

1. Introducció: marc d'estudi de l'ecologia

Amb seguretat, la imatge del planeta Terra presa des de l'"Apol·lo 8" (figura 1), a més de ser una de les més vistes i reproduïdes, es pot considerar com la fotografia ambiental més influent que mai s'ha pres. Inspirat en la fotografia, l'economista Kenneth E. Boulding va resumir la **naturalesa finita del nostre planeta**. Allò que s'havia percebut a través de la història de la humanitat com una frontera il·limitada es va transformar, sobtadament, en una esfera diminuta: **limitada pel que fa als recursos**, plena d'una **població humana en contínua expansió** i amenaçada per l'**ús de l'atmosfera i dels oceans** com a dipòsits dels residus del consum.



Figura 1. Foto presa des de l'"Apol·lo 8" per un membre de la tripulació, Bill Anders, el 24 de desembre de 1968

Font: abcienciade.wordpress.com

Hi ha diverses definicions per al terme ecologia:

- «Conjunt de relacions de l'animal amb el medi orgànic i inorgànic» (Haeckel, 1869).
- «Estudi científic de les interaccions que determinen la distribució i l'abundància dels organismes» (Krebs, 1980).

L'ecologia analitza les interrelacions dels organismes amb el medi físic i biòtic. És l'estudi dels organismes en el seu hàbitat. L'ecologia intenta explicar on són els organismes, quants n'hi ha i per què hi són. Pretén entendre de quina manera actua un organisme en l'ambient i com aquest ambient actua en l'organisme.

És una ciència de síntesi, ja que, per comprendre la complexa trama de relacions que s'estableixen en un ecosistema, pren coneixements de la botànica, la zoologia, la fisiologia, la genètica i altres disciplines, com ara la física i la geologia.

En ser una ciència de síntesi, es va actualitzant a mesura que van augmentant la comprensió dels processos i les interaccions que tenen lloc al planeta. Això comporta un augment de la complexitat dels àmbits d'estudi.

En aquesta línia, avui dia podríem definir de manera àmplia l'ecologia (figura 2) com la **ciència que estudia els patrons i els processos que determinen la distribució i l'abundància d'espècies; la generació, la distribució i el manteniment de la biodiversitat a la terra i el mar; la influència i les retroaccions de la biota en els cicles biogeoquímics i el clima** (per exemple, el cicle del carboni, el canvi climàtic global); **la sostenibilitat dels processos productius humans que utilitzen o afecten la biota i el medi ambient** (per exemple, pesqueres multiespecífiques), i **la importància i el manteniment dels serveis dels ecosistemes** (per exemple, qualitat de l'aigua, reciclatge de nutrients, etc.).

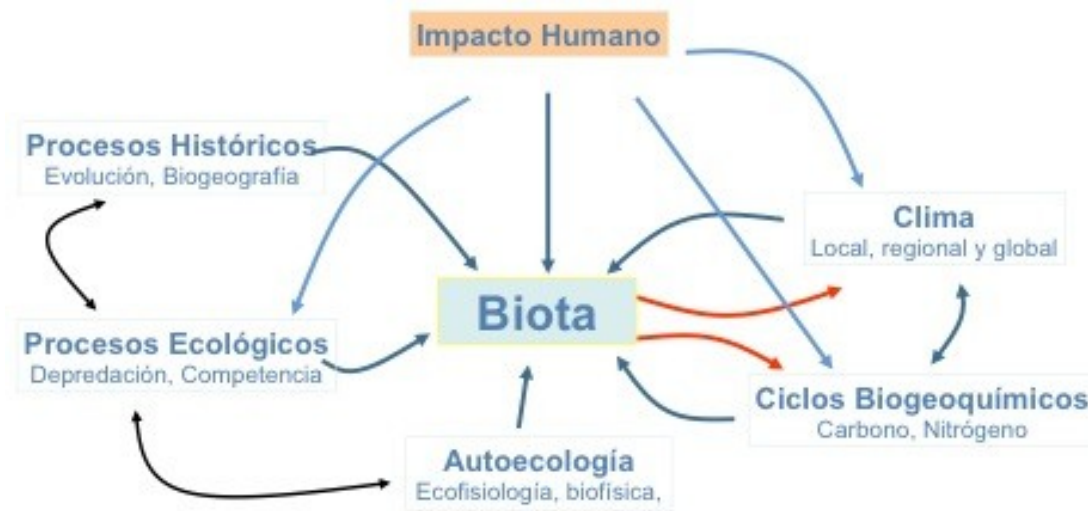


Figura 2. Diferents àmbits de treball de l'ecologia.

Els organismes interactuen amb el medi ambient en el context de l'**ecosistema**. La paraula 'ressò' es refereix a l'ambient, la part 'sistema' implica que l'ecosistema funciona com un conjunt de parts relacionades que formen una unitat. L'ecosistema consta de components que interactuen i que funcionen com una unitat. En termes generals, l'ecosistema està format per dos components bàsics que interactuen: el biòtop i la biocenosi (taula 1).

Atès que cap organisme no pot viure fora del seu ambient o sense relacionar-se amb altres espècies, **l'ecosistema és la unitat funcional de la vida sostenible a la Terra.**

En tractar-se d'unitats bàsiques molt complexes, no és senzill delimitar els ecosistemes; no obstant això, hi ha zones de transició entre ecosistemes que es defineixen com a 'ecotons'. L'ecotò consisteix en un hàbitat característic que acull espècies que no es troben en els ecosistemes que l'envolten.

Taula 1. Components de l'ecosistema.

ECOSISTEMA BIOTOPO BIOCENOSIS (Comunidad)	Què és un ecosistema? Qualsevol comunitat biòtica més o menys delimitada que viu en un ambient determinat. És el conjunt format per un substrat físic (biòtop) i una part viva (biocenosi). Són exemples d'ecosistema un llac, una zona litoral, una maresma, una àrea de bosc mediterrani, etc.
--	---

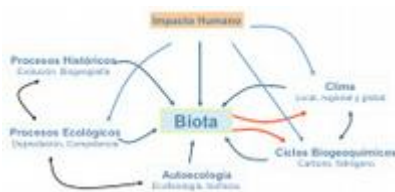
L'ecologia també pren en consideració l'impacte humà en tots els processos naturals. És indubtable que l'increment demogràfic dels últims anys està afectant el planeta. Les connexions entre població, recursos i entorn són molt complexes. Dos factors importants que afecten l'impacte de la població mundial en l'entorn són la tecnologia i la riquesa. La tecnologia pot influir decisivament en la producció de béns i aquesta sol ser un bon indicador del que la gent està disposada a consumir. El professor Paul R. Ehrlich, de la Universitat de Stanford (Estats Units), resumeix l'impacte de la població en l'entorn a partir de la fórmula següent:

$$\text{Impacto} = P \times C \times T$$

¿Cuántos? ¿Qué hacemos? ¿Cómo lo hacemos?
 Población Consumo Tecnología

Encara que aquesta fórmula resulti massa simple, mostra que, sigui quin sigui el nivell de consum, amb qualsevol tecnologia la població multiplica l'ús de recursos, l'espai i els residus, i les altres variables romanen constants. En aquesta línia, la demanda de recursos ha augmentat durant els últims anys, tal com veiem en la taula dinàmica 2.

Taula dinàmica 2. Augment de la demanda dels recursos des de 1950.



$$\text{Impacto} = P \times C \times T$$

¿Cuántos? ¿Qué hacemos? ¿Cómo lo hacemos?
 Población Consumo Tecnología

Cereals:

Des de 1950 fins ara la demanda de cereals s'ha triplicat.

Aigua:

El consum d'aigua s'ha triplicat.

Carn de boví:

La demanda de carn de boví i de xai s'ha triplicat.

Llenya:

La demanda de llenya s'ha triplicat.

Fusta:

La demanda de fusta s'ha triplicat.

Combustibles fòssils:

L'ús de combustibles fòssils s'ha multiplicat per 6.

Paper:

L'ús de combustibles fòssils s'ha multiplicat per 6.

1.1. Història de l'ecologia

En primer lloc, cal destacar el paper fonamental de precursors com **Buffon**, amb el famós assaig 'Historia natural' (1756); **Malthus**, amb l' "Essay on population" (1798), i, naturalment, **Darwin**, amb 'The origin of species by means of natural selection' (1902), entre altres investigadors.

D'altra banda, una gran part dels primers progressos de l'ecologia deriven dels camps aplicats de l'agricultura, la pesca i la medicina. Per exemple, la lluita contra les plagues d'insectes dels cultius ha estat una font important d'idees.

Després d'una etapa descriptiva (anys 1920-1950), durant la qual es formula la descripció dels patrons de distribució, l'ecologia es comença a consolidar a partir del desenvolupament teòric i d'estudis correlacionals en les dècades de 1950 a 1970. Es fa un fort èmfasi en els processos biològics i les interaccions entre les espècies.

Les dades acumulades durant els últims anys han fet possible una millor comprensió de les interaccions que s'estableixen entre les parts orgàniques i les inertes del planeta. Això és l'origen de la **hipòtesi de Gaia** de **Lovelock** (de 1969, encara que es va publicar el 1979), segons la qual la matèria vivent de la Terra i l'aire, els oceans i la superfície formen un sistema complex. Aquest pot ser considerat com un organisme individual capaç de mantenir les condicions que fan possible la vida al nostre planeta.

Segons la hipòtesi de Gaia, l'atmosfera i la part superficial del planeta Terra es comporten com un tot coherent en què la vida —el seu component característic— s'encarrega d'autoregular les condicions essencials del sistema, com ara la temperatura, la composició química i la salinitat, en el cas dels oceans.

Taula dinàmica 3. Homeòstasi. Font: [viquipèdia](#)

	Homeòstasi (del grec 'homós' (ὁμός), que significa 'similar', i 'stásis' (στάσις), que vol dir 'posició', 'estabilitat'): és la característica d'un sistema obert o d'un sistema tancat, especialment en un organisme viu, per mitjà de la qual es regula l'ambient intern per mantenir una condició estable i constant. Els múltiples ajustos dinàmics de l'equilibri i els mecanismes d'autoregulació fan que l'homeòstasi sigui possible.
---	---



1.2. Nivells d'organització

La complexitat de l'ecologia es deu, en part, al fet que aborda diversos nivells d'organització diferents, des del nivell de les poblacions fins al nivell de la biosfera (figures 3 i 4).

Tots els éssers vius tenen una manera de viure que depèn de l'estructura i la fisiologia que tenen, i de l'ambient en el qual viuen. Els **materials biològics**

(proteïnes, lípids, àcids nucleics, etc.) s'integren en la naturalesa en **diferents nivells d'organització** cada cop més complexos:



Figura 3. Nivells d'organització.

L'individu, o organisme, és la unitat funcional essencial de l'ecologia. Cada organisme té un genotip diferent que li confereix propietats i característiques diferents, i que determinen molt la manera com l'organisme respon a l'ambient inanimat i/o interactua amb l'ambient viu que l'envolta.

Població. És el **conjunt d'organismes de la mateixa espècie que conviuen en un mateix temps i un mateix espai**. Constitueixen una unitat evolutiva amb un destí comú. Poden intercanviar les característiques genètiques i comparteixen un passat evolutiu comú.

Comunitats. Són **grups de poblacions de diferents espècies que coexisteixen o cohabiten en un mateix temps i un mateix espai**, com ara la comunitat del bosc de ribera, la comunitat de microorganismes de les dents, etc.

Reconèixer l'existència d'aquests diferents nivells d'organització és important a l'hora de prendre decisions sobre el maneig de recursos naturals. Per exemple, el maneig d'una espècie en perill d'extinció requereix coneixements en l'àmbit de l'**organisme** (aspectes reproductius, alimentaris, etc.), de la **població** (taxes de natalitat i de mortalitat) i de la **comunitat** (interacció amb altres organismes, alimentació, predació...).



Figura 4. Nivells d'organització de l'ecologia.



2. Ecologia de poblacions. Distribució i abundància

2.1. Distribució dels organismes

Segons la definició de Krebs, l'ecologia és l'estudi científic de les interaccions que determinen la distribució i l'abundància dels organismes. Per això, és fonamental conèixer quins són els factors que condicionen la distribució i l'abundància. Per tant, algunes de les preguntes habituals per a tot ecòleg són:

— Què controla la diversitat d'organismes en un ambient determinat?

— Quins organismes creixen i on?

Les necessitats per al creixement que afecten directament la distribució i l'abundància dels organismes inclouen la disponibilitat de recursos i la presència de condicions fisicoquímiques adequades (figura 5):

a) **Disponibilitat i concentració de nutrients.** Quants recursos diferents hi ha? Quina quantitat? Quines són les fonts i les entrades de nutrients? Com varien? Hi ha aportacions externes?

b) **Complexitat de l'ambient.** Quants gradients de paràmetres importants (pH, temperatura, disponibilitat d'aigua, llum, oxigen, pressió, etc.) hi ha i en quina escala? Són factors que varien amb el temps, segons l'època de l'any?

Recursos	Condiciones
Carbono (orgánico, CO ₂)	Temperatura: fría - cálida - caliente
Nitrógeno (orgánico, inorgánico)	Potencial hídrico: seco - húmedo - mojado
Otros macronutrientes (S, P, K, Mg)	pH: 0 - 7 - 14
Micronutrientes (Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Ni)	O ₂ : óxico - microóxico - anóxico
O ₂ & otros aceptores de electrones (NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Fe ³⁺ , etc)	luz: brillante - luz débil - oscuro
Dadores inorgánicos de electrones (H ₂ , H ₂ S, Fe ²⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , etc)	Condiciones osmóticas: agua dulce - agua mar - hipersalina

Figura 5. Factors que condicionen el creixement dels organismes.

2.2. El nínxol ecològic

Tots els factors que condicionen el creixement dels organismes defineixen el **nínxol ecològic** o espai concret que ocupa cada espècie o població en un ecosistema. Formalment, el nínxol es descriu com un hipervolum de n-dimensions, en què cada dimensió correspon als factors descrits més amunt. En altres paraules, quan parlem de 'nínxol ecològic', ens referim a l'ocupació o a la funció que exerceix un individu determinat dins d'una comunitat.

El concepte formal de nínxol inclou tots els factors biòtics i abiòtics amb els quals l'organisme es relaciona. D'aquesta manera, el nínxol involucra tots els recursos presents de l'ambient, les adaptacions de l'organisme que es vol estudiar i com es relacionen aquests dos elements (nivell d'adaptació, eficiència de consum, etc.).

Un organisme pot habitar en altres nínxols, encara que amb menys èxit ecològic que en el seu nínxol primari. D'altra banda, el nínxol ecològic permet que en una

àrea determinada convisquin moltes espècies, herbívores, carnívores o omnívores, cadascuna de les quals s'ha especialitzat en una planta o una presa determinada, sense que l'una sigui competència de les altres.

En el cas dels microorganismes, a causa de les dimensions que tenen, viuen, òbviament, en hàbitats petits. Per a un bacteri, 3 mm de sòl és l'equivalent a 2 km per als humans. Per entendre l'ecologia dels microorganismes i la seva diversitat, hem de 'pensar en petit'. Cal tenir en compte que en una escala en mil·límetres hi ha una gran quantitat de gradients de condicions físiques i químiques que afecten els organismes... Per això parlem de **microambients**.

Aquesta **gran quantitat de nínxols** explica la gran **biodiversitat metabòlica, fisiològica i genètica** dels microorganismes

En l'escala de micres dels microorganismes hi ha in comptables nínxols. A més, aquests varien amb el temps. Tal com veiem en la figura 6, els microambients permeten que en uns quants mil·límetres visquin poblacions de diferents organismes. Així, en una partícula de sòl els organismes aerobis viuen a la part més externa, mentre que els organismes anaerobis, per als quals l'oxigen és letal, viuen a la zona més interna.

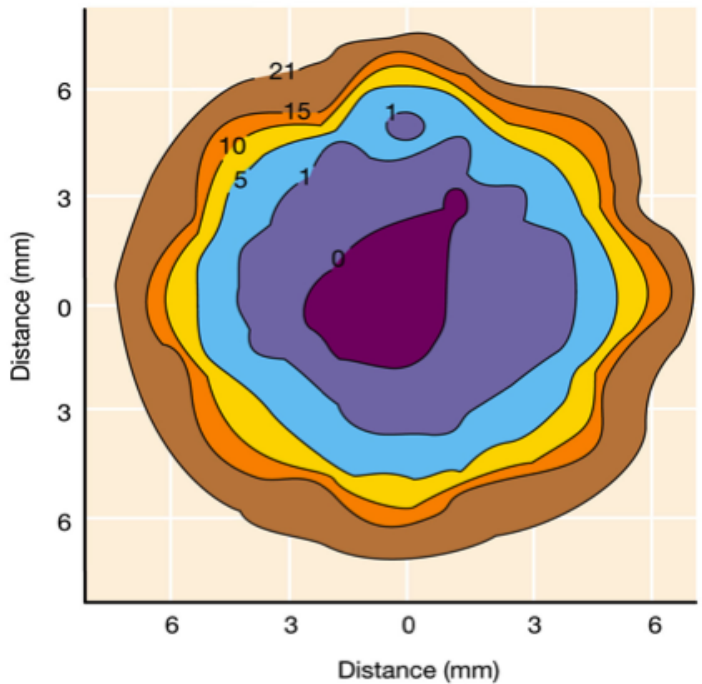


Figura 6. Imatge fotogràfica (microscòpia electrònica de rastreig) d'una partícula d'arena de 3 mm (a l'esquerra) i mapa de contorn del gradient de O₂ que hi ha (les zones fosques representen menys presència d'oxigen).

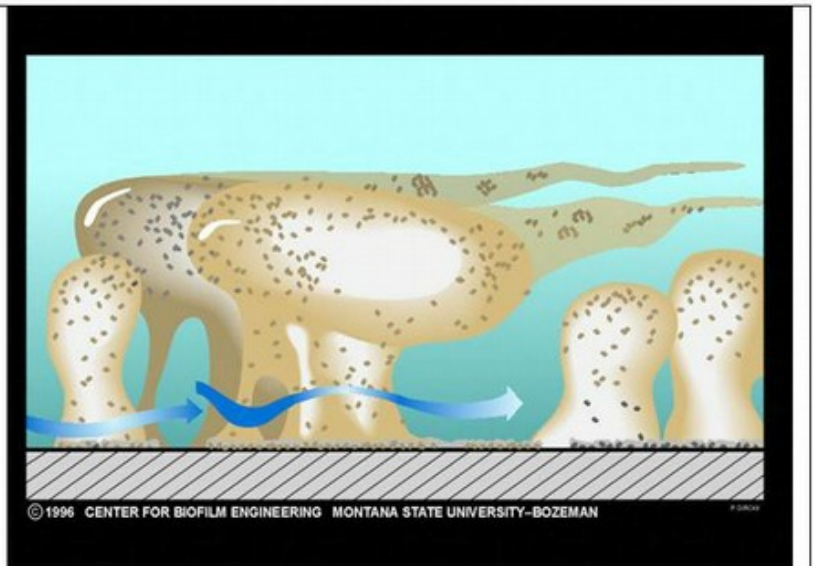
2.3. Superfícies i biopel·lícules

En mitjans aquàtics, les cèl·lules existeixen en un dels dos ambients físics següents: **l'estat planctònic (suspensió)**, en què les cèl·lules actuen com a individus, o l'estat sèssil o biofilm (adherit), en què les cèl·lules actuen com una comunitat completament integrada.

Les observacions directes dutes a terme en ecosistemes aquàtics mostren que la fase líquida conté menys del 0,1 % del total de bacteris. Les superfícies, en general, tenen nombres elevats d'organismes perquè allí s'absorbeixen els nutrients i els organismes, i s'hi troben en concentracions més elevades que a l'aigua. Els sediments d'aqüífers registren entre 100 i 1.000 vegades més de microorganismes que l'aigua.

Taula 4. Què és un biofilm? Font: Peg Dirckx, Center for Biofilm Engineering.

Grups de cèl·lules (bacteris), normalment en **poblacions mixtes (comunitats)**, que s'adhereixen a una superfície i formen una estructura en tres dimensions, unida per substàncies polimèriques extracel·lulars (matriu de polisacàrids), produïdes per ells mateixos. Els biofilms són estructures complexes de poblacions heterogènies.



L'estat biofilm és el més habitual dels bacteris en la naturalesa. En un biofilm madur es produeixen una gran quantitat de gradients fisicoquímics, que resulten en un gran nombre de microambients potencials dins d'una àrea molt petita. Els biofilms són importants perquè:

- Es troben en **qualsevol superfície** que estigui exposada a líquids o sòlids no estèrils (interfase sòlid-líquid o líquid-aire, natural o artificial).
- Es troben en diversos **sistemes ambientals, industrials i mèdics**.
- **Nínxol protector**. De manera inherent, més resistent als antibiòtics i biocides.

Els biofilms són importants per al **medi ambient**, la **indústria** i la **salut pública**. En l'àmbit industrial, són beneficiosos perquè s'utilitzen en innombrables mètodes de descontaminació i tractament (figura 7), però alhora poden resultar perjudicials, perquè colonitzen qualsevol superfície, incloent-hi qualsevol canonada.

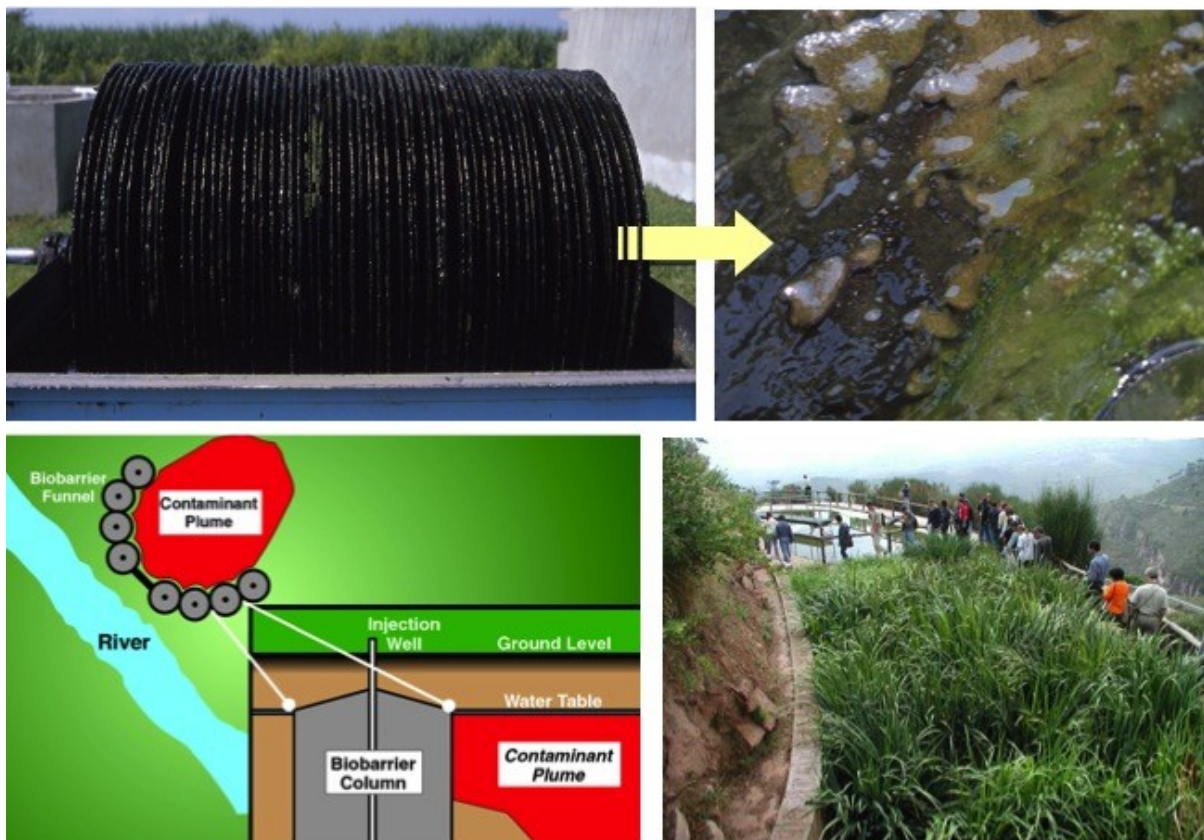
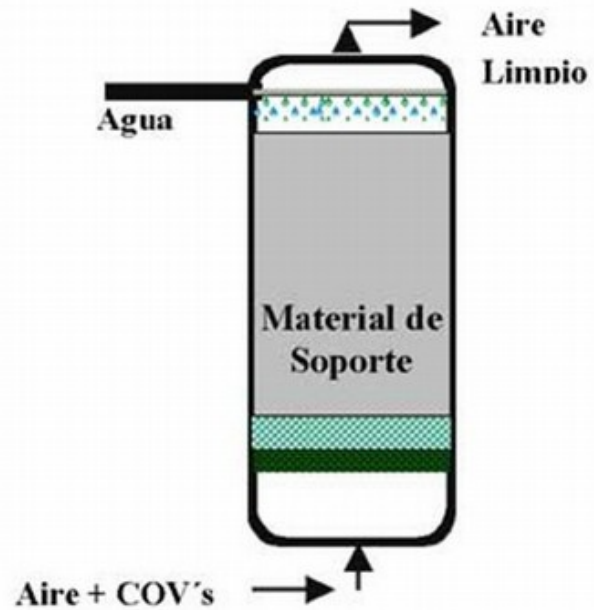


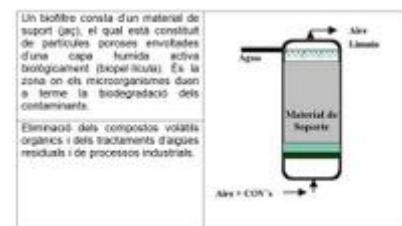
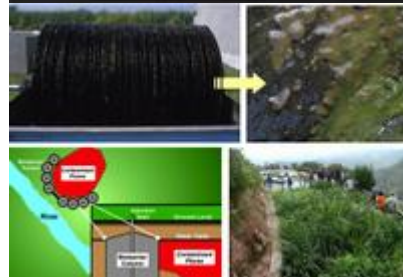
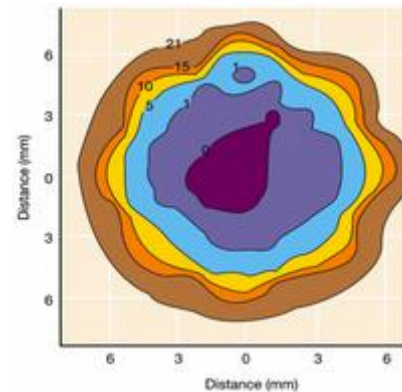
Figura 7. Ús dels biofilms per descontaminar sòls, aigua i aire. A dalt, un contactor rotatori biològic. A baix a l'esquerra, ús de biofilms com a biobarrera en sòls. A baix a la dreta, sistema natural de tractament d'aigües mitjançant un aiguamoll construït de flux subsuperficial.

Un biofiltre consta d'un material de suport (jaç), el qual està constituït de partícules poroses envoltades d'una capa humida activa biològicament (biopel·lícula). És la zona on els microorganismes duen a terme la biodegradació dels contaminants.

Eliminació dels compostos volàtils orgànics i dels tractaments d'aigües residuals i de processos industrials.



Recursos	Condiciones
Carbono (orgánico, CO_2)	Temperatura: fría - cálida - caliente
Nitrógeno (orgánico, inorgánico)	Potencial hídrico: seco - húmedo - mojado
Otros macronutrientes (S, P, K, Mg)	pH 0 - 7 - 14
Micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni)	O_2 débil - microaeró - aeróbico
O_2 & otros aceptores de electrones (NO_3^- , SO_4^{2-} , Fe^{3+} , etc)	Luz: brillante - luz débil - oscuro
Dadores inorgánicos de electrones (H_2 , H_2S , Fe^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- , etc)	Condiciones osmóticas: agua dulce - agua mar - hipersalina



3. Funcionament dels ecosistemes. Fluxos metabòlics

3.1. Diversitat metabòlica en la biosfera

Anomenem ‘metabolisme’ el conjunt de reaccions bioquímiques i processos fisicoquímics que tenen lloc en una cèl·lula i en l'organisme. Aquests processos complexos estan interrelacionats i són la base de la vida a escala molecular. És a dir, permeten les diverses activitats de les cèl·lules: créixer, reproduir-se, mantenir les estructures, respondre a estímuls, etc.

El metabolisme es divideix en dos processos conjugats: catabolisme i anabolisme. Les reaccions catabòliques alliberen energia. Les reaccions anabòliques, en canvi, utilitzen aquesta energia alliberada per recompondre enllaços químics i construir components de les cèl·lules. El catabolisme i l'anabolisme són processos acoblats (l'un depèn de l'altre) que integren el metabolisme en conjunt.

A grans trets, es pot classificar cada organisme en funció del metabolisme; en concret, aquesta classificació depèn de la manera com l'organisme obté els àtoms de carboni per sintetitzar les biomolècules, com obté l'energia per dur a terme aquesta síntesi i com obté la font d'electrons (figura 8):

- Font de carboni: es denomina ‘autòtrof’ l'organisme que sintetitza molècules orgàniques només a partir de CO₂ i ‘heteròtrof’ el que és incapaç de fer-ho i, per tant, ha d'utilitzar les molècules orgàniques que han sintetitzat altres organismes.
- Font d'energia: es denomina ‘fotòtrof’ l'organisme capaç d'extreure energia de la llum (mitjançant la fotosíntesi) i ‘quimiòtrof’ el que l'extreu mitjançant l'oxidació de diverses molècules, tant orgàniques com inorgàniques.
- Font de poder reductor (electrons): es denomina ‘litòtrofs’ l'organisme que extreu els electrons de compostos inorgànics i ‘organòtrof’ el que els extreu de compostos orgànics.

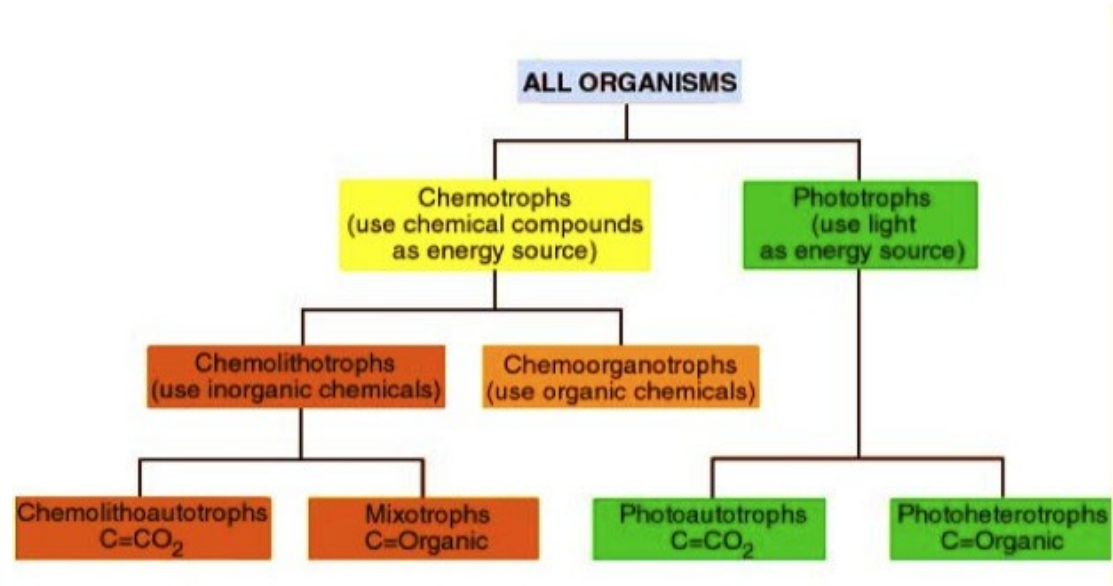
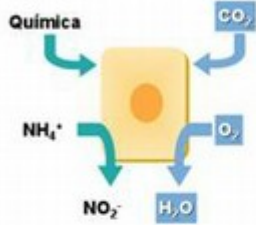
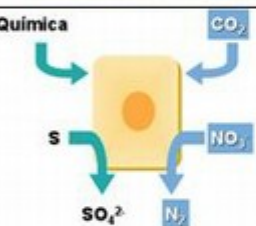
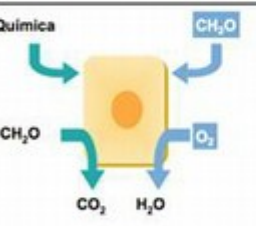
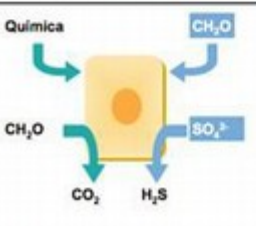


Figura 8. Caracterització metabòlica dels organismes.

Taula 6. Tipus de metabolisme cel·lular (1)

1. Obtenció d'energia: 1a) Llum	
Fotòtrofs — Energia lluminosa radiada pel Sol. Fotosíntesi: $n\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energia de la llum} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2$ — Plantes verdes, algues, bacteris fotosintètics.	FOTOSÍNTESIS AEROBICA (Oxigènica)
	FOTOSÍNTESIS ANAEROBICA
1. Obtenció d'energia: 1b) Compostos químics	
Quimiòtrofs Energia obtinguda a partir de reaccions químiques.	<i>Respiración Aeróbica</i>

Taula 7. Tipus de metabolisme cel·lular (2)

2. Obtenció de carboni	
a) Autòtrofs Quan la font de carboni és el carboni inorgànic (CO_2). — Fotoautòtrofs , si utilitzen la llum com a font d'energia. — Químioautòtrofs , si utilitzen l'energia química.	b) Heteròtrofs — Energia obtinguda a partir de l'oxidació de compostos orgànics.
2. Obtenció del carboni: 2a) Autòtrofs	
Químio-(lito)-autòtrofs (quimiosíntesi): Organismes quimiolitòtrofs Bacteris nitrificants: oxidació de l'amoniac a nitrit. $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2^-$ (<i>Nitrosomonas</i>) Bacteris nitrificants: oxidació de nitrit a nitrat. $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ (<i>Nitrobacter</i>) Bacteris oxidadors del sofre $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ (<i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i> , <i>Thiospira</i>) Bacteris del ferro $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$	 
2. Obtenció de carboni: 2b) Heteròtrofs	
Heteròtrofs. Energia obtinguda a partir de l'oxidació de compostos orgànics.	 

3.2. Nivells i xarxes tròfiques

El funcionament d'un ecosistema sostenible es regeix per tres principis de funcionament bàsics:

- El reciclatge dels nutrients.
- L'aprofitament de la llum solar com a font bàsica d'energia.
- Poblacions de dimensions que no tinguin un consum excessiu.

El procés de transferència de nutrients i energia a través dels diferents organismes d'un ecosistema, en el qual cadascun s'alimenta del precedent i és l'aliment

del següent, és el que coneixem com a '**cadena tròfica**'.

Cada cadena s'inicia amb un **productor primari** o organisme autòtrof. Es tracta d'un organisme que "fabrica el seu propi aliment" sintetitzant substàncies orgàniques a partir de substàncies inorgàniques (que pren de l'aire i del sòl) i amb l'ús d'energia solar (fotosíntesi) o a través de reaccions químiques (quimiosíntesi). Després dels productors, els **consumidors (heteròtrofs)** produeixen els seus components a partir de la matèria orgànica procedent d'altres éssers vius. Hi ha un últim nivell en la cadena alimentària, que correspon als descomponedors. Aquests actuen sobre els organismes morts, degraden la matèria orgànica, la transformen novament en matèria inorgànica i la retornen al sòl (nitrats, nitrats, aigua) i a l'atmosfera (diòxid de carboni).

Els productors primaris o autòtrofs representen el primer pas o nivell necessari en la biosfera, mentre que els consumidors o heteròtrofs oxiden la matèria orgànica i n'obtenen matèria per fabricar les pròpies estructures cel·lulars i energia en forma d'ATP.

Cada nivell depèn de l'altre; per això es parla de 'cadena alimentària'. Tot i així, en molts casos un mateix organisme pot servir d'aliment per a més d'un consumidor. Per tant, quan parlem de 'nivells tròfics', estem fent una simplificació important, ja que els organismes són molt versàtils. Per això, és més apropiat parlar de '**xarxes tròfiques**', ja que hi ha interconnexions entre membres de nivells tròfics semblants o diferents (figura 9).

El flux de matèria és tancat. Els nutrients es reciclen quan la matèria orgànica del sòl (restes, dejeccions...) és transformada pels descomponedors en molècules orgàniques o inorgàniques. Aquestes es converteixen en nous nutrients o bé s'incorporen a noves cadenes tròfiques. En conjunt, veiem que els elements minerals no es perden en la biosfera, atès que s'utilitzen de manera cíclica.

La '**producció**' és la quantitat de compostos de carboni sintetitzats cada any pels productors primaris, descomptant-ne la respiració ($\text{gC} / \text{m}^2 \cdot \text{any}$). La '**productivitat**' o '**taxa de renovació**' és la mesura relativa de la producció en referència a la biomassa (velocitat), mentre que el 'temps de renovació' és el temps necessari per renovar el conjunt de la biomassa.

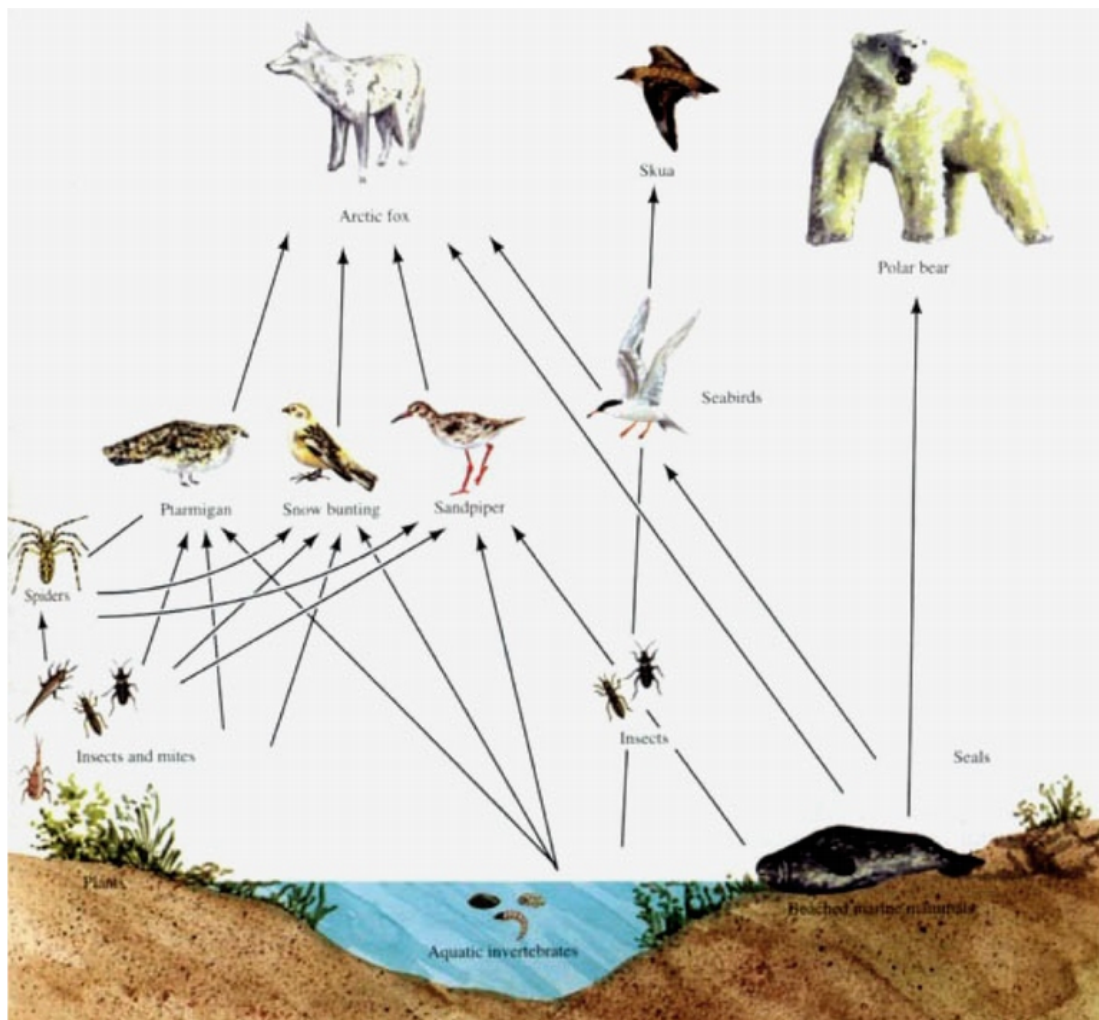


Figura 9. Exemple d'una xarxa tròfica a l'Àrtic.

Els ecosistemes són **unitats processadores d'energia**. Però, què és el que manté en funcionament un sistema viu com els ecosistemes? En la fotosíntesi de les plantes verdes l'energia solar és transformada en matèria orgànica, la qual cosa manté totes les formes de vida a la Terra.

Flux d'energia. L'energia del **Sol** flueix a través dels ecosistemes i fa possibles les activitats que hi tenen lloc. La circulació de l'energia és bastant diferent de la que trobem per a la matèria. La matèria s'utilitza de manera cíclica, però l'**energia** és emprada una sola vegada i, per tant, es perd gradualment al llarg de totes

les etapes assenyalades, en forma de calor o de treball.

En una cadena tròfica, cada esgraó (nivell tròfic) obté l'energia necessària per a la vida del nivell immediatament anterior, i el productor l'obté del Sol. D'aquesta manera, **l'energia flueix a través de la cadena de manera lineal**. En aquest flux es produeix una pèrdua d'energia en cada traspàs d'un esgraó a l'altre (figura 10), per la qual cosa un nivell de consumidor alt (per exemple, un consumidor terciari) rep menys energia que un de baix (per exemple, un consumidor primari). De l'energia assimilada per un nivell tròfic, solament una part passa al nivell tròfic següent. Per aquesta raó, **l'energia disponible va disminuint d'un nivell a l'altre**. S'observa un **flux unidireccional de l'energia**.

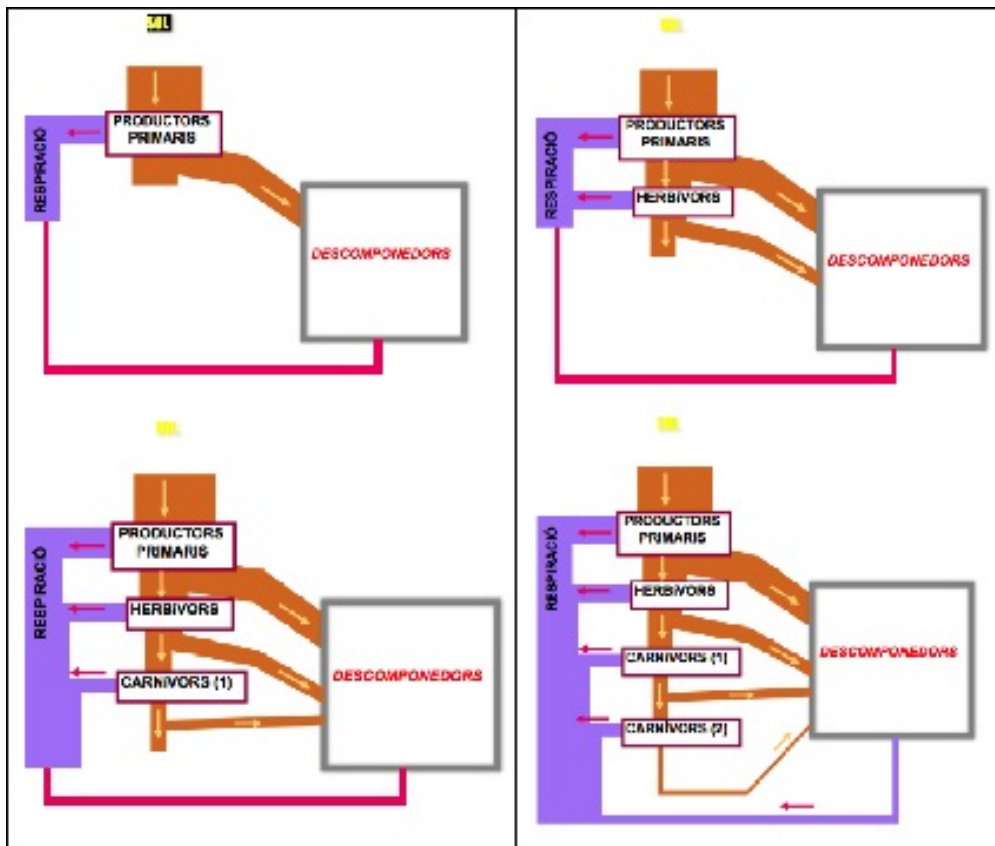
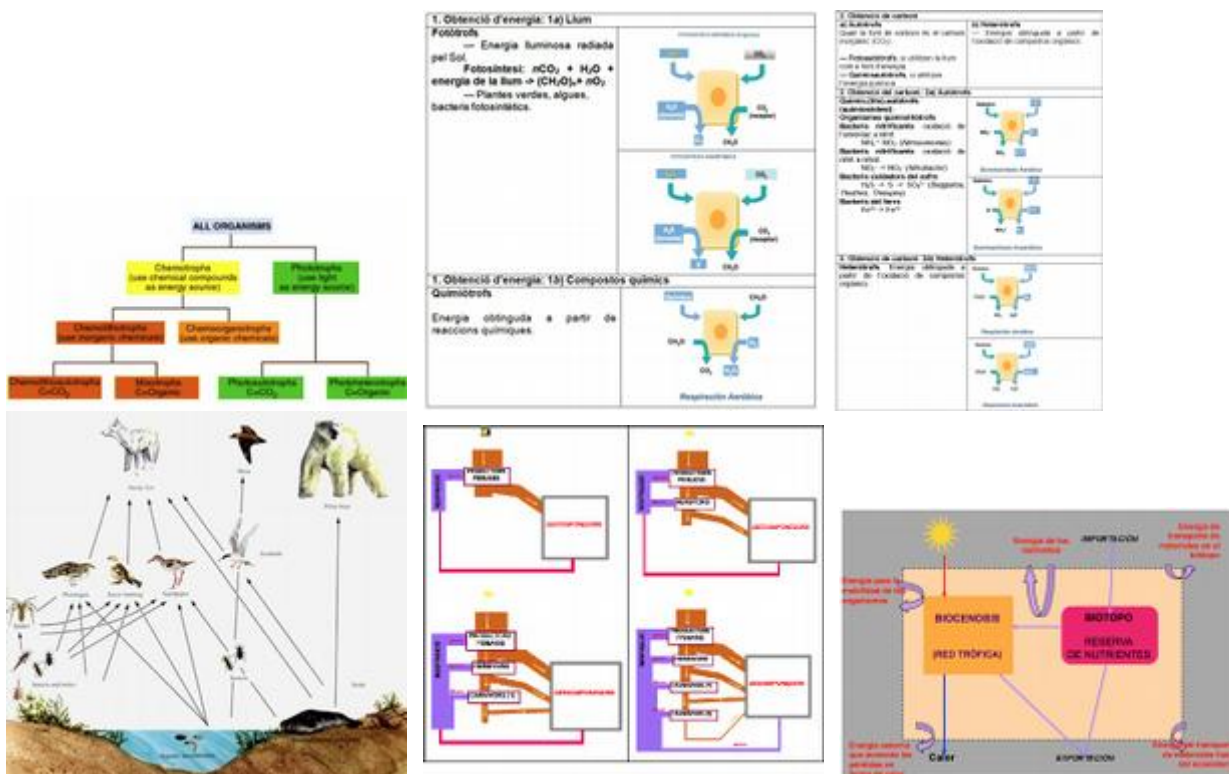
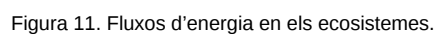


Figura 10. Flux unidireccional de l'energia en els ecosistemes.

Els ecosistemes no són elements aïllats, sinó que experimenten entrades i sortides d'energia i matèria. Els sistemes funcionen amb energia **endosomàtica, o interna**, que entra en el sistema a partir de la producció primària i circula per les xarxes tròfiques. Però, a més, hi ha una **energia exosomàtica, o externa**, per exemple, la que s'obté a partir de la combustió dels combustibles fòssils.

L'home ha aprofitat l'energia exosomàtica. El consum per capita d'energia endosomàtica (aliments) és, actualment, unes tres vegades més gran que en el Paleolític, mentre que el d'energia exosomàtica ha augmentat molt més (unes 110 vegades).

D'altra banda, els ecosistemes no són, evidentment, sistemes tancats. Hi ha aportacions de manera natural (importacions) i, a la vegada, l'activitat metabòlica genera la sortida de productes cap a altres ecosistemes (exportacions), com en el cas dels emissions de CO_2 a l'atmosfera (figura 11).



4. Biodiversitat

El planeta Terra acull una gran biodiversitat

Taula 8. Com es defineix la biodiversitat

Com definim 'biodiversitat'?	
• 'Biodiversitat' es pot definir com el nombre, la varietat i la variabilitat d'organismes vius en tots els nivells dins d'una regió. • Hi ha tres tipus de diversitat: ○ Diversitat genètica. ○ Diversitat d'espècies o organismes. ○ Diversitat ecològica o d'ecosistemes — incloent-hi la varietat de funcions i d'interaccions. • Alguns autors hi inclouen també la diversitat del paisatge.	Biodiversitat = diversitat biòtica = diversitat biològica Biodiversitat = Especiació – Extinció

Taula 9. Tipus de diversitat (1)

a) Diversitat genètica 	En un organisme es reconeixen els següents nivells de diversitat genètica: nucleòtids, al·lels, gens i cromosomes. La font primària de la diversitat genètica és la mutació, que actua canviant la informació genètica. 'Variacions heretables dins i entre poblacions d'organismes' (Groombridge, 1992).
b) Diversitat d'espècies o d'organismes 	L'organisme individual és la 'unitat bàsica del món viu' i, per tant, de la diversitat d'organismes.
c) Diversitat ecològica o dels ecosistemes Un ecosistema es defineix com una unitat funcional d'organismes que interactuen (plantes, animals i microorganismes = biocenosi) i les interaccions que duen a terme amb l'ambient físic i químic (biòtop).	La 'diversitat d'ecosistemes' es defineix com la varietat d'ecosistemes en un paisatge determinat i la variabilitat que experimenten amb el temps. La 'diversitat ecològica' es refereix a la varietat d'ecosistemes en una àrea i les interaccions que estableixen o a la varietat intraecosistemes.

Hi ha dos aspectes fonamentals de la biodiversitat:

- Riquesa = nombre d'espècies.
- Abundància relativa de cadascuna.

Es dona un gradient latitudinal en la diversitat d'espècies que disminueix de l'equador als pols.

Taula 10. El concepte 'biodiversitat' en diferents contextos

Context sociopolític de la biodiversitat	Percepcions de la biodiversitat
✓ L'utilitzen la ciència, els mitjans i el gran públic. ✓ S'uneix freqüentment al concepte de 'pèrdua' de l'ambient natural i dels seus continguts. ✓ Algunes vegades, la paraula 'biodiversitat' s'utilitza no sols com a equivalent de 'varietat de vida', sinó com a equivalent de 'valor de vida'. 'Biodiversitat' entesa com a 'valor'. ✓ 'Crisi de biodiversitat'. ✓ Com es jutja l'èxit dels objectius i les accions de conservació? ✓ La biodiversitat vista com a font de productes útils: fàrmacs, antibiòtics, etc.	✓ La biodiversitat considerada globalment i col·lectivament. ✓ S'han descrit aproximadament 1,4-1,8 milions d'espècies diferents. ✓ Quantes espècies tenim realment avui dia? ✓ Moltes de les coses que coneixem de la biodiversitat depenen de la localització i dels taxons (efecte ornitòleg; diversitat de vertebrats <i>vs.</i> diversitat microbiana). ✓ Variacions biogeogràfiques. Concentració de biodiversitat en determinats punts. ✓ El nombre d'espècies s'incrementa a mesura que ens apropem a l'equador.

És realment útil la diversitat per als ecosistemes?

Les comunitats amb una diversitat elevada són més resistents i més resilients que les que presenten una diversitat baixa. En general, com més diversitat, més quantitat d'informació, la qual cosa dota de més capacitat de resposta els canvis ambientals i, per tant, augmenta l'estabilitat del sistema.

La humanitat depèn de la biodiversitat

La biodiversitat proporciona béns d'ús directe (aliments, fusta, tèxtils, productes farmacèutics...) i és una font inesgotable d'innovacions. D'altra banda, és una font fonamental per a la indústria farmacèutica:

- Més de 20.000 espècies s'han utilitzat per a finalitats medicinals.
- El 41 % dels fàrmacs tenen en els principis actius ingredients derivats d'organismes vius (25 % de plantes, 13 % de microorganismes, 3 % d'animals).
- Més del 70 % dels fàrmacs anticancerígens provenen de plantes de les selves tropicals.

Una elevada diversitat d'espècies incrementa la producció de biomassa vegetal en les praderies (figura 12), augmenta la resistència de l'arròs a les malalties (figura 13) i fa disminuir el risc d'exposició dels humans a les malalties infeccioses (figura 14). D'altra banda, la biodiversitat és un patrimoni natural, font de valors estètics, espirituals, culturals i recreatius. Alhora, la biodiversitat és el suport de molts serveis ecosistèmics (figura 15), els quals presenten valors indirectes (cicle dels nutrients, formació de sòl, pol·linització, purificació d'aigua, regulació del clima...).

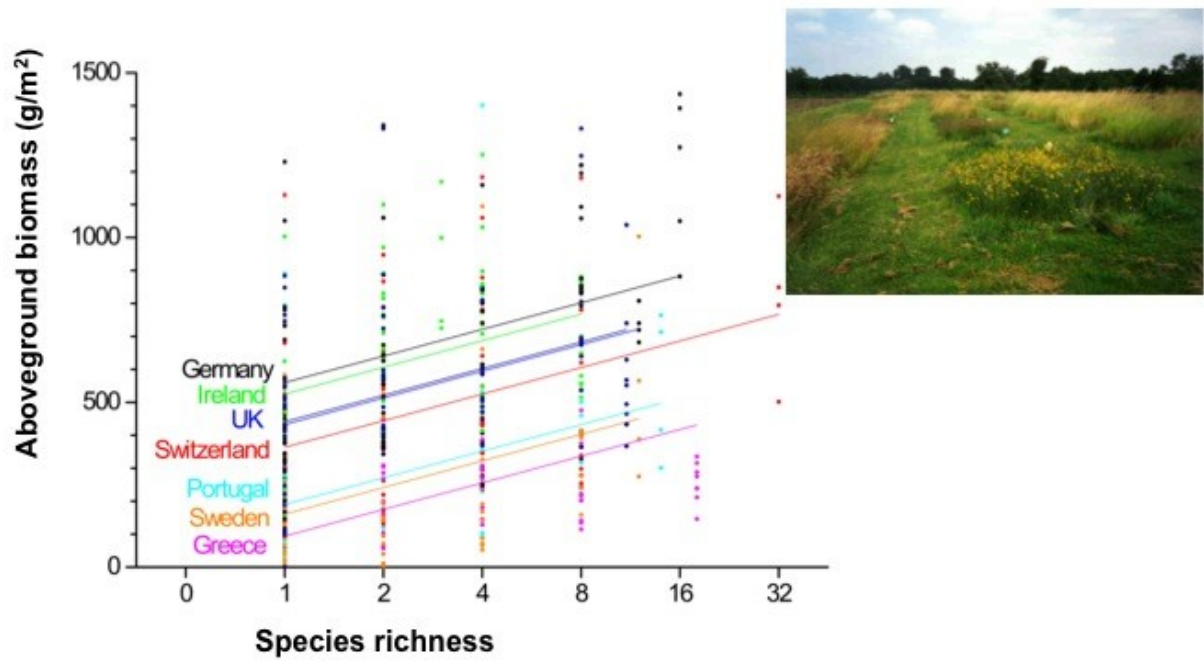


Figura 12. La diversitat d'espècies incrementa la producció de biomassa vegetal en les praderies. Font: Héctor *et al.*, 'Science', (1999), 286, p. 1123-1127.

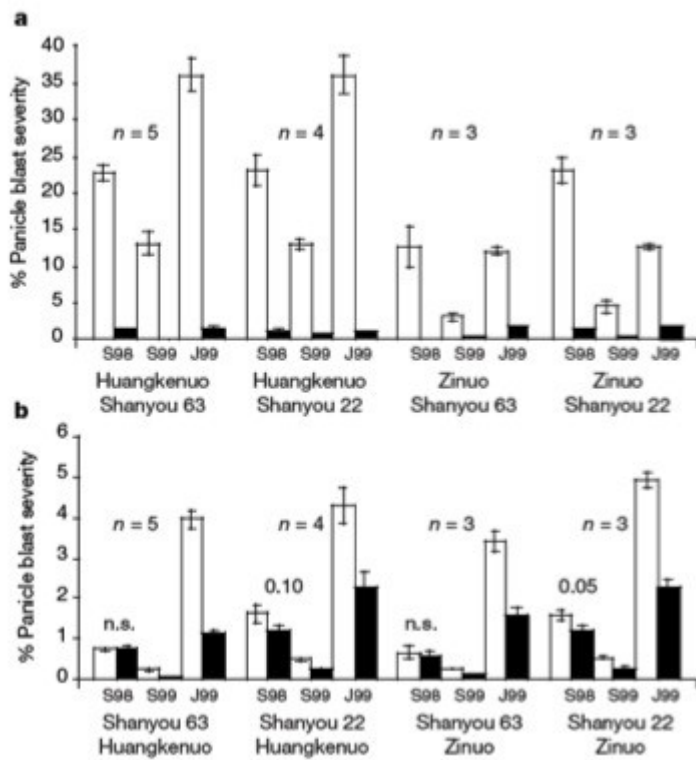


Figura 13. La diversitat genètica incrementa la resistència de l'arròs a malalties. Font: Zhu *et al.*, 'Nature' 406: 718-722 (2000).

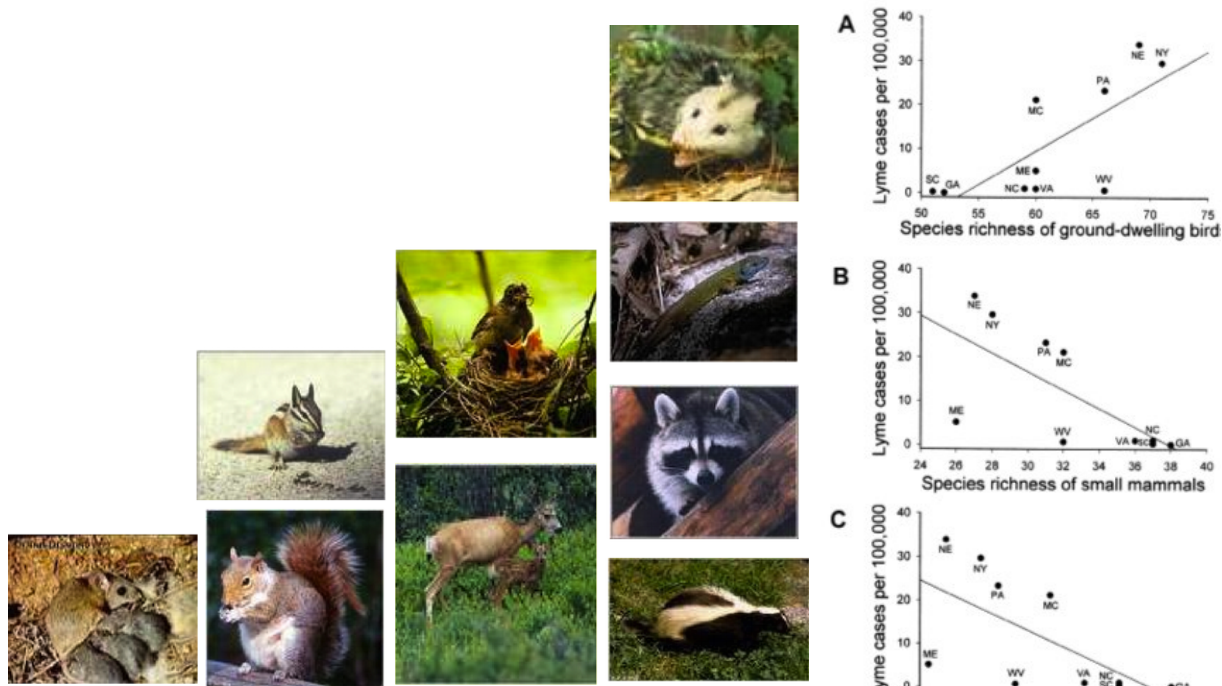


Figura 14. La diversitat d'hosts vertebrats fa disminuir el risc d'exposició humana a la malaltia de Lyme. Font: Ostfeld i Keesing, 'Conservation Biology' (2000), 14, p. 722–728.

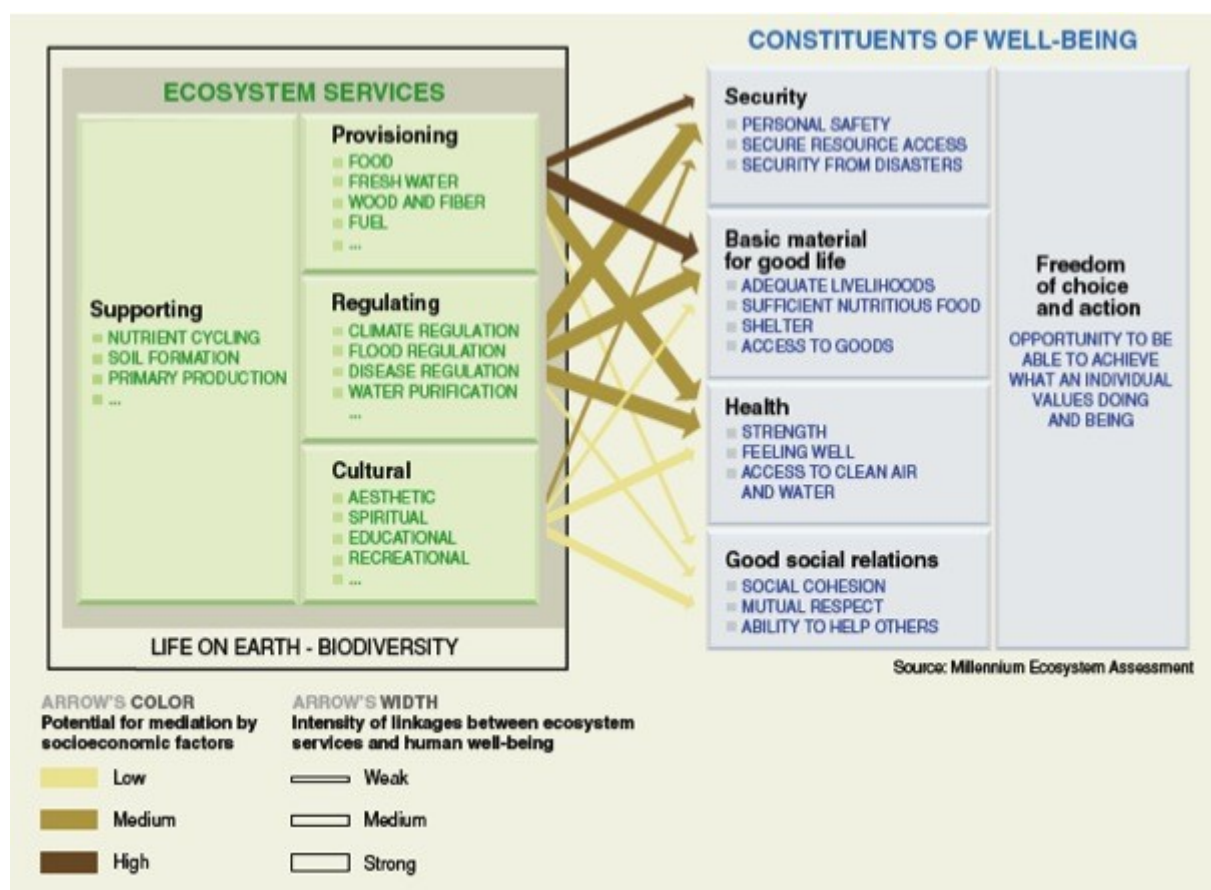


Figura 15. Biodiversitat, serveis ecosistèmics i benestar de la humanitat. Font: Millenium Ecosystem Assessment.

Les pèrdues de biodiversitat massives són irreversibles, ja que cada espècie és el producte d'una història única, no reproduïble. Segons la paleontologia, després d'un període d'extinció massiva, es van necessitar deu milions d'anys per recuperar els nivells previs de diversitat d'espècies i, òbviament, la nova biodiversitat difereix molt de l'anterior.

En la figura 16 s'aprecia el descens acusat en les poblacions de vertebrats (espècies terrestres, d'aigua dolça i marines), calculades a partir de l'índex de població, amb dades des de l'any 1970 fins avui en dia. Amb aquestes dades i les dades del registre fòssil, es generen estimacions bastant pessimistes sobre

escenaris futurs (figura 17), en què les extincions tenen una gran rellevància i afecten un nombre significativament més elevat d'espècies.

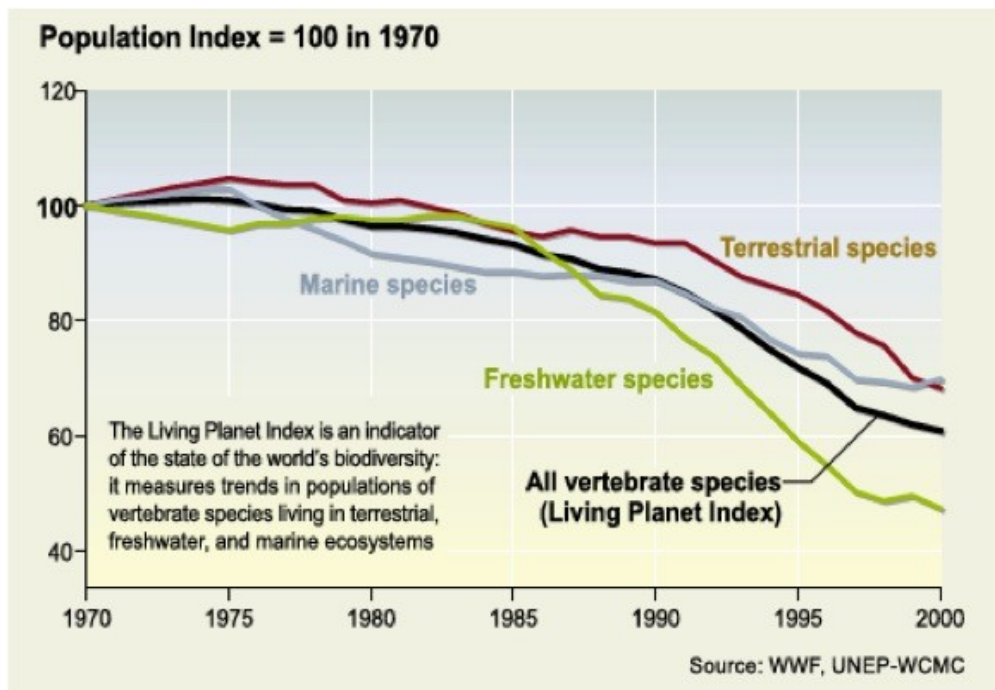


Figura 16. Descens de les poblacions de vertebrats.

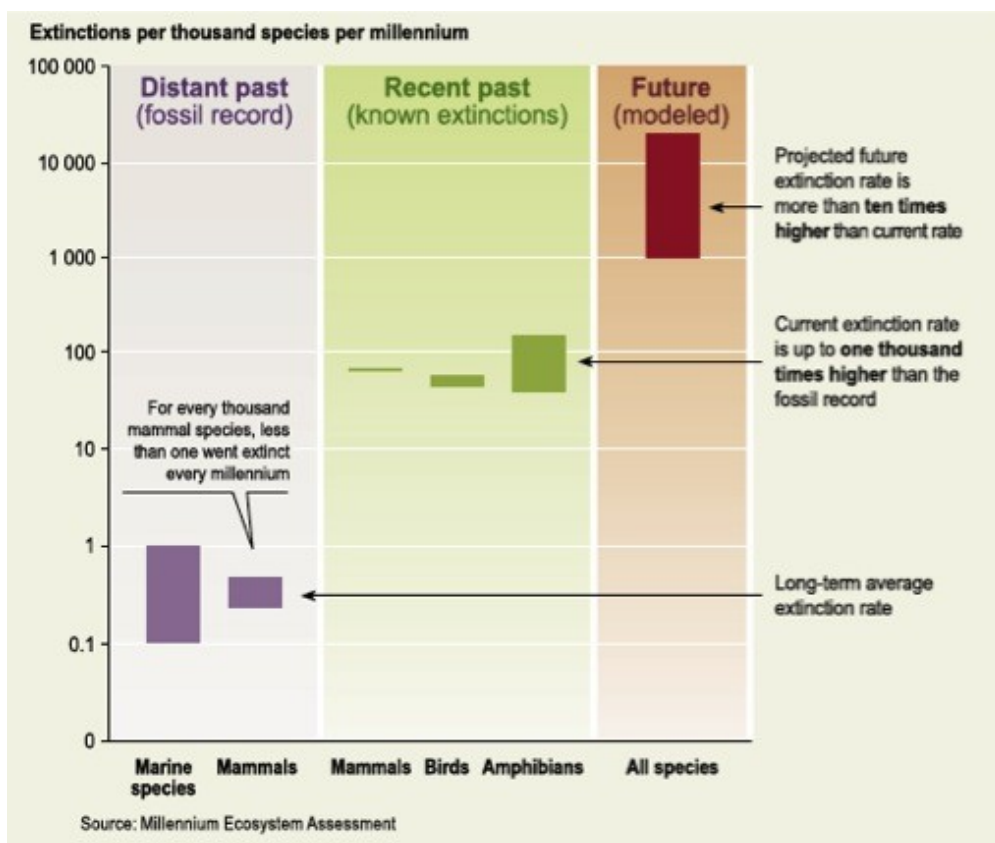


Figura 17. Previsions d'extincions massives per al futur. Font: Millennium Ecosystem Assessment.

El coneixement de la biodiversitat és un dels grans desafiaments per a la ciència. De fet, la cimera que es va celebrar recentment a Nagoya, [COP-10](#), va elevar la petició per declarar la Dècada de la Biodiversitat.

Coneixem encara molt poc sobre la biodiversitat que hi ha al planeta (figura 18) i, d'altra banda, anem veient que la pèrdua de biodiversitat també es correspon amb un deteriorament de les condicions socioeconòmiques de les comunitats (figura 19). Hem d'aprendre encara moltes coses sobre la manera de gestionar i protegir millor la biodiversitat. Necessitem noves aproximacions per optimitzar els usos múltiples de la biodiversitat, considerant els possibles conflictes.

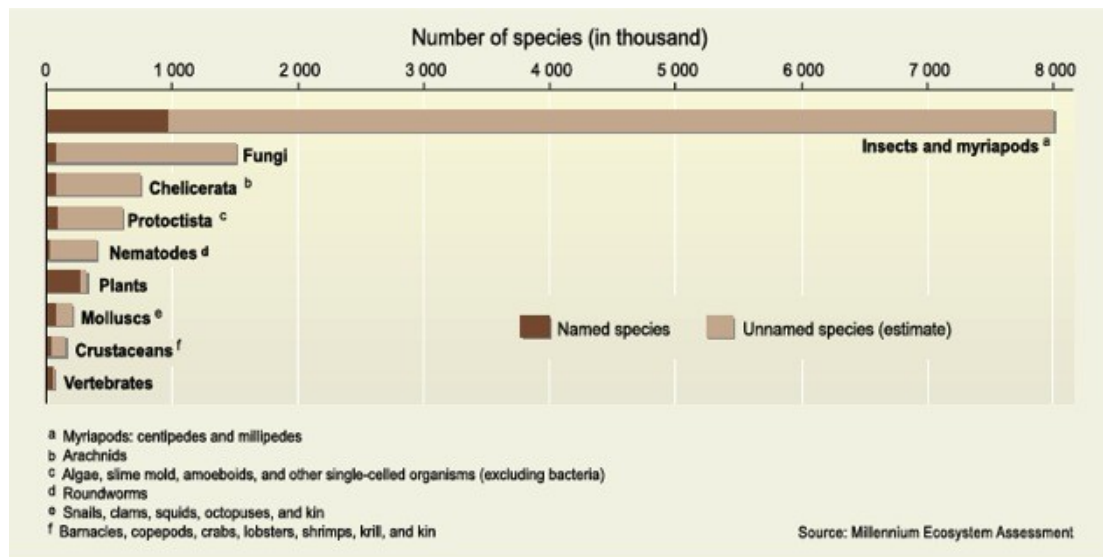


Figura 18. Quanta diversitat hi ha a la Terra?

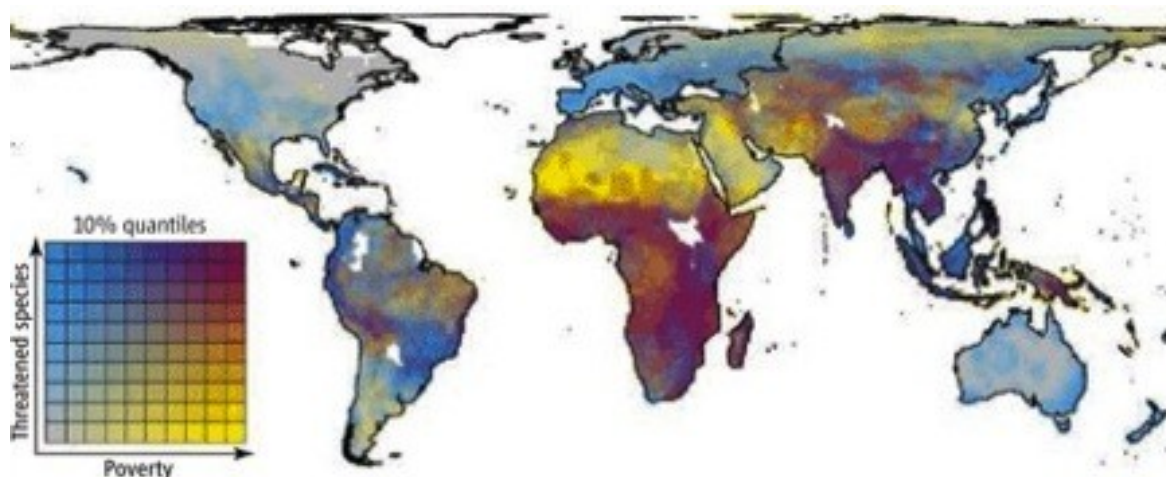
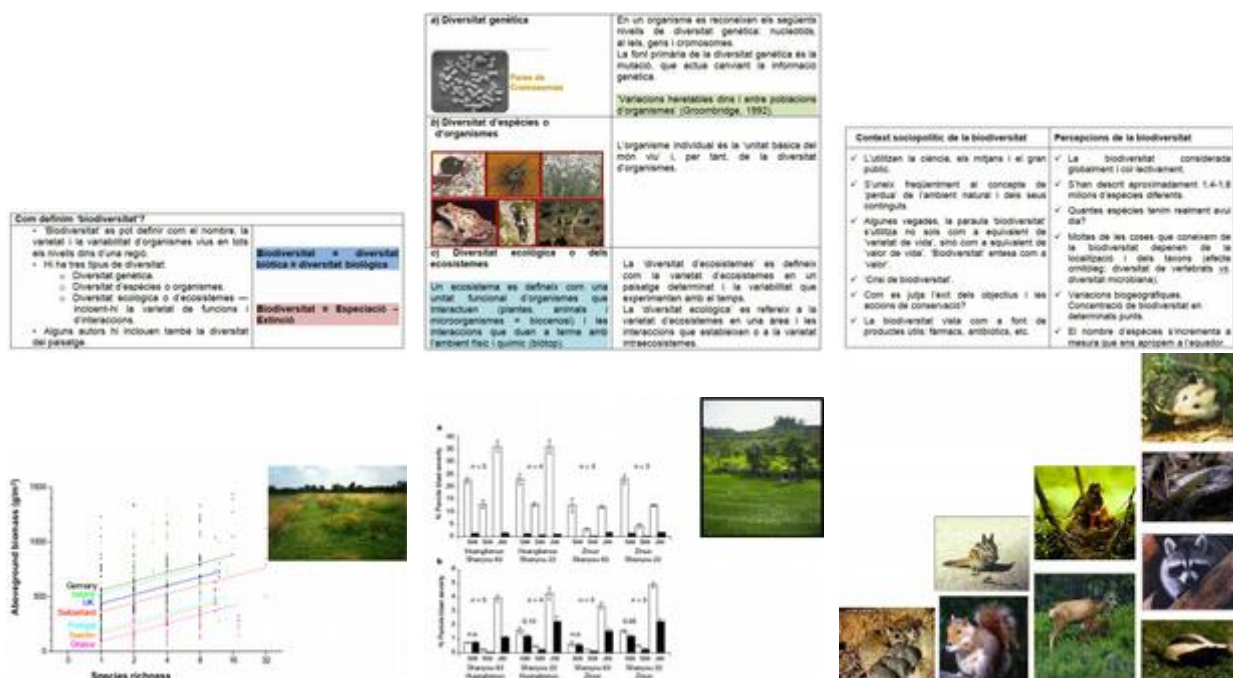
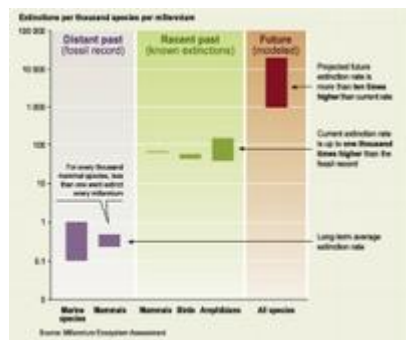
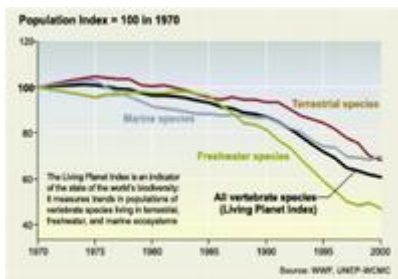
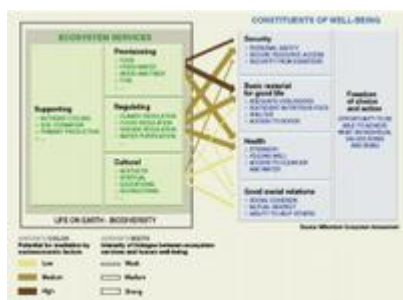
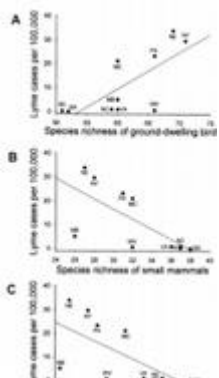


Figura 19. Mapa de pobresa i pèrdua potencial de la biodiversitat. Mostra el nivell de pobresa (aproximat pel logaritme de l'índex de mortalitat infantil humana) combinat amb el logaritme de registre d'espècies amenaçades de mamífers, ocells i amfibis pel quadrat de la quadrícula de l'u-grau (projecció d'igual àrea de Behrmann). Font: J. D. Sachs *et al.*, 'Science' (2009), 325, p. 1502-1503.





5. Dinàmica dels ecosistemes

La majoria de comunitats no són ni previsibles ni estables, sinó que són el resultat de la seva història. Gleason, a diferència del que defensava Clements —que creia que les comunitats eren entitats previsibles—, afirma el coneixement en dinàmica d'ecosistemes. El seu pensament es fonamenta en la idea que **les comunitats, de fet, es mantenen en un estat permanent de no-equilibri, a causa de les pertorbacions**.

Les pertorbacions afecten l'estructura i l'estabilitat de les comunitats. Hi ha pertorbacions naturals (foc —figura 20—, clima, inundacions, terratrèmols, etc.) i pertorbacions produïdes per les activitats humanes.

Les pertorbacions alteren comunitats, redueixen el nombre d'espècies i afecten la disponibilitat de recursos. L'estabilitat és l'habilitat d'una comunitat per persistir davant qualsevol pertorbació. En molts casos, les pertorbacions són necessàries per al desenvolupament i la supervivència de les comunitats.

El terme '**resiliència**' indica la capacitat de les comunitats i els ecosistemes per absorbir les pertorbacions, sense que n'alterin significativament les característiques d'estructura i funcionalitat. És a dir, les comunitats i els ecosistemes tornen a l'estat original una vegada la pertorbació ha acabat (Fox i Fox, 1986; Pimm, 1984; Keeley, 1986). En aquesta línia, s'observa que **comunitats o ecosistemes més complexos (que posseeixen un nombre més elevat d'interaccions entre les parts que els componen) solen posseir resiliències més elevades, ja que disposen d'una quantitat més elevada de mecanismes autoregulators**.

La capacitat de resiliència d'un ecosistema està directament relacionada amb la riquesa d'espècies. És a dir, un sistema els integrants del qual tenen més diversitat i un nombre més gran de funcions ecològiques és capaç de suportar millor una pertorbació específica.



Figura 20. Exemple de pertorbació (incendi) en un ecosistema i en un bosc.

Els humans som els agents causants de pertorbacions realment notòries i la urbanització és una de les pertorbacions que afecta de manera més significativa els processos naturals (figura 21).

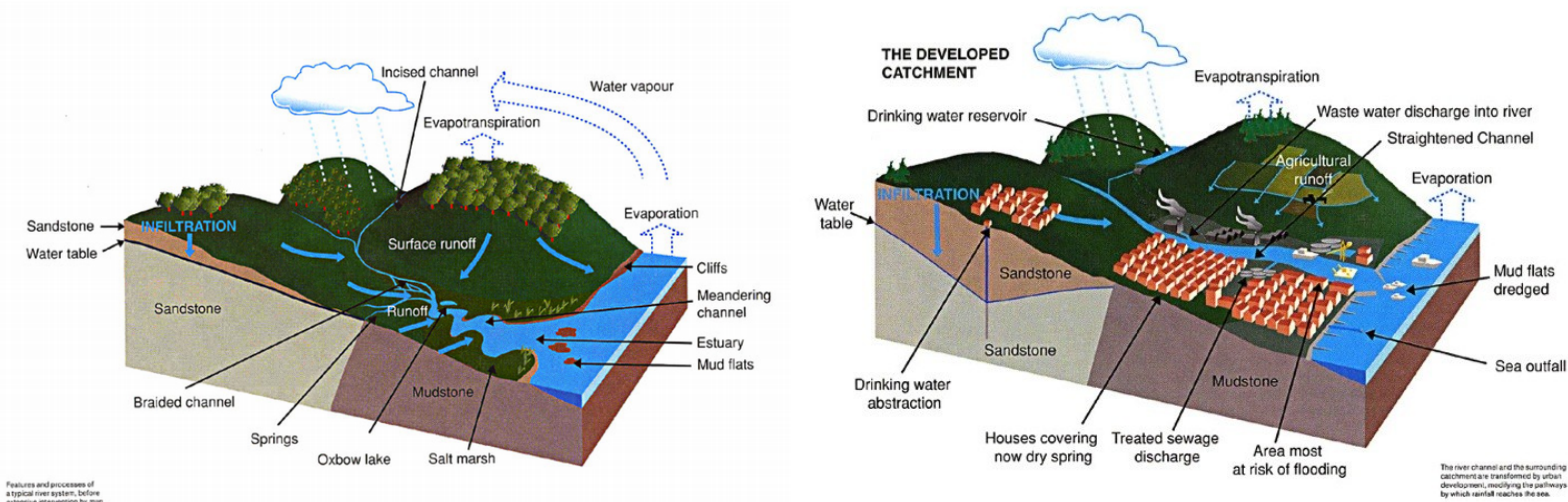


Figura 21. Procés d'urbanització d'una conca hidrogràfica, que passa d'una conca natural no alterada (a l'esquerra) a una conca altament alterada (a la dreta).

La successió és una seqüència de canvis en la comunitat després d'una pertorbació. Aquests canvis tenen lloc progressivament, de manera que es registra una transició en la composició de les espècies presents en la comunitat i augmenten la biomassa i la diversitat a mesura que es va avançant en la successió (figura 22).

Els canvis que es van generant en cada etapa de la successió acostumen a induir més canvis en la comunitat que en els organismes, fet que pot afectar la mateixa estructura, la composició, etc. Això es deu al fet que els organismes van canviant el medi, ja sigui a través de factors biòtics (competència, predació, etc.) o de factors abiòtics (ombra, nutrients, etc.).

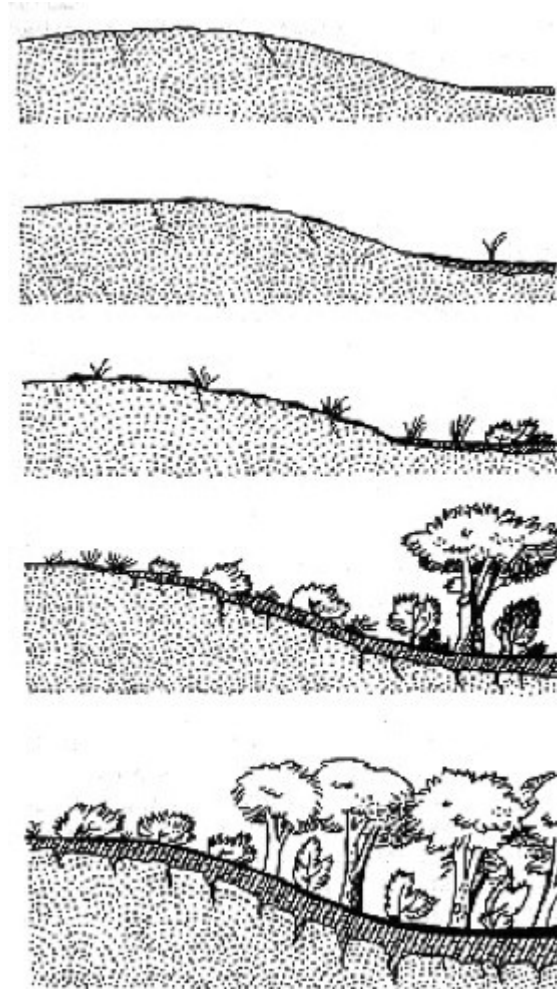
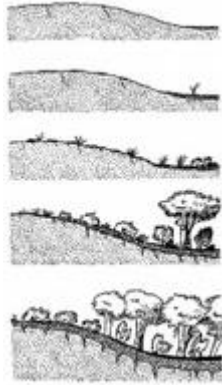


Figura 22. Successió ecològica.



6. Cicles biogeoquímics

Els organismes vius necessiten entre 30 i 40 elements químics, que varien quant a nombre i tipus segons cada espècie. No obstant això, veiem que tots els éssers vius compartim el carboni com l'element majoritari en la nostra constitució (figura 23), el nutrient bàsic i essencial.

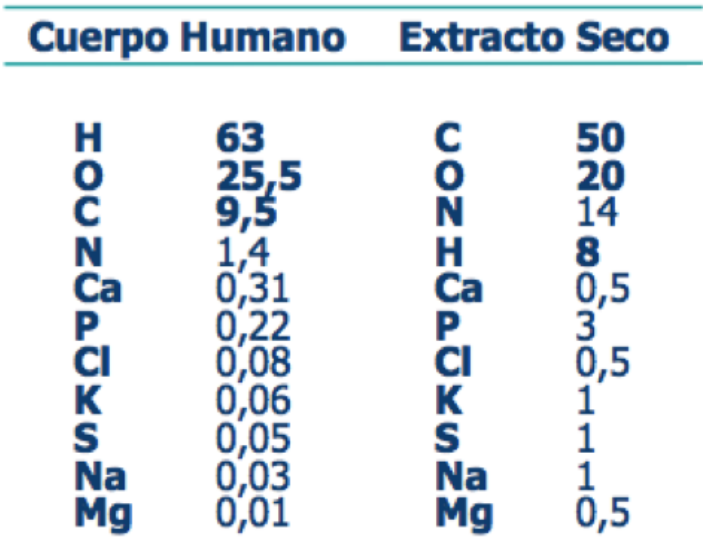


Figura 23. Composició elemental del cos humà (a l'esquerra) i extracte sec, una vegada tretat l'aigua.

La major part de les substàncies químiques de la terra no es troben en formes útils per als organismes. Però els elements com el carboni i tots els nutrients necessaris són ciclitats contínuament en formes complexes a través de les parts vives i no vives de la biosfera, les quals es converteixen en formes útils per una combinació de processos biològics, geològics i químics.

Es denomina 'cicle biogeoquímic' el moviment de quantitats massives de nutrients —com ara carboni, nitrogen, oxigen, hidrogen, calci, sofre, fòsfor i altres elements— entre els components vivents i no vivents de l'ambient (atmosfera i sistemes aquàtics), mitjançant una sèrie de processos de producció i descomposició. El cicle dels nutrients des de la biota (en l'atmosfera, la hidrosfera i l'escorça de la Terra) fins a la biota, i viceversa, té lloc en els cicles biogeoquímics (de 'bio': 'vida', i 'geo': 'a la terra'). El terme 'cicle biogeoquímic' deriva del moviment cíclic dels elements que formen els organismes biològics ('bio') i l'ambient geològic ('geo') i que intervenen en un canvi químic.

Els elements estan disponibles perquè els utilitzin una vegada rere l'altra altres organismes; sense aquests cicles, els éssers vius s'extingirien.

Hi ha tres tipus de cicles biogeoquímics interconnectats.

Taula 11.

Cicle gasós	Els nutrients circulen, principalment, entre l'atmosfera i els organismes vius. En la majoria d'aquests cicles els elements són reciclats ràpidament —generalment al cap d'unes quantes hores o uns quants dies. Els principals cicles gasosos són els del carboni, l'oxigen i el nitrogen.
Cicle sedimentari	Els nutrients circulen entre l'escorça terrestre (sòl, roques i sediments), la hidrosfera i els organismes vius. Els elements, generalment, es reciclen molt més lentament que en el cicle atmosfèric, perquè són retinguts a les roques sedimentàries durant un llarg temps geològic (de desenes a milers de mil·lennis i no tenen una fase gasosa). El fòsfor i el sofre en són dos exemples.
Cicle hidrològic	En el cicle hidrològic, l'aigua circula entre l'oceà, l'aire, la terra i la biota. Aquest cicle també distribueix la calor solar sobre la superfície del planeta.

El temps de permanència dels elements en els diferents subsistemes és molt variable. S'anomena 'reserva' el lloc on la permanència és màxima.

Les activitats humanes ocasionen l'obertura i l'acceleració dels cicles, cosa que contravé el principi de sostenibilitat de reciclar al màxim la matèria. Això origina que s'escapin nutrients i es produeixin deixalles.

Cuerpo Humano		Extracto Seco	
H	63	C	50
O	25,5	O	20
C	9,5	N	14
N	1,4	H	8
Ca	0,31	Ca	0,5
P	0,22	P	3
Cl	0,08	Cl	0,5
K	0,06	K	1
S	0,05	S	1
Na	0,03	Na	1
Mg	0,01	Mg	0,5

6.1. Cicle del carboni

És el pilar bàsic de la formació de les molècules de carbohidrats, lípids, proteïnes i àcids nucleics, ja que totes les molècules orgàniques estan formades per cadenes de carbonis enllaçats. Es coneixen prop de deu milions de compostos de carboni, el qual forma part de tots els éssers vius coneguts.

La **reserva fonamental de carboni** (on aquest es troba en forma de molècules de CO_2 que els éssers vius poden assimilar) està integrada per l'**atmosfera i la hidrosfera** (figura 24).

Cada any, aproximadament un 5 % d'aquestes reserves de CO_2 es consumeixen en els **processos de fotosíntesi** (tot l'anhidrid carbònic es renova a l'atmosfera cada vint anys). La tornada de CO_2 a l'atmosfera té lloc quan, en el procés de **respiració, els éssers vius** oxiden els aliments i produeixen CO_2 .

En el conjunt de la biosfera la major part de la respiració la fan les arrels de les plantes i els organismes del sòl, i no, com podria semblar, els animals més visibles. Els éssers vius aquàtics prenen el CO_2 de l'aigua. La solubilitat d'aquest gas a l'aigua és molt superior a la de l'aire.

Els principals processos en el cicle del carboni són (figura 24):

• Processos biològics:

Assimilació (fotosíntesi) - Respiració - 1.017 g/C.

• Processos físics:

Intercanvi de CO_2 entre l'atmosfera i l'aigua.

Dissolució ràpida del CO_2 a l'aigua.

Intercanvi entre aire-aigua, cosa que uneix els ecosistemes aquàtics i terrestres.

• Dissolució i precipitació de carbonats:

Formació de sediments.

Globalment, hi ha un equilibri entre els processos de dissolució i precipitació (però, històricament, hi ha més deposició).

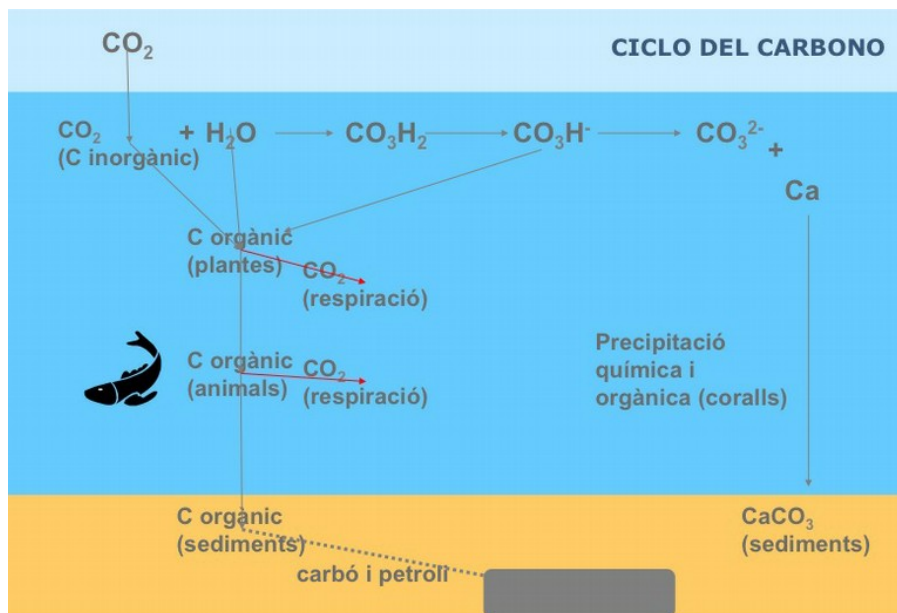


Figura 24. Cicle del carboni, en les fases atmosfèriques, aigua i sòl.

Unes tres quartes parts del carboni estan acumulades a les roques sedimentàries (carboni inorgànic, com a carbonat càlcic) (figures 25 i 26). La quarta part restant és present a les roques en forma orgànica. Aquesta última part es troba en forma de carboni orgànic que es fossilitza i genera els combustibles fòssils. Per tant, en realitat, tota la resta del carboni representa menys de l'1 %.

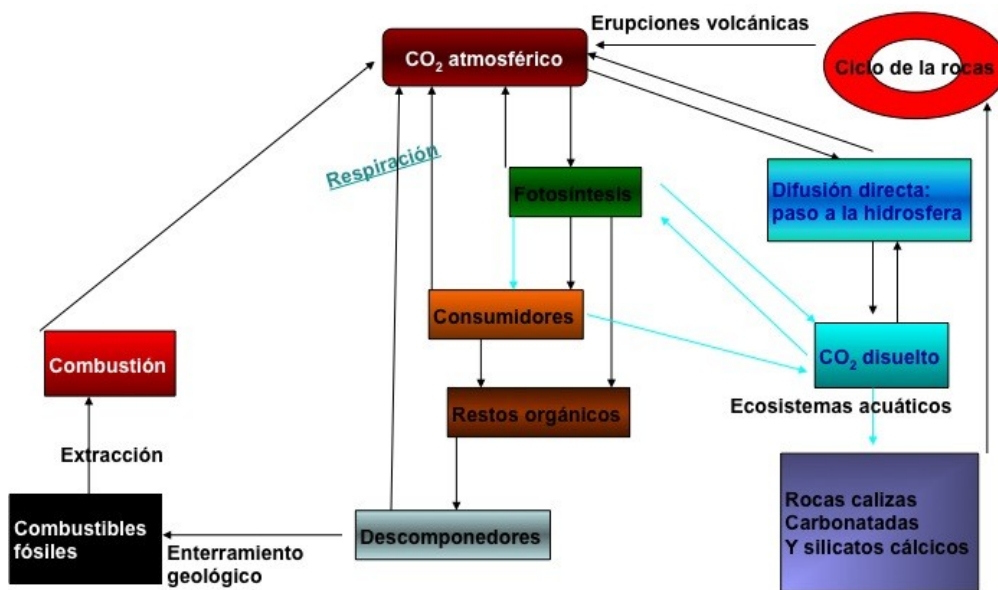


Figura 25. Cicle del carboni: connexió entre les fases abiòtica i biòtica.

Dades històriques obtingudes des de la dècada de 1950 a l'observatori de Mauna Loa, a Hawaii, han certificat un augment significatiu de la concentració atmosfèrica de CO_2 (figura 27). Les dades obtingudes durant els últims vint anys, malgrat el Tractat de Kyoto, constaten que aquest increment continua (figura 27).

Global Carbon Reservoirs and Turnover Times

	10^{15} g C	Turnover time
Sediments, rocks	77×10^6	$\gg 10^6$ y
Deep ocean (DIC)	38000	2000 y
Soils	1500	$< 10 - 10^5$ y
Surface ocean	1000	decades
Atmosphere	750	3-5 y
Deep ocean (DOC)	700	5000 y
Terrestrial biomass	550-680	50 y
Surface sediments	150	0.1-1000 y
Marine biomass	2	0.1-1 y

Figura 26. Reservoirs globals de carboni. Font: W. S. Reeburgh (1997).

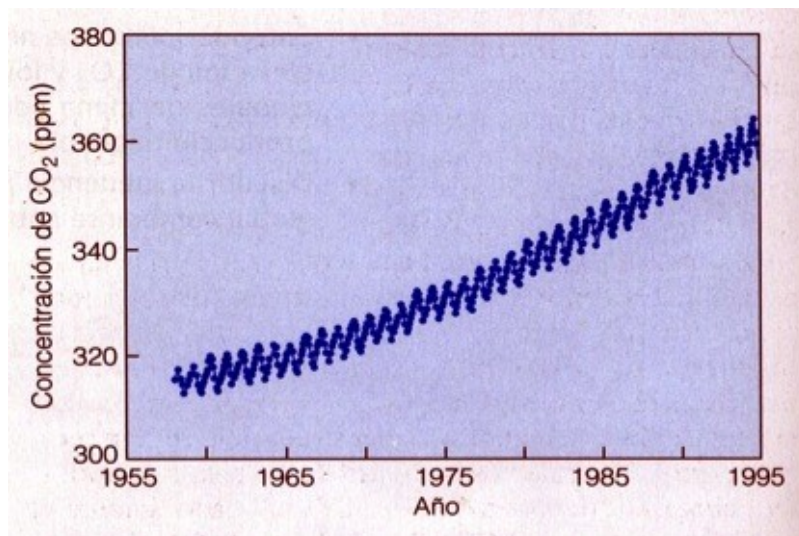


Figura 27. Concentració atmosfèrica de CO₂ (a l'esquerra) a l'observatori de Mauna Loa, Hawaii. Els punts indiquen mitjanes mensuals. A la dreta, increment de CO₂ i CH₄ durant els últims 25 anys.

A més de les implicacions ecològiques directes per a la fotosíntesi, l'augment de CO₂ pot repercutir, pels **efectes indirectes, en els canvis climàtics, com a conseqüència de l'increment de les temperatures i la variació en el règim de precipitacions**. Com veiem en la figura 28, s'ha registrat un augment significatiu de la temperatura durant els últims cinquanta anys. Aquest increment no es correlaciona amb models que inclouen només fenòmens naturals (anomalies solars i vulcanisme), però sí que s'observa una correlació significativa quan s'afegeixen fenòmens antropogènics al model (figura 29).

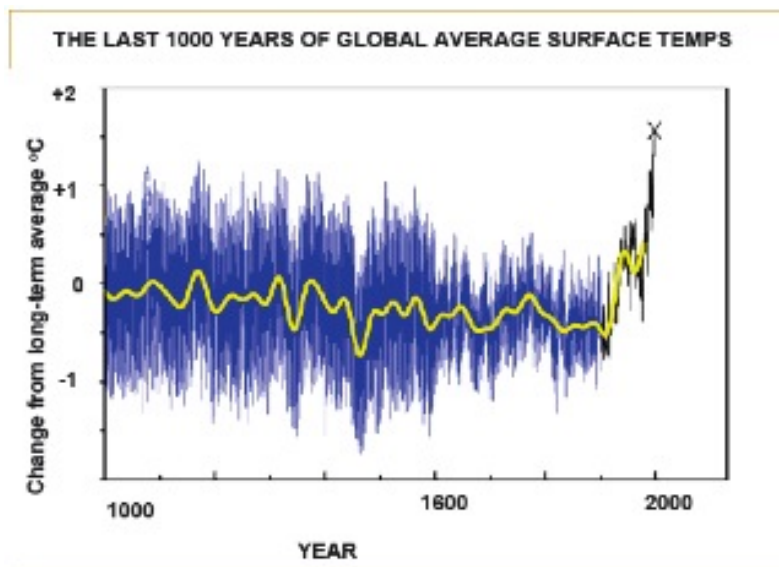


Figura 28. Temperatures mitjanes a la superfície durant els últims mil anys (4t informe IPCC).

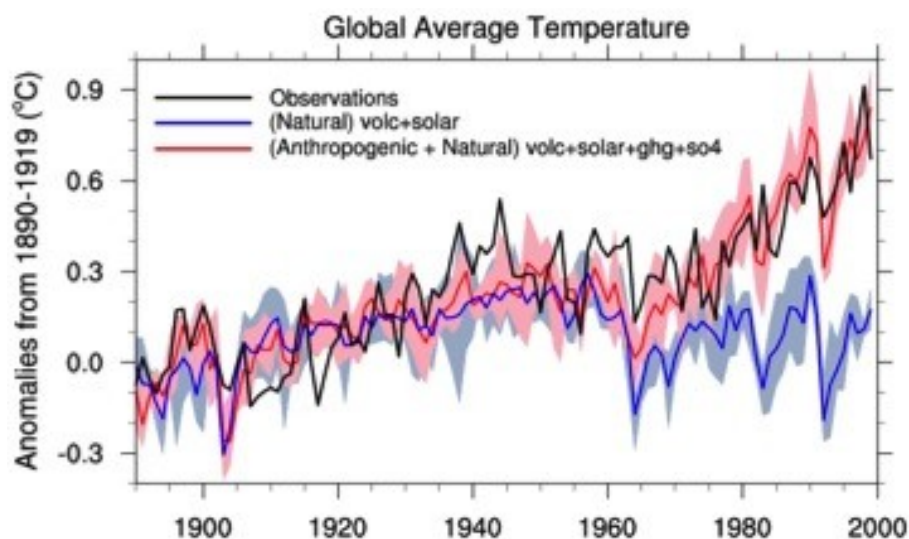


Figura 29. Simulació de la temperatura durant el segle XX (James Hurrell).

Alguns dels efectes indirectes causats per aquest increment de temperatura són la fusió de les glaceres (figura 30) i l'increment del nivell del mar (figura 31). Aquests canvis ambientals també repercuteixen en canvis en la distribució d'espècies. D'acord amb una projecció, si les emissions de CO_2 es dupliquen entre el 1990 i el 2050, les fagedes que actualment estan distribuïdes per tot el sud-est dels Estats Units només sobreviuran en un estret territori al nord-est de Maine i al sud-est del Canadà (figura 32).

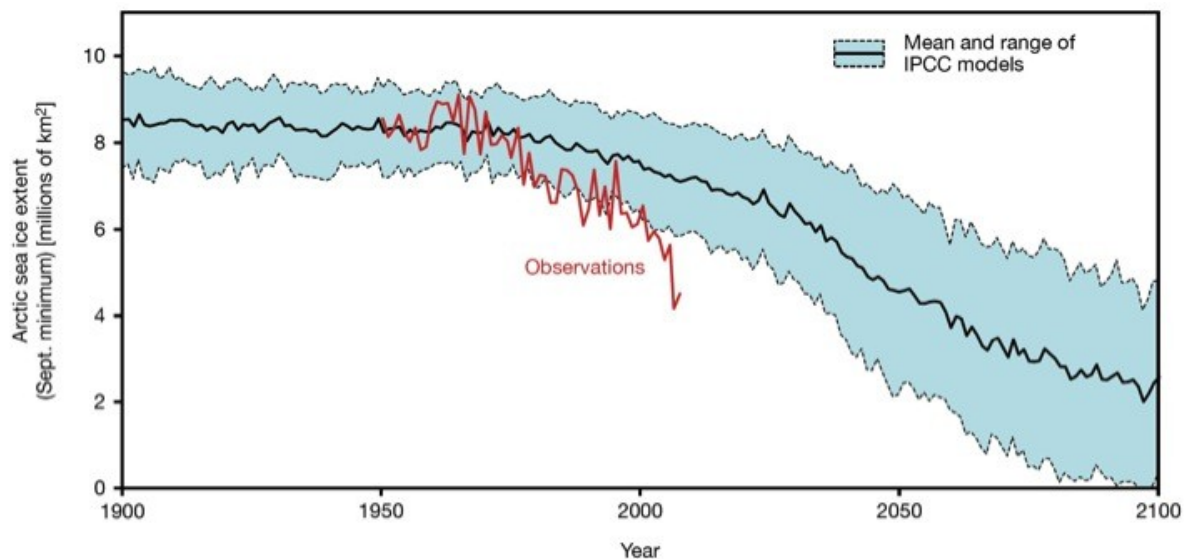


Figura 30. Nivell del gel a l'Àrtic. Font: copenhagendiagnosis.com

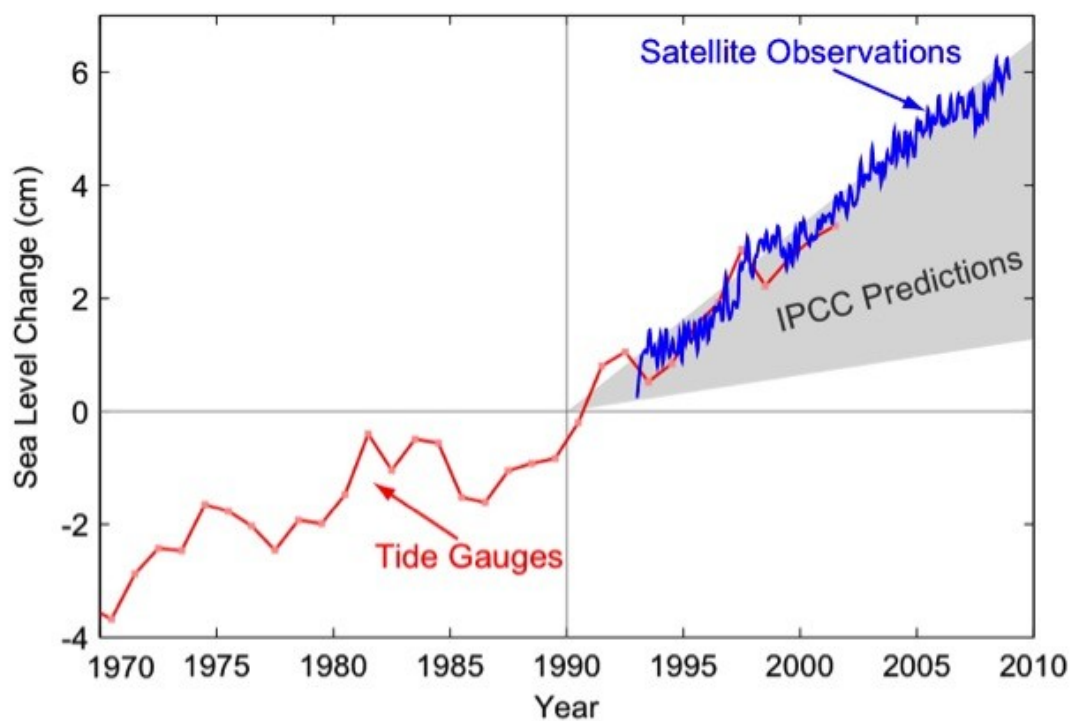


Figura 31. Canvi del nivell del mar entre el 1970 i el 2010. Font: copenhagendiagnosis.com

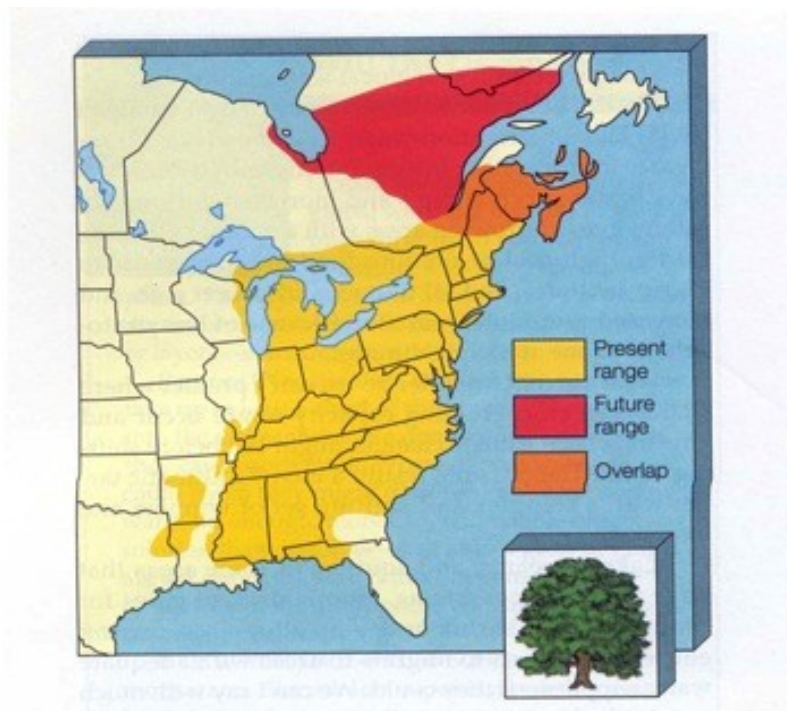
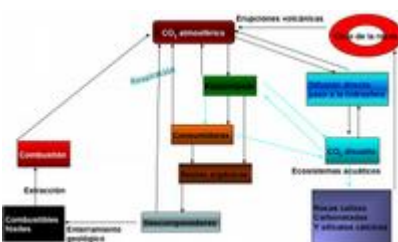
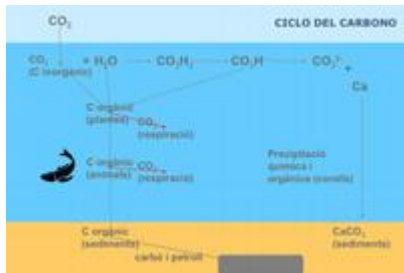
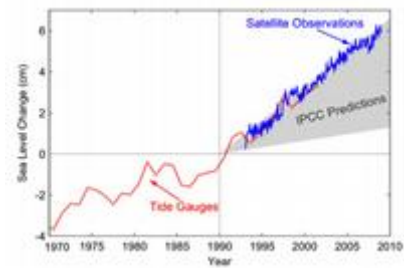
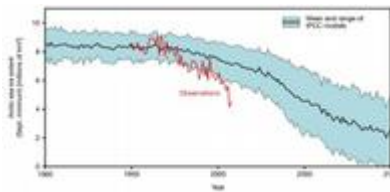
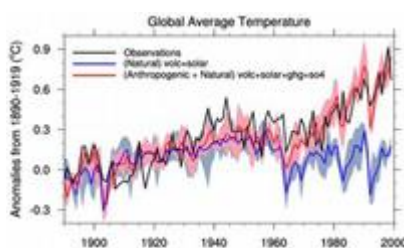
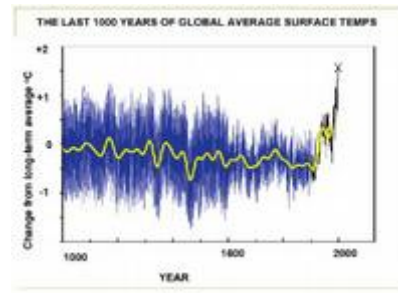
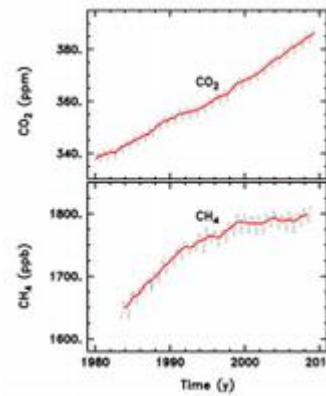
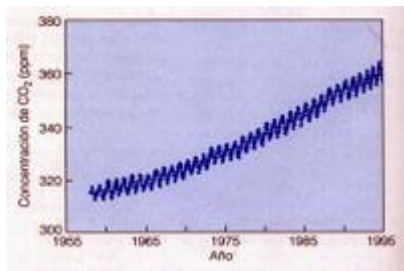


Figura 32. Canvis en la distribució d'espècies (el cas de les fagedes al nord-est dels Estats Units).



	10 ¹⁵ g C	Turnover time
Sediments, rocks	77x10 ¹⁵	>>10 ⁶ y
Deep ocean (DIC)	38000	2000 y
Soils	1500	<10-10 ³ y
Surface ocean	1000	decades
Atmosphere	750	3-5 y
Deep ocean (DOC)	700	5000 y
Terrestrial biomass	550-680	50 y
Surface sediments	150	0.1-1000 y
Marine biomass	2	0.1-1 y





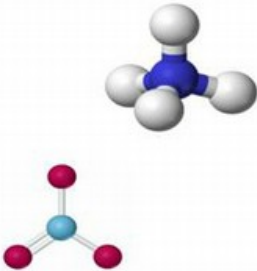
6.2. El cicle del nitrogen: tendències recents, problemes i solucions. Eutrofització

El cicle del nitrogen és un dels cicles biogeoquímics més importants, en el qual els **bacteris** són els actors principals. El moviment del N es registra entre l'**atmosfera**, la **biosfera** i la **geosfera** en les diferents formes que pren (figura 33).

Taula 12

El nitrogen és necessari perquè tots els organismes es mantinguin vius i creixin. És un component essencial dels àcids nucleics (ADN, ARN) i dels aminoàcids.	
Constitueix el 78 % de l'aire atmosfèric.	
La majoria dels organismes no poden utilitzar el nitrogen atmosfèric.	
Versàtil, estats inorgànics i orgànics, i diferents compostos i estats d'oxidació.	

Taula 13. Font: [Viquipèdia](#)

Formes del nitrogen	
Orgànic: Proteïnes i àcids nucleics. No és assimilable per a les plantes. Retingut en el sòl durant molt temps.	 NADH (N de color blau)
Inorgànic: Amoni (NH ₄) retingut pel sòl. Nitrit (NO ₂ ⁻) (minoritari). No retingut (mòbil amb l'aigua). Tòxic per a plantes i animals. Nitrat (NO ₃ ⁻) (majoritari). No retingut (mòbil amb l'aigua). Principal font de N per a les plantes.	

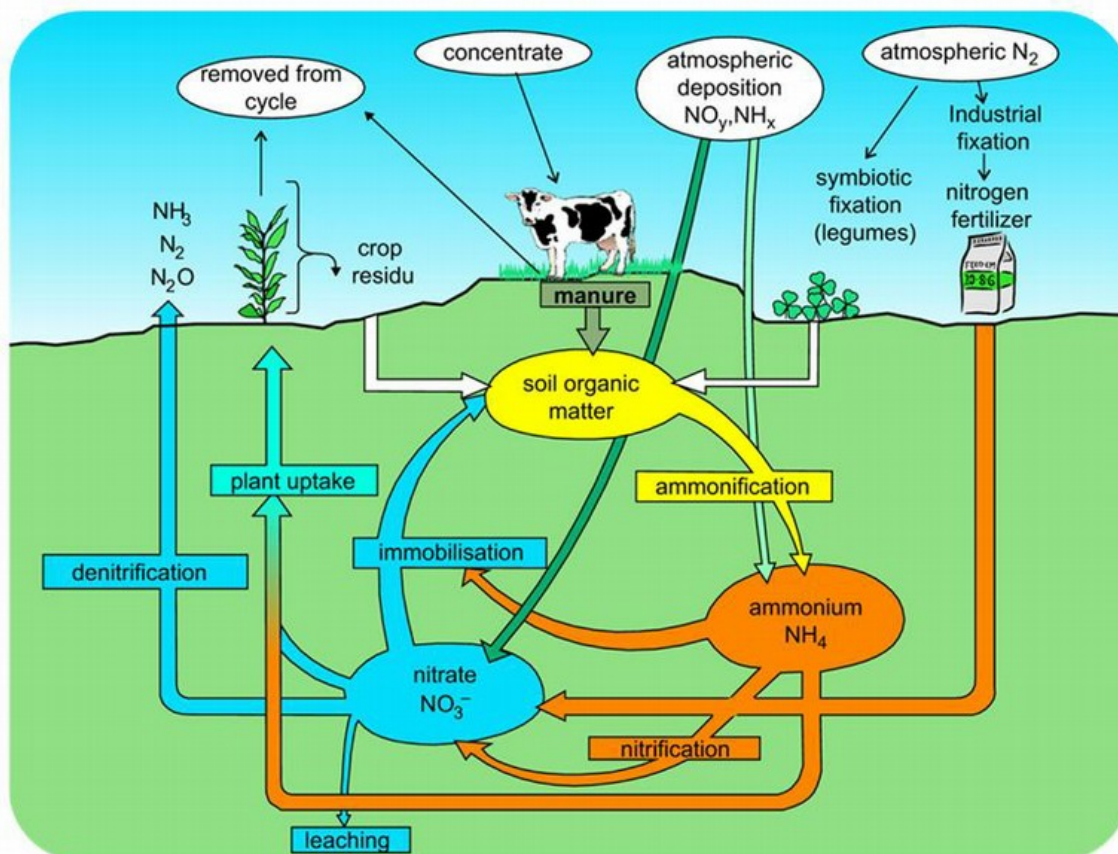


Figura 33. Cicle global del nitrogen.

El nitrogen procedeix de diferents fonts (vegeu la taula 14).

Taula 14. Principals processos del cicle del nitrogen.

Fixació	El N_2 (atmosfèric) es transforma en amoni (NH_4^+). Dos tipus de fixació: abiòtica i biòtica.
	Fixació abiòtica. Fenòmens naturals d'alta energia (llampecs, focs forestals i fluxos de lava). L'alta energia pot trencar els enllaços triples de molècules de N_2 i generar àtoms individuals de N que es podran transformar.
	Fixació biològica. A través de fixació simbiòtica, amb bacteris en simbiosi amb plantes (<i>Rhizobium</i> , lleguminoses), en què la planta proporciona nutrients als bacteris i aquests fixen el nitrogen a través de la planta. Així, l'alfals fixa 150-200 kg de N/Ha, mentre que les mongetes fixen 30-50 kg de N/Ha. En la fixació no simbiòtica, la fixació la fan bacteris de vida lliure, com els cianobacteris (10-50 kg N/Ha), <i>Azotobacter</i> i <i>Clostridium</i> (5-20 kg de N/Ha).
Assimilació	En la incorporació del nitrogen, el NH_4 (amoni) es transforma en nitrogen orgànic. L'amoni produït és incorporat ràpidament en proteïnes i altres compostos de nitrogen orgànic a través de la planta amfitriona, el mateix bacteri o un altre organisme del sòl. Posteriorment, és incorporat per organismes situats més amunt de la cadena alimentària (herbívors, carnívors...).
Mineralització o amonificació	El N orgànic es torna a convertir en N inorgànic a través del procés de mineralització.
	Quan els organismes moren, els bacteris de descomposició consumeixen la matèria orgànica i una quantitat significativa del N contingut en l'organisme mort es transforma en amoni.
Nitrificació	Una part de l'amoni produït per la descomposició es converteix en nitrat (NO_3^-).
	La nitrificació requereix que hi hagi oxigen. Per tant, es duu a terme en ambients rics en oxigen (aigües que circulen o que flueixen i les capes de la superfície dels sòls i sediments).
	La càrrega positiva dels ions d'amoni evita que aquest sigui lixiviat del sòl per les pluges. Per contra, l'ió de nitrat amb càrrega negativa pot ser lixiviat del sòl, cosa que en fa disminuir la fertilitat i enriqueix de nitrat les aigües corrents de la superfície i del subsòl.
Desnitrificació	Les formes oxidades, com ara el nitrat i el nitrit (NO_2^-) es converteixen en dinitrogen (N_2) i, en una quantitat inferior, en gas òxid nitrós (N_2O).
	Generació d'amoníac (NH_3).
	L'òxid nítric (NO) i el N_2O tenen repercussions importants en l'ambient. El NO contribueix a formar boirum i el N_2O és un gas d'efecte hivernacle important.

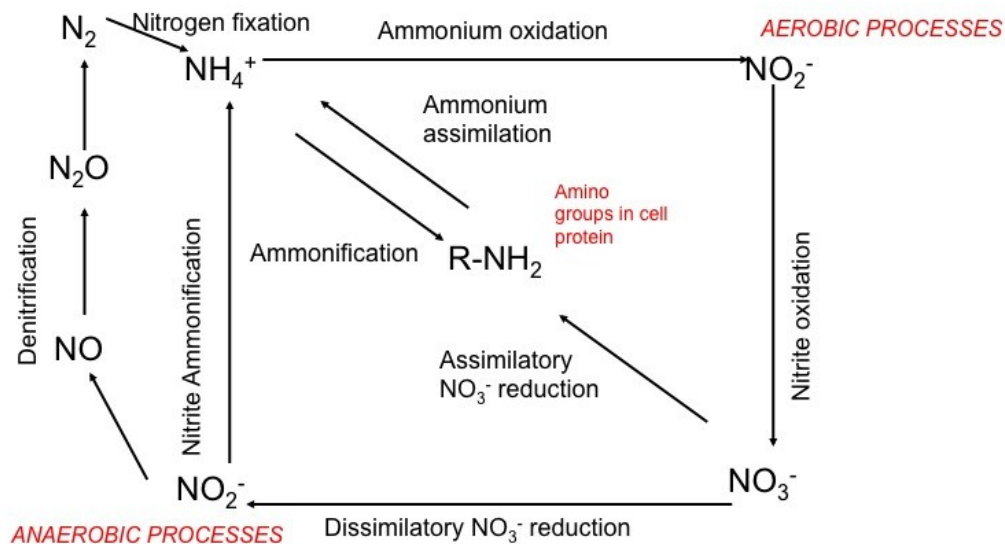
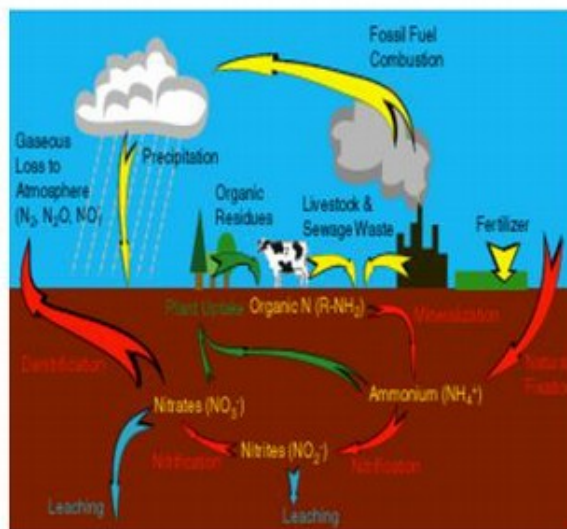


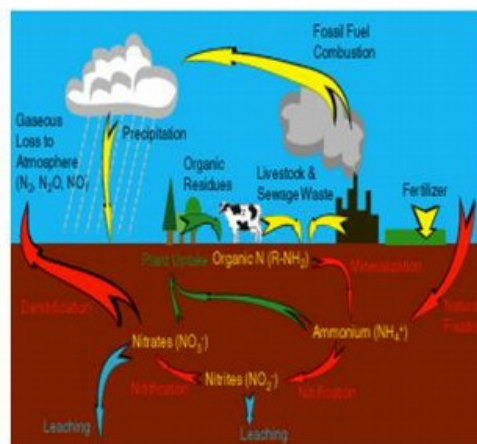
Figura 34. Principals processos del cicle global del nitrogen.

- **Fonts humanes de nitrogen per a l'ambient** (fletxes grogues).
- **Transformacions microbianes** (fletxes vermelles).
- **Forces físiques que actuen sobre el nitrogen** (fletxes blaves).
- **Processos naturals no microbianes** (fletxes verdes).



Taula 15. Font: visionlearning.com

- **Fonts humanes de nitrogen per a l'ambient** (fletxes grogues).
- **Transformacions microbianes** (fletxes vermelles).
- **Forces físiques que actuen sobre el nitrogen** (fletxes blaves).
- **Processos naturals no microbianes** (fletxes verdes).



L'home utilitza el nitrogen per a múltiples aplicacions:

- En fertilitzants.
- Com a base per a explosius, combustibles espacials i militars, etc.
- En medicaments i medicina.

- Per al gas del riure.
- Per a usos industrials per crear atmosferes protectores de l'oxidació i com a conservant.

Taula 16. El nitrogen en els ecosistemes

És un factor de creixement.	Exerceix com a nutrient.
	Presenta efectes tòxics a partir d'una certa concentració. L'Organització Mundial de la Salut (OMS) i la Unió Europea (UE) marquen nivells màxims permissibles).
Genera canvis en el funcionament d'alguns organismes.	
Produeix eutrofització.	

Taula 17. Nivells de nitrogen en aigües potables

OMS	• Amoni: 0,2 mg/l. • Nitrats i nitrits: 50 mg/l.
UE	• Amoni: 0,50 mg/l. • Nitrats: 50 mg/l. • Nitrits: 0,50 mg/l.

Un 80 % del nitrogen atmosfèric reactiu que es diposita a la superfície dels grans oceans és d'origen antropogènic. La conversió de N₂ atmosfèric en formes reactives que provoquen les activitats humanes és superior a la que causen tots els processos naturals combinats. Això té lloc a través de quatre processos (figures 35 i 36):

1. Fixació industrial de N₂ atmosfèric en amoníac (aproximadament, 80 Mt N any⁻¹).
2. Fixació agrícola de N₂ atmosfèric via cultius de lleguminoses (aproximadament, 40 Mt N any⁻¹).
3. Crema de combustibles fòssils (aproximadament, 20 Mt N any⁻¹).
4. Crema de biomassa (aproximadament, 10 Mt N any⁻¹).

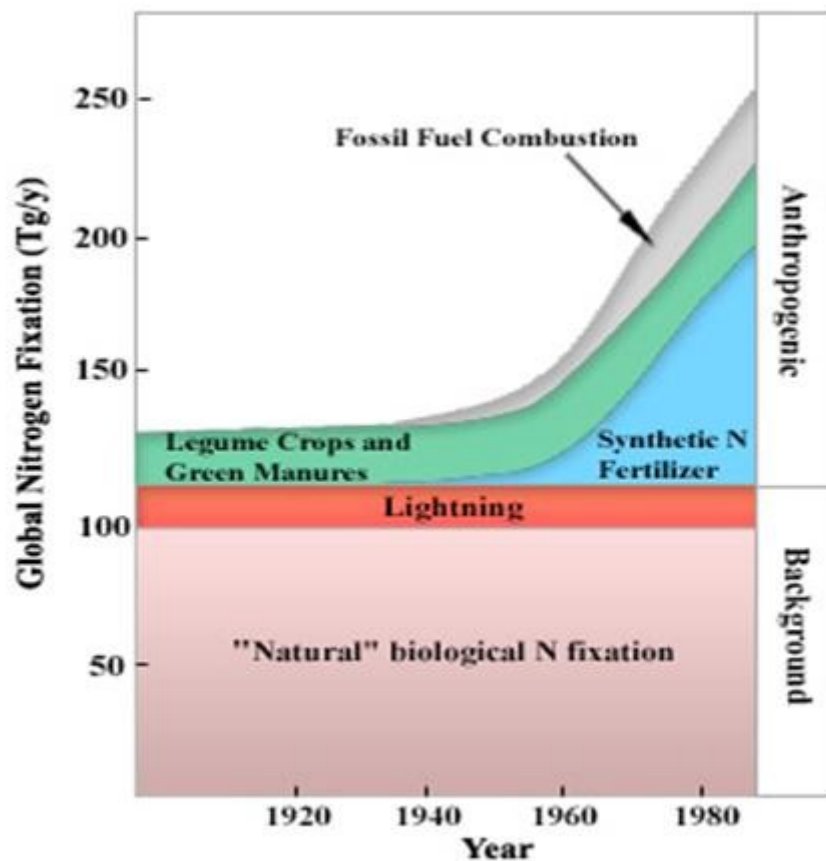


Figura 35. Fixació global del nitrogen. Modificat a partir de P. M. Vitousek i P. A. Matson (1993), 'Agriculture, the global nitrogen cycle, and trace gas flux', Nova York, The Biogeochemistry of Global Change: Radiative Trace Gases, R. S. Oremland, Chapman and Hall, p. 193-208.

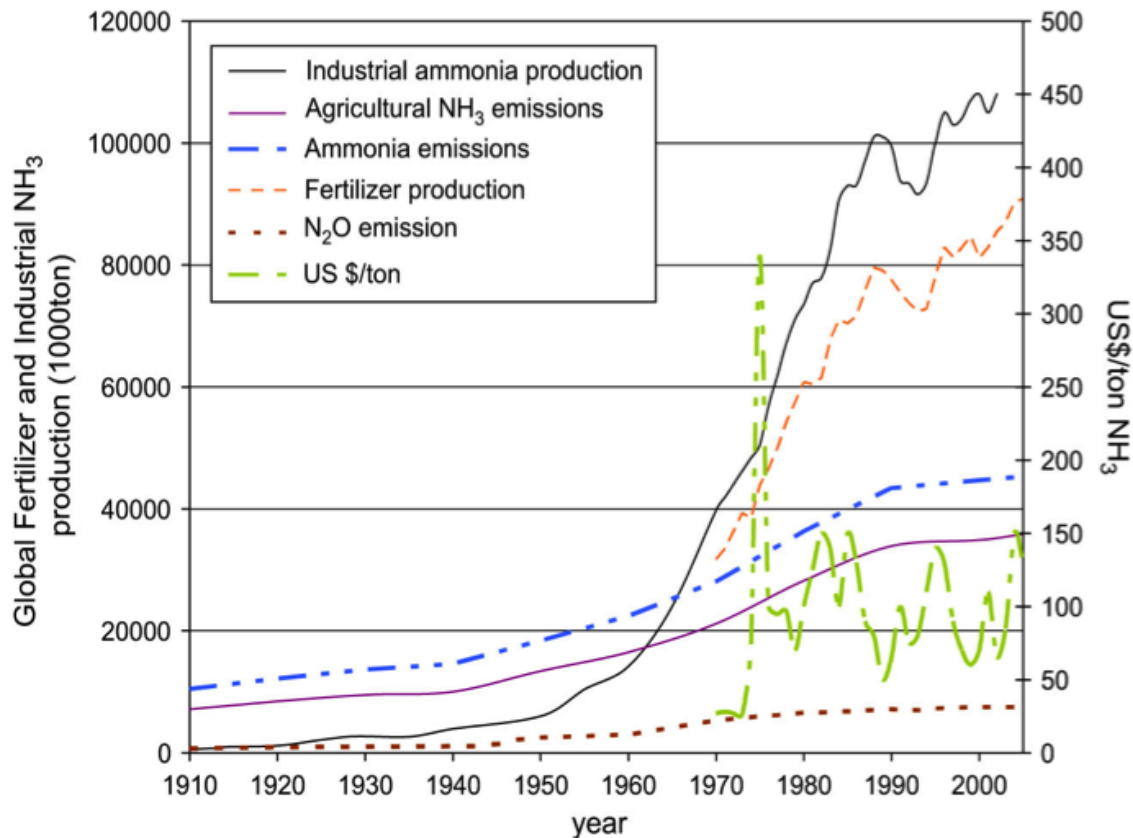


Figura 36. Producció antropogènica de formes reactives del nitrogen.

"Hi ha dos problemes principals amb el N (figura 37): **algunes regions del món no tenen suficient N reactiu per sostenir la vida humana**, la qual cosa genera fam i malnutrició, **mentre que altres regions tenen massa N** (principalment a causa de la crema de combustibles fòssils i la incorporació ineficient del N en els productes alimentaris), cosa que genera un gran nombre d'efectes ecològics i en la salut humana" (Erisman *et al.*, 2007).

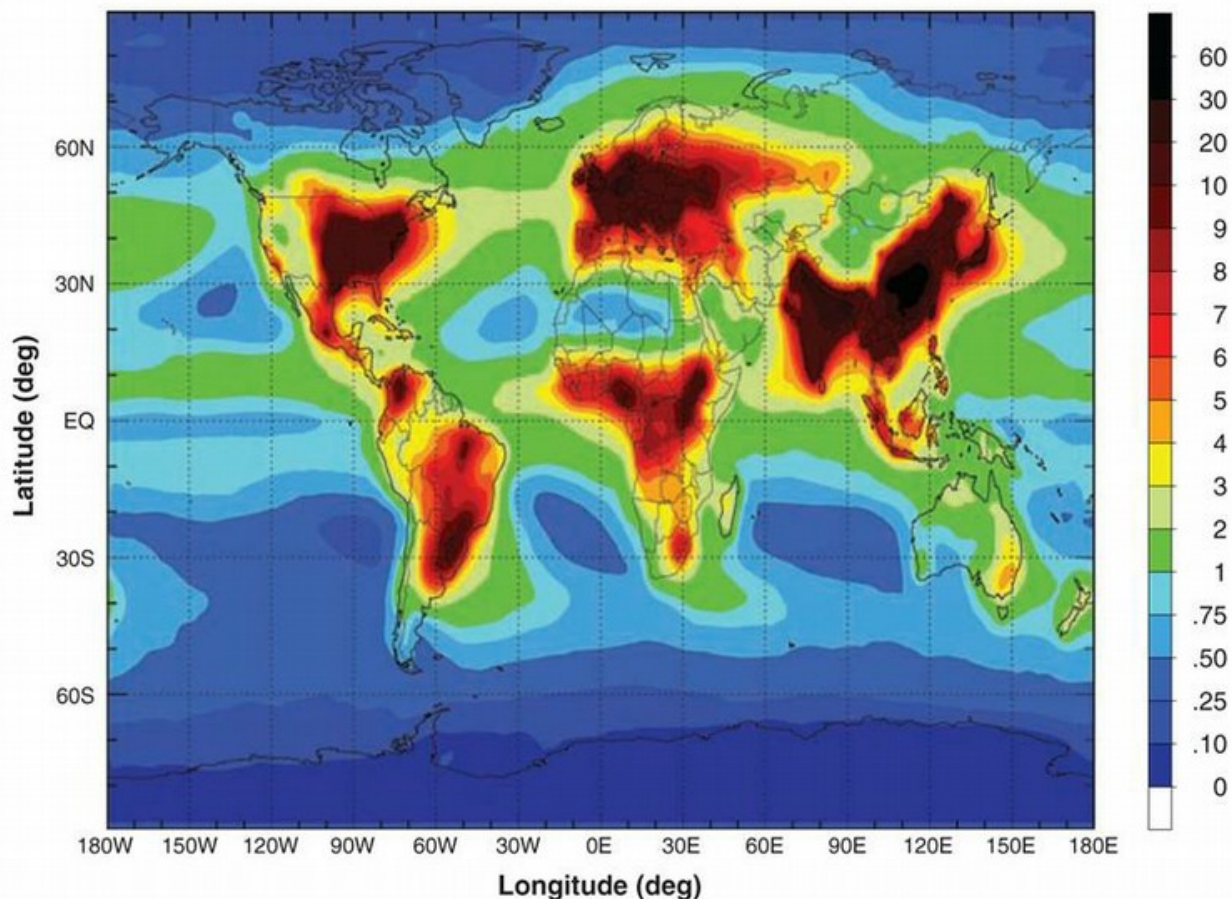
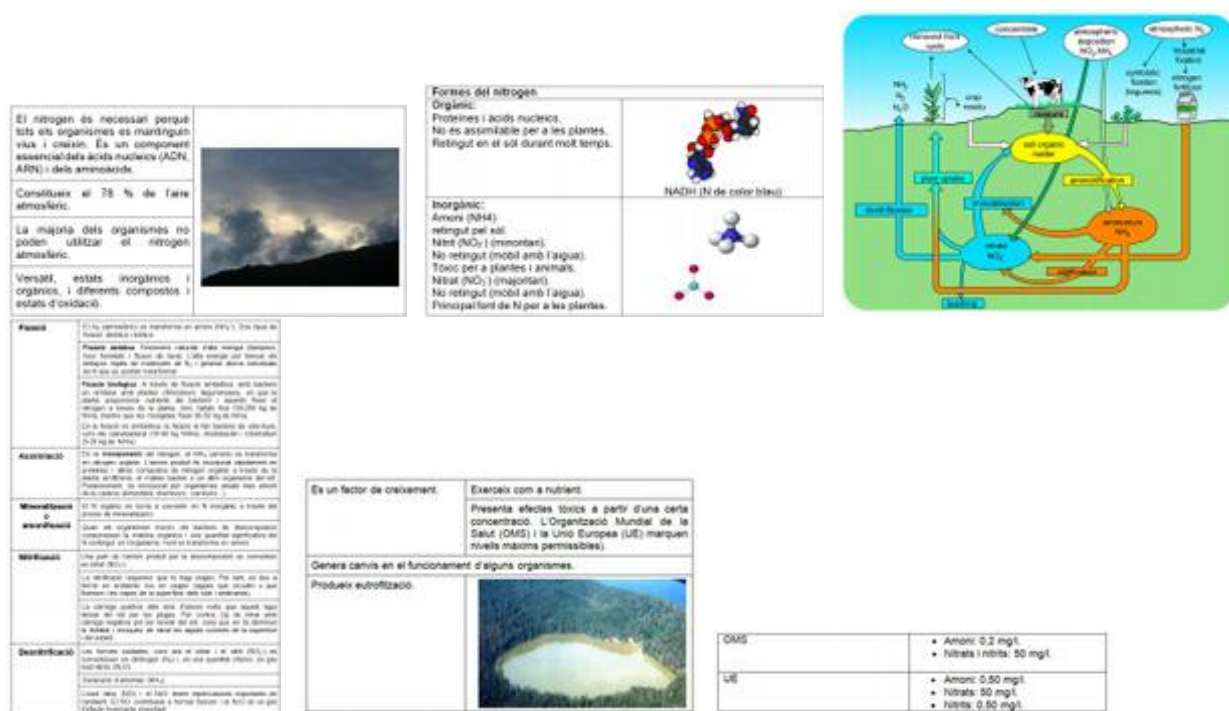


Figura 37. Estimació d'emissions globals de N. Els ecosistemes sense influència antropogènica presenten emissions de $0,5 \text{ kg N ha}^{-1}$, mentre que en zones amb influència antropogènica arriben a 10 kg N ha^{-1} (i s'estima que el 2050 se situaran per sobre dels 50 kg N ha^{-1}).



7. Reflexions i discussió

En finalitzar l'assignatura, l'alumnat ha de disposar dels elements clau en el desenvolupament històric del pensament ecològic i ha d'estar familiaritzat amb els mètodes i les tècniques d'ús comú en aquesta disciplina.

L'alumnat ha d'adquirir un cos de coneixements bàsics de l'ecologia sòbria: les relacions dels organismes amb l'entorn, l'estructura i la dinàmica de les poblacions, les interaccions entre espècies i les comunitats biològiques, i l'estructura i el funcionament dels ecosistemes i de la biosfera. L'alumnat ha de ser conscient de la idea de globalitat i interconnexió entre els components dels sistemes ecològics. Ha d'entendre els principals processos que tenen lloc en els cicles biogeoquímics i el fet que l'alteració d'alguns d'aquests cicles afecta el funcionament global de la biosfera. En aquesta línia, s'han de destacar els últims coneixements sobre els límits biofísics del planeta i el fet que traspassar aquests límits afecta els processos ecològics en general.

En concloure aquesta disciplina, l'alumnat ha de saber interpretar l'acció de l'home en l'entorn. El coneixement dels conceptes ecològics fonamentals es considera bàsic per desenvolupar l'avaluació de les polítiques de sostenibilitat i per treballar tant en la gestió integral i sostenible dels recursos naturals com en els processos de restauració ambiental.

8. Bibliografia

Libres

Beeby, A.; Brennan, A. M. (2004). First Ecology. Ed. Oxford.

Burel, F. (2003). Landscape ecology: concept, methods and applications. ISBN 1-57808-214-5.

Butcher et al. (1993). Global biogeochemical cycles. Academic Press. Nova York.

Conesa Fdez.-Vítora, V. (2003). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 3a ed. Ed. Mundi-Prensa.

D'Odorico, P.; Porporato, A. (ed.) (2006). Drylandecohydrology. Ed. Springer.

Dajoz, R. (2002). Tratado de Ecología. Ed. Mundi-Prensa.

Dobson, A. P. (1995). Conservation and Biodiversity. Scientific American Library.

Folch, R. (1988). Natura, ús o abús?. Llibre blanc de la gestió de la natura als Països Catalans. Ed. Barcino.

Fullana, P.; Samitier, S. (1996). Iniciació a l'avaluació del cicle de vida. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient.

Garmendia Salvador, A. (2005). Prácticas de ecología.

González del Tánago del Río, M.; García de Jalón Lastra, D. (1998). Restauración de ríos y riberas. Ed. Mundi-Prensa: Fundación Conde del Valle de Salazar.

Gordillo, D. (1995). Ecología y contaminación ambiental. Interamericana - McGraw Hill. Mèxic.

Graham Smith, L. (1993). Impact assessment & sustainable resource management. Themes in Resource Management. Longman Group. Londres.

Hough, M. (1995). Naturaleza y ciudad. Planificación urbana y procesos ecológicos. Ed. Gustavo Gili.

Krebs C. J. (2001). Ecology. Ed. Pirámide.

Margalef, R. (1986). Ecología. Ed. Omega.

Molles, M. C. (2006). Ecología: Conceptos y aplicaciones. ISBN: 978-84-481-4595-8.

Petts, G.; Callow, P. (ed.) (1996). River Restoration. Blackwell Science.

Piñol, J.: Martínez-Vilalta, J. (2006). Ecología con números: una introducción a la ecología con problemas y ejercicios de simulación. Editorial Lynx. ISBN: 978-84-96553-01-9.

Rodríguez, R. (1999). Ecología. Ed. Pirámide.

Smith, R. L.; Smith, T. S. (2000). Ecología. Ed. Addison Wesley.

Sutherland, W. J.; Hill, D. A. (ed.) (1995). Managing habitats for conservation. Cambridge Univ. Press.

Wathern, P. (1988). Environmental impact assessment. Theory and practice. Routledge ed.

Webs

<http://webs.ono.com/angkor/gaia.pdf>

<http://www.ecolo.org/lovelock>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Homeostasis>

<http://www.cbd.int/cop10/>

<http://www.copenhagendiagnosis.com/>

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

<http://www.maweb.org/en/index.aspx>

<http://www.unep-wcmc.org/cbd/support/thematicprogs.cfm>

http://www.visionlearning.com/library/modulo_espanol.php?mid=98&l=s&c3

http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_nitrógeno

9. Activitats

Activitat 1

Segons la definició de Krebs, l'ecologia és "l'estudi científic de les interaccions que determinen la distribució i l'abundància dels organismes". D'acord amb això, descriuiu els 15 factors més importants que afecten la distribució i l'abundància dels organismes. Ordeneu-los i agrupeu-los.

Feu l'activitat en grup (4-6) durant 30 min. Escriviu les conclusions, redacteu-ne un informe i exposeu-lo a classe.

Activitat 2

Visioneu [aquest vídeo](#) sobre la teoria de la resiliència i un dels pares del concepte: Buzz Holling.

Treball a casa: feu una anàlisi de 300 paraules per escrit, amb les principals aplicacions de la teoria de la resiliència en l'ecologia.

A continuació poseu en comú a classe les conclusions de l'activitat (total: 1 hora de treball a classe).

10. Crèdits

Com s'ha de citar aquesta unitat?

Morató, J.; Ortiz, M.; *Fonaments d'ecologia*. A: Carrera, E.; Segalàs, J. (ed.). *Tecnologia i sostenibilitat* [en línia]. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010. [Consulta: dia mes any]. Disponible a: <<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu>>

Els continguts d'aquesta unitat han estat elaborats per:

Jordi Morató Farreras

Càtedra UNESCO de Sostenibilitat
Universitat Politècnica de Catalunya

morato@oo.upc.edu

María de los Angeles Ortiz Balderas

