko oxigenikoak. Haien eraginez, atmosfera oxigenatu zen eta bakterio aerobioen agerpena baimendu zuen. Ondoren, eukarioto zelulabakarrak agertu ziren duela 1800 M.u., horietatik eratorri zirelarik eukarioto zelulanitzak: horietatik eboluzionatu ziren landareak eta animaliak fanerozoikoaren hasieran.

7. Mikroorganismoek betetzen dituzten prozesu biogeokimiko askok planetako aldaketa orokorra eragiten dute:

Gasa	Berotegi-efektua
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	270

Taulan agertzen da gas horietako bakoitzak berotegi-efektua sortzeko duen gaitasuna. Ikus daitekeenez, N<sub>2</sub>O-k CO<sub>2</sub>-ak baino askoz ere gaitasun gehiago du, baina karbono dioxidoaren atmosferako kontzentrazioa oso handia da N<sub>2</sub>O-arenarekin alderatuta eta horregatik kontsideratzen da CO<sub>2</sub>-a berotegi-efektuaren eragile nagusia.

CO<sub>2</sub>-aren zikloan algek eta heterotrofoek hartzen dute parte, batik bat. Metanoaren zikloan, ordea, metanogenikoek eta metanotrofoek, lehenengoak sortzaileak eta bigarrenak kontsumitzaileak izanik. Oxido nitrosoaren kasuan, ostera, desnitrifikatzaileak eta nitrifikatzaileak izango dira garrantzitsuak.



## Ingurumen mikrobiologiaren historia

Ingurumen mikrobiologia mikrobiologiaren atala da, zeina 1970tik aurrera garatu baita eta gizartearentzako onurak lortzeko ingurumeneko mikroorganismoek buruzko ezagutza aplikatzen du. Horretarako, informazioa zientzia ezberdinetatik edo arlo ezberdinetatik lortzen du.



### A. van Leuwenhoek (1632-1723):

1665. urtean mikroorganismoen lehenengo deskribapena egin zuen eta “animaculus” hitza erabili zuen horretarako.

### Louis Pasteur (1822-1895):

Mikroorganismoen eta ingurunearen arteko elkarrekintzak aztertzen hasi zen eta, gainera, mikroorganismoekin lana egiteko teknikak garatu zituen. Bestalde, hartzidurak deskribatu zituen, pasteurizazioa asmatu zuen, berezko sorkuntzaren teoria deuseztatu zuen eta lehen txertoa garatu zuen (indargabetutako mikroorganismoetan oinarritutakoa).

### Robert Koch (1843-1910):

Gaixotasunen Teoria Germinala plazaratu zuen, hots, mikroorganismoek gaixotasunak sortzen dituztela proposatu zuten. Gainera, gaixotasunen transmisioa frogatu zuen *Bacillus anthracis* erabiliz (antraxa, karbunkoa edo satarra).

### Sergei N. Winodgrasky (1856-1953):

Mikroorganismoen fisiologiaren aita kontsidera daiteke. Izan ere, aerobiosi/anaerobiosi, fotosintesi eta mikroaerofilia kontzeptuak erabiltzen lehena izan zen, mikroorganismoen elikadura-sailkapena egin zuelarik. Gainera, kimioautotrofia (=kimiolitotrofia) ere aurkitu edo deskribatu zuen.

- ✓ 1887 – Sulfuro eta sufreakaren oxidazioa
- ✓ 1888 – Ioi ferrosoaren oxidazioa
- ✓ 1890 - Nitrifikazioa (amoniako eta nitritoaren oxidazioa)
- ✓ 1893 – Nitrogeno dimolekularren finkapen anaerobikoa (*Clostridium pasteurianum*)

Bestetik, Winodgrasky zutabea garatu zuen, ingurugiro ezberdinak dituen prozesu ezberdinak aztertu ahal izateko.

### Martinus Willem Beijerinck (1851-1931):

Dena leku guztietan dagoela eta hautatzen duena ingurunea dela proposatu zuen. Bestalde, aberaste-medioak garatu zituen laborategian kultibo ezberdinak hazteko.

- 1888: Nitrogeno molekularren finkapen sinbiotikoa (*Rhizobium*)
- 1901: Nitrogeno molekularren finkapen ez-sinbiotikoa (*Azotobacter*)
- ✓ Sulfatoen erredukzioa

Bestalde, ur-mikrobiologiari dagokiola, badira beste zientzialari garrantzitsu batzuk:

- ❖ C.G. Ehrenberg (1838): bakterio itsastarren lehenengo deskribapenak burutu zituen.
- ❖ Waksman (1888-1973): lehenengo itsas-mikrobiologoa kontsideratzen da.
- ❖ C.E. Zobell (1904-1989): lagingailua asmatu zuen. Gainera, horma-efektua eta presioaren eragina aztertu zituen mikroorganismoengan.
- ❖ H.W. Jannasch (1927-1998): bakterio fisiologiaz eta ekologiaz gain, haspide hidrotermalak aztertu zituen.



Albert Jan Kluyver (XX. Mendea):

Mikroorganismoak agente geokimiko gisa aztertu zituen, “biokimikaren unitatea”-ren kontzeptua proposatu zuelarik. Horrela, mikroorganismoek oso substantzia desberdinak ekoizten eta degradatzen dituztela ere azaldu zuen.

Georgii F. Gause (1934):

Mikroorganismoen arteko elkarrekintza garrantzitsuak aztertu zituzten (batez ere, protozooenak).

✓ *Didinium nasutum* (harrapakaria) vs. *Paramecium caudatum* (harrapakina)

✓ *Paramecium bursaria* (harrapakaria) vs. *Schizosaccharomyces pombe* (harrapakina)

Robert Hungate (1950eko hamarkada):

Errumeneko ekosistema aztertu zuen eta derrigorrezko anaerobioen isolamendurako teknikak garatu zituen.

C.B. van Niel (1950eko hamarkada):

Zelulosaren degradazioa aztertu zuen errumenean. Bestalde, ingurumenean mikroorganismoen populazioa eta aktibitateen kuantifikazioa ere ikertu zituen.

J.E. Hobbie (1977):

Epifluoreszentzia-mikroskopia asmatu zuen.

Bestetik, erredioisotopoen erabilera duela gutxiko kontua da:

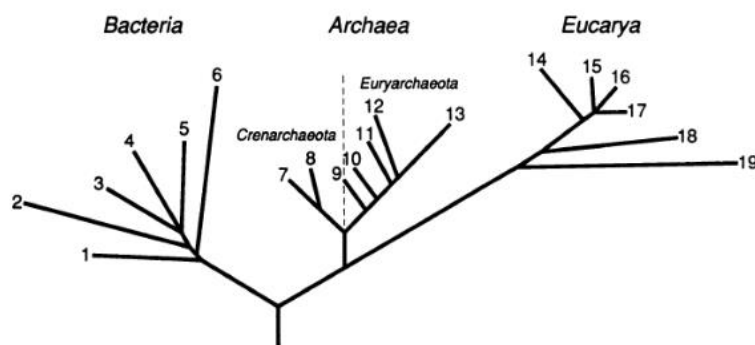
- 1966an J.E. Hobbie-k eta R.T. Wright-ek  $^{14}\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ -glukosa eta  $^{14}\text{C}$ -azetatoarekin egin zuten lan.
- 1980an J.A. Furrman-ek eta F. Azam-ek  $^3\text{H}$ -timidinarekin egin zuten lan.

C. Woese:

Teknika molekularren erabilerarekin bizidunen zuhaitz filogenetikoa zehaztu zuen: 5 erreinuko eredua deuseztatu zuen, gaur egun onartutako 3 erreinukoa proposatuz (Bacteria, Archaea eta Eukarya).

Evolution: Woese *et al.*

*Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87 (1990)*



### N. Pace:

Bera izan zen ingurumen mikrobiologiaren arloan teknika molekularrak erabiltzen hasi zena.

Egun, geroz eta indar gehiago hartzen ari da metagenomika. Lagin batean aurkitzen diren genoma guztiak hartu, anplifikatu eta analizatzean datza. Honekin erlazionatuta daude ingurumen mikrobiologiako azken aurkikuntzak.

### Gaur egungo mikrobio-ekologia:

Internazionalak:

- ✓ R.M. Atlas: bioterrorismoa aztertzen dihardu.
- ✓ Bartha: kutsadura eta petrolioaren degradazioa aztertzen ditu.
- ✓ J. Trevors: mikroorganismoen genomika ikertzen du.

Nazionalak:

- ✓ J.M. Gasol: itsas-bakterioen eta birusen populazioen ekologia, aniztasuna eta dinamika zein itsas-kate trofikoak aztertzen ditu.
- ✓ C. Pedrós Alió: Gasolekin batera itsas-mikroorganismoen genoma ikertzen dihardu.
- ✓ R. Amils: Rio Tintoko mikroorganismoen populazioen aniztasunaren eta egituraren ikerketa bideratzen du. Horrekin lotuta, bestalde, astrobiologiaren arloan ere ari da ikerkuntzan.