

11. Gaia: Karbonoaren ziklo biogeokimikoa

Ziklo biogeokimikoak

Elementu kimiko batek pairatzen dituen bihurketak (agente biologikoek, kimikoek eta biek katalizaturikoak) ziklo biokimikoak dira.

Mikroorganismoak beharrezkoak dira bihurketa hauetan, baita erredox erreakzioak ere. Nekazaritzarako eta landareen bizitzarako nahita nahiezkoak dira. Konposatu ezberdinen zikloak akoplaturik daude.

Karbonoaren ziklo biogeokimikoa

Karbonoaren zikloan bi gas garrantzitsu parte hartzen dute, CO₂ eta CH₄. Karbonoaren zikloak nitrogenoaren zikloa (aurrerago honetaz hitz egin) zein oxigenoaren zikloarekin estuki erlazionatuta dago. Oxigenoaren zikloarekin akoplatuta:

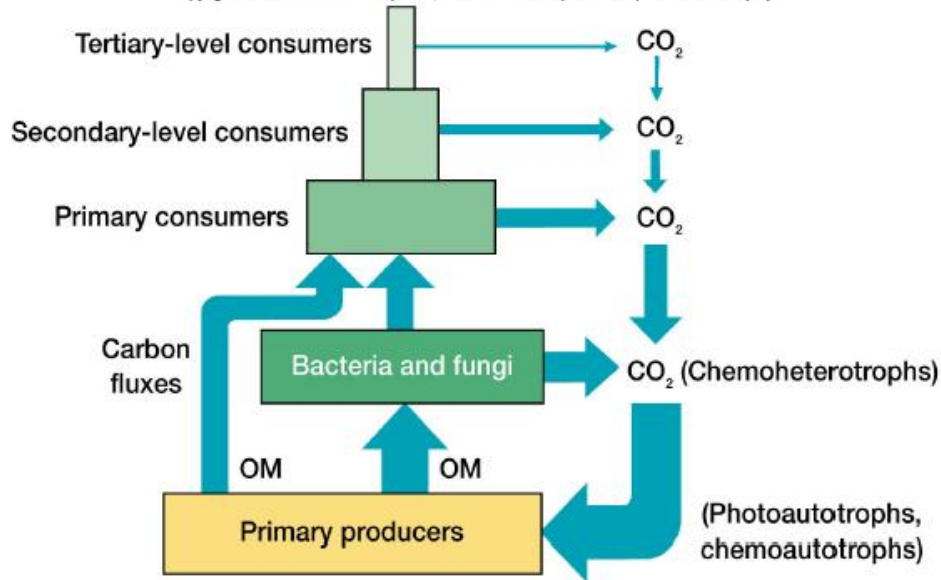
- Fotosintesi oxigenikoetan CO₂aren xurgapena eta O₂-ren askapena emango da.
- Arnasketa prozesuetan aldiz O₂ xurgatuko da eta CO₂ sortuko da.

Karbonoa planeta honetan hiru forma desberdinetan gordetzen da: atmosferan, itsasoan eta lurzoruan (taulako datuak ez dira ikasi behar). Hurrengo taulan erraz ikusten da hiru ingurune hauetatik gordailu garrantzitsuena atmosfera dela. Honetaz aparte beste gordailuetan kantitate handiak ikusten dira ozeanoetan karbonato moduko karbonoan eta lurrean lurrazalean.

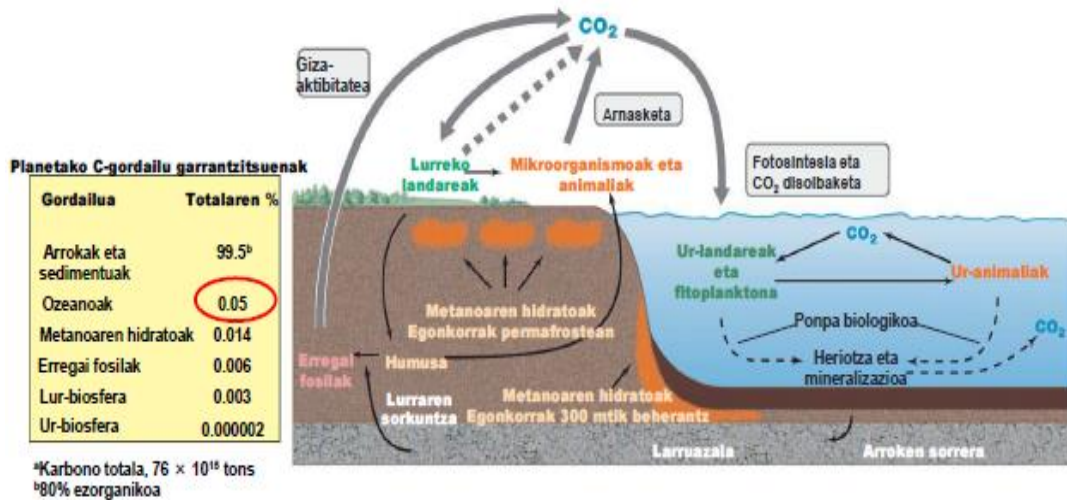
Atmosferan dagoen karbonoa ziklo biogeokimikoetan erabiltzen dena da. Lurreko eta ozeanoetako karbonoa, aldiz, ez. Erregai fosiletan ere karbono kantitate handiak daude. Hauek guk atera eta erretzen ditugu horrela CO₂a atmosferara askatuz eta ziklo biogeokimikoan sartuz.

Karbono gordailua	Karbono tona metrikoa	Aktiboki ziklaturik
Atmosfera		
CO ₂ ★	6.7 x 10 ¹¹	Bai
Ozeanoa		
Biomasa	4.0 x 10 ⁹	Bai
Karbonatoak ★ (sedimentuak)	3.8 x 10 ¹³	Ez
Disolbaturiko eta partikulaturiko organikoak	2.1 x 10 ¹²	Bai
Lurra		
Biota	5.0 x 10 ¹¹	Bai
Humusa	1.2 x 10 ¹²	Bai
Erregai fosilak	1.0 x 10 ¹³	Bai
Lurrazala ★	1.2 x 10 ¹⁷	Ez

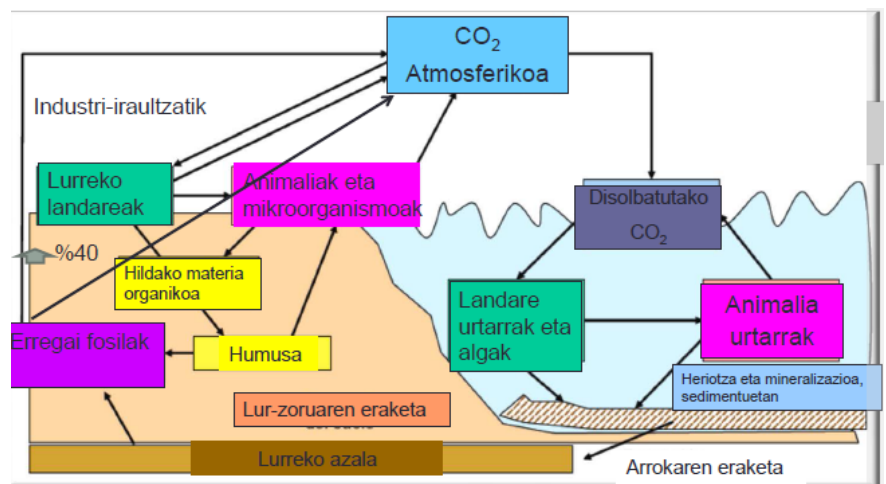
Ingurunean, ekoizle primarioak CO₂ finkatzen dute eta materia organikoa sortzen dute. Beste aldetik, beste izaki batzuk, gehien bat bakterio eta onddoak direnak ekoizle primarioak sortutako materia organikoa erabiltzen dutenak eta CO₂ askatzen dutenak. Azkeneko talde honetan ere animaliak sartuko dira baina proportzionalki mikroorganismoek askaturiko CO₂ kantitatea garrantzitsuagoa da.



Hurrengo irudian berdina ikusten. CO₂ asko gordeta dago ozeanoetan. Garrantzitsua da jakitea ozeanoetan karbonoaren ziloaren bi prozesu nagusi ematen direla. Izan ere, ozeanoen ponpa fisiko eta biologikoen bidez CO₂-ren xurgapena ematen da. Baita gogoratu behar da beste prozesu batzuetan CO₂ askatu egiten dela. Adibidez mikroorganismoek eta animaliek egindako arnasketa prozesuen ondorioz.

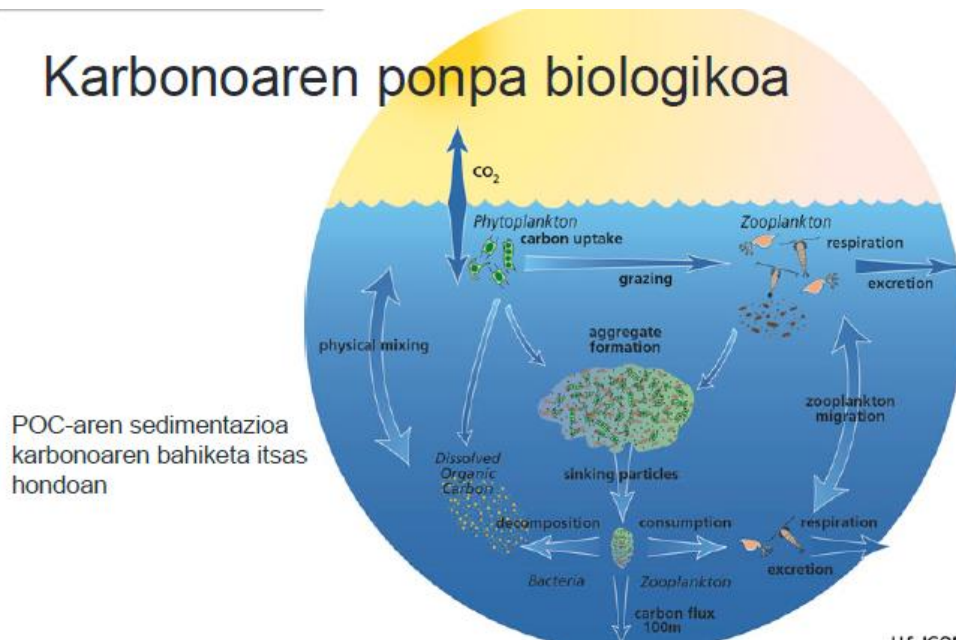


Industria iraultza hasi zenean, gizakiok atmosferara isuritako CO₂ kantitatea izugarri handitu zen. Gainera industria iraultzatik hona asko igo dira CO₂-aren isurketak. Isurketa hauen ondorioz, berotegi efektua ere asko handitu da.



Itsasoan ponpa biologiko bat ematen da. Hau izango da batez ere izaki bizidunek CO_2 xurgatu eta materia organikoa bihurtzen dutelako. Bakterio hauek beste izaki bizidunek jan eta hauek hiltzean materia organikoa uretan gelditzen da eta hondoratzeko joera dauka beheko mikroorganismoek materia organiko hau deskonposatzen dutelarik eta zikloa berriz hasiz.

Karbonoaren ponpa biologikoa



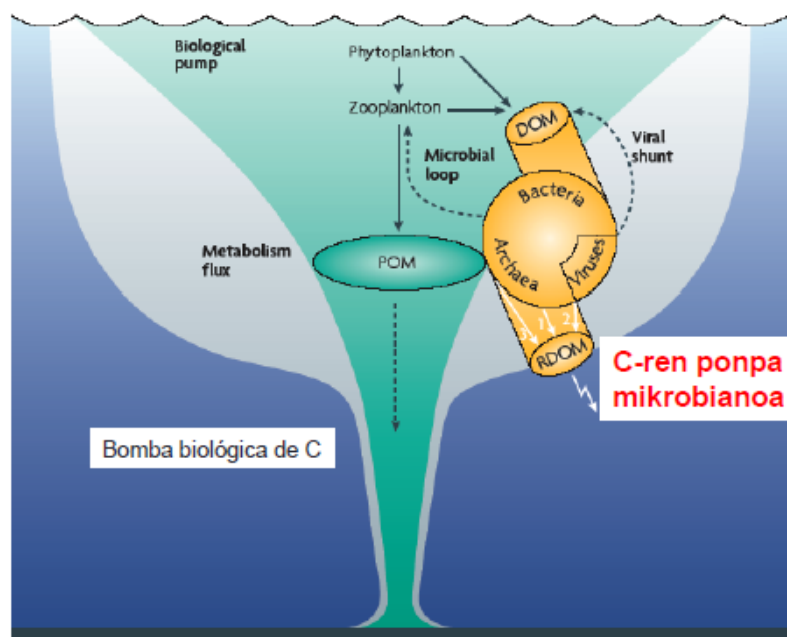
Karbonoaren ponpa mikrobianoa: itsasoaren hondora doan C geroz eta errekalzitanteagoa da. Itsasoaren azalerako mikroorganismoek materia organikoaren C erabilgarriena, hau da, degradatzeko errazena dena erabiltzen dute. Ondorioz, materia organikoa hondoratzen den heinean, gero eta C erabilgarri gutxiago gelditzen da. Hondora C errekalzitanteena iritsiz, hau da, degradatzeko zailena dena.

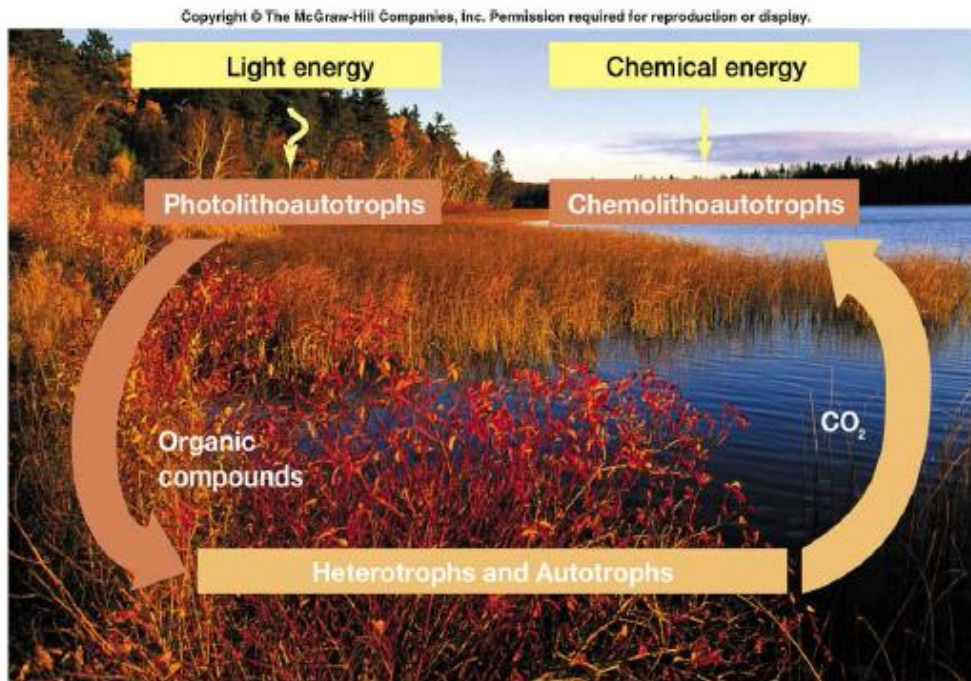
Karbonoaren ponpa mikrobianoa

1) Mikrobioen aktibitateak bihurtzen du materia organiko labila edo erdilabila RDOMan

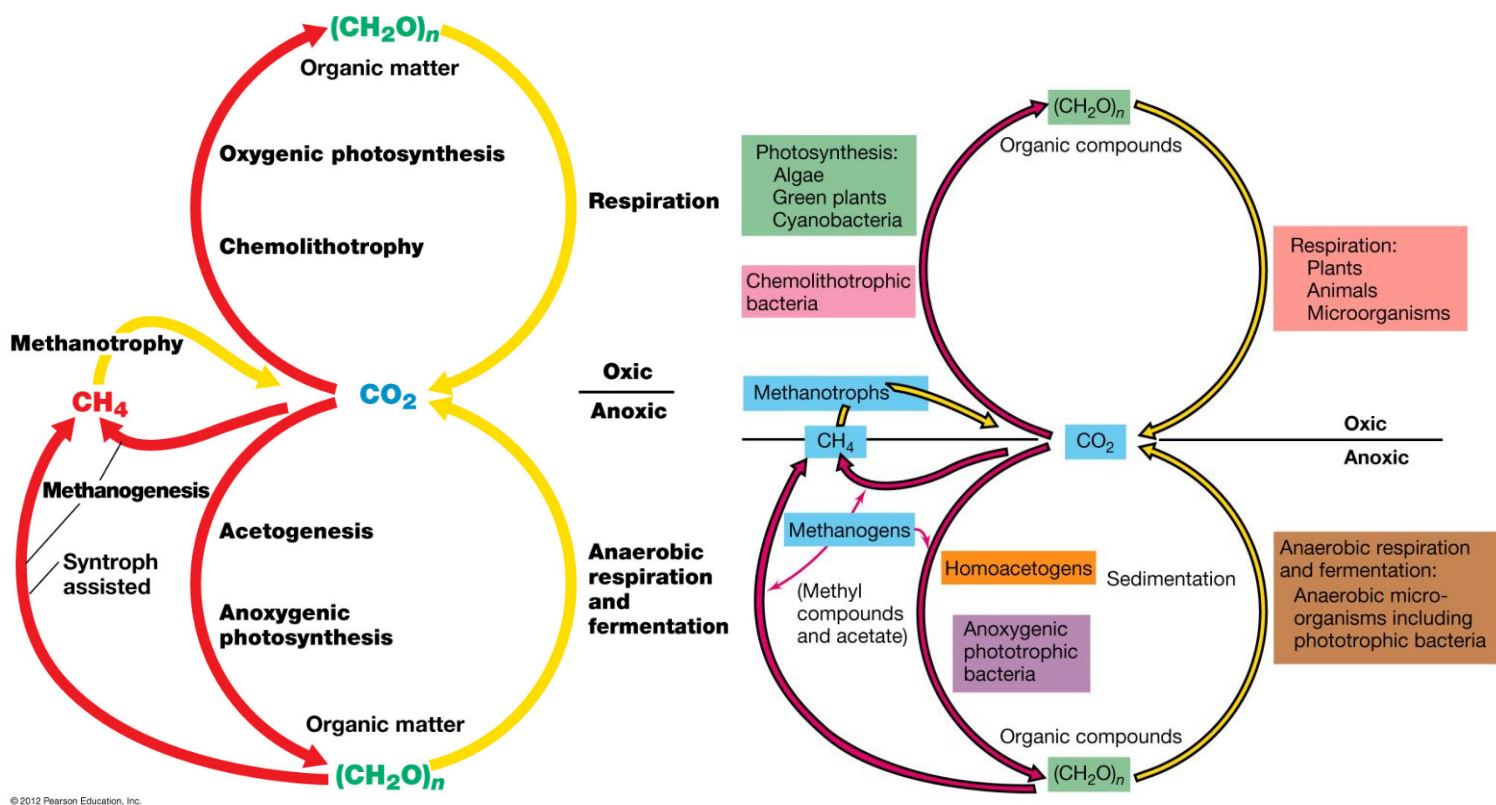
2) Materia organiko errekalzitratearen metaketa (300 milioi Tona/urte)

3) DOMaren C:N eta C:P koizienteen handipena sakontasunarekin batera





Karbonoaren zikloa: (Metanogenesisia arkeoak eta metanotrofoak bakterioak)



Autotrofia

Autotrofia CO₂ -aren finkapena da. Prozesu hau anaerobiosian zein aerobiosian emango da.

- Aerobiosian: fototrofoak eta kimiolitotrofoak burutuko dute
- Anaerobiosian: fotosintesi anoxigenikoa egiten duten bakterioak. Azetogenikoak ere hemen sartuta egongo dira baina bere proportzioa txikiagoa izango da fotosintesi anoxigenikoa egiten dutenekin konparatuz.

Karbonoaren zikloa



Lehen mailako ekoizle Aerobioak



- Fototrofoak
 - Landareak, Algak, Zianobakterioak
- Kimiolitotrofoak
 - H₂ oxidatzen duten bakterioak
 - *Alcaligenes*, *Aquifex*, *Pseudomonas*

Lehen mailako ekoizle Anaerobioak

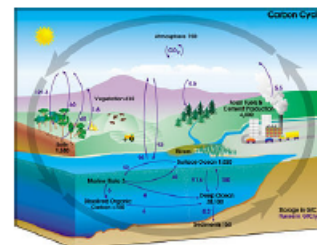


- Fotosintesi anoxigenikoa
 - Bakterio purpurak → *Chromatium*
 - Bakterio berdeak → *Chlorobium*

Azetogenesia

□ Kimioautotrofo anaerobio

- ✓ *Acetoanaerobium*
- ✓ *Acetobacterium*
- ✓ *Acetogenium*
- ✓ *Clostridium thermoaceticum*
- ✓ *Clostridium formicoaceticum*



Beste konposatu batzuk: karbohidratoak, gantz azidoak...

Heterotrofia

Heterotrofoak materia organikoaren degradazioaren bidez CO₂ askatuko dute. Hauek kimioorganitrofoak dira eta bi eratan burutu dezakete prozesua:

- Aerobiosian: arnasketa aerobikoaren bidez.
- Anaerobiosian: arnasketa anaerobikoaren bidez.

Karbonoaren zikloa



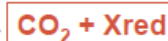
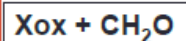
Deskonposatzaileak (kimioorganotr.)



- Aerobioak

- Arnasketa aerobikoa
 - Animaliak, Landareak, Algak, Mikroorganismoak

Deskonposatzaileak (kimioorganotr.)



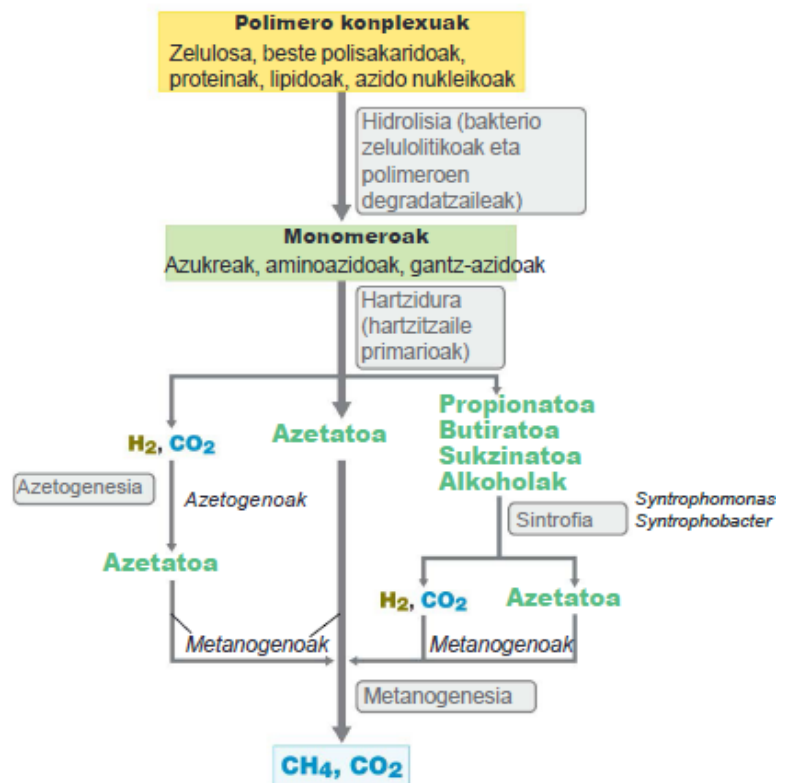
- Arnasketa anaerobikoa eta hartzidura
 - Mikroorganismoak

Deskonposaketa anoxikoan bide desberdinak eta mikroorganismo desberdinak parte hartu dezakete. Mikroorganismoen artean sintrofiak eratzen dira. Hasieran polimero konplexuak monomero bihurtuko dute eta hemendik eskeman ikusten diren bideak jarraitzen dira.

Karbonoaren zikloa

Deskonposaketa anoxikoa

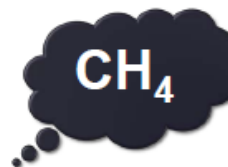
Erlazio sintrofikoa mikroorganismo desberdinen artean



Ziklo honetako bigarren konposatu garrantzitsua metanoa da. Metanoaren askapena atmosferara leku ezberdinetatik eman daiteke. Atmosferan askatzen den metanoaren proportzio gehiena gizakiok sortutako metanoa da.

Metanoak berotegi efektuaren eragile moduan CO₂-rekin konparatuz askoz handiagoa da. Baina sortzen den CH₄ kantitatea CO₂-rekin konparatuz oso txikia da.

Karbonoaren zikloa



Estimates of methane released into the atmosphere

Source	Methane emission (10 ⁶ metric tons/year)	
Biogenic		
Ruminants	80 - 100	
Termites	25 - 150	
Paddy fields	70 - 120	
Natural wetlands	120 - 200	
Landfills	5 - 70	
Oceans and lakes	1 - 20	
Tundra	1 - 5	
Abiogenic		
Coal mining	10 - 35	
Natural gas flaring and venting	10 - 35	
Industrial and pipeline losses	15 - 45	
Biomass burning	10 - 40	
Methane hydrates	2 - 4	
Volcanoes	0.5	
Automobiles	0.5	
Total	349 - 820	
Total biogenic	302 - 665	81 - 86% of total
Total abiogenic	48 - 155	13 - 19% of total
Anthropogenic	190 - 405	54 - 49% of total

Zenbait mikroorganismoek CO₂-tik metanoa sortzen dute hau askatuz. Hauek arkeo anaerobio hertsia dira (*Methanobacterium*, *Methanopyrus*). Ingurumen anoxikoetan agertzen dira: zingira, zohikaztegieta, lurlean, hausnarkarien errumenean.

Metanoa CO₂-ren bidez sortzen bada ere, badaude zenbait mikroorganismoek materia organikoa erabiliz CH₄ sortzen dutenak.

Metanogenesis

- ✓ CO₂ : Elektroi-hartzaile modura
- ✓ H₂: elektroi emailea
- ✓ CO₂ eta H₂ hartziduran askatu



Beste substratu batzuk:

- ✓ Metanol, formato, metilmerkaptano, metilaminak eta **AZETATO**:

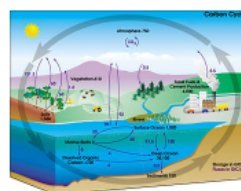


Planetan badago beste metano gordailu bat, metano-hidratoak. Metanoa izoztuta dagoenean eta urarekin erlazionatzean metano hidratoak sortzen dira. Hauek batez ere metano asko dagoenean, presio altuak direnean eta tenperatura baxuko lekuetan sortzen dira. Metano-hidratoak leku berezietan gordeta daude. Honekin dagoen arazoa da metanoa berotegi efektua sortzeko kapazitate handia duela eta gordeta dagoen metanoa hau askatzen bada planetan emango den klima aldaketa izugarria izango dela.

- ✓ Metano-hidratoak: metano izoztua
- ✓ Lur edo itsas-sedimentuen azpian
- ✓ Noiz?
 - Metano asko
 - Presio altua
 - Tenperatura baxua
 - 1 petagramoa (10¹⁵ g)
 - Askatzen eta hartzen da metanoa:
 - Presio-, tenperatura-aldaketak
 - Fluidoaren mugimendua

Badaude mikroorganismo batzuk zeintzuek metanoa degradatzen duten. Hau garrantzitsua izango da guretzako klima aldaketaren aldetik. Hauek kimioorganotrofo aerobikoak dira. Metanoa degradatzeko entzima berezi bat behar dute, metano monooxigenasa. Metanoa kasu honetan oxidatuko dute CO₂ askatuz.

Metilotrofoak (eta Metanotrofoa)



- ☐ Kimioorganotrofo aerobioak metanoa dagoen lekuetan (adb. Zingiretan)
- ☐ Metanotrofoak: metanoa oxidatzeko **Metano monooxigenasa**
- ☐ Bakterio mikroaerofiloak
 - *Methylomonas*, *Methylobacter*, *Methylocella* ...

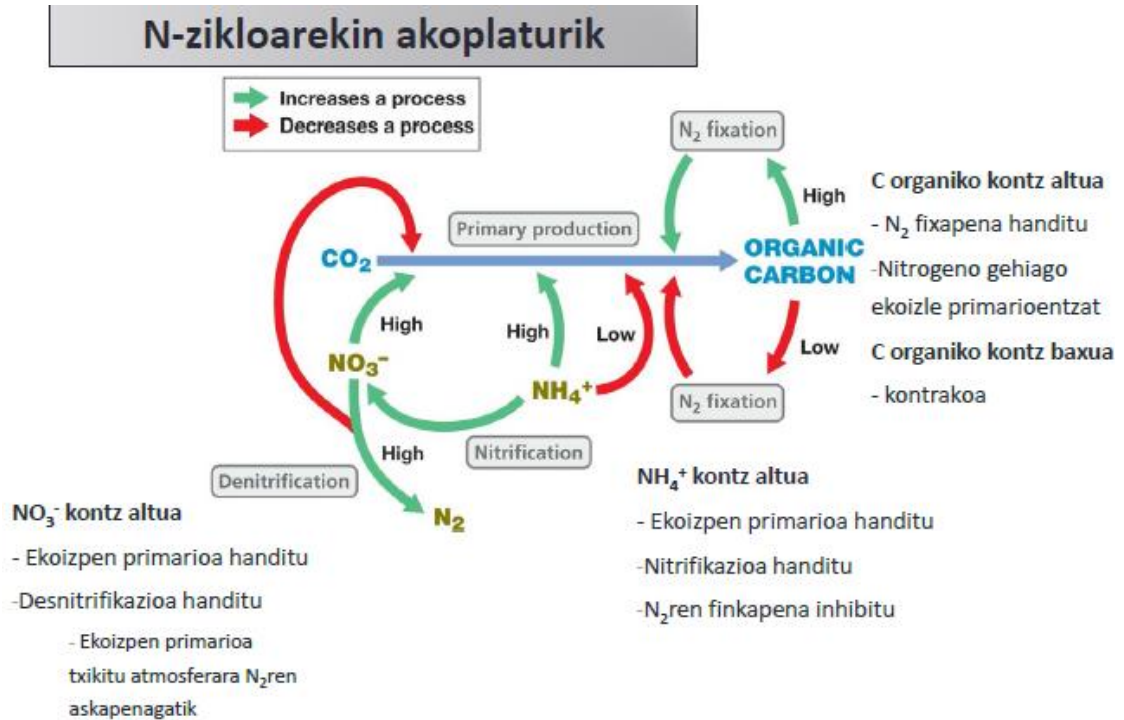


Itsas-sedimentuen metanoaren askapena eta erabilera

- Metanoaren arkeo oxidatzaile anaerobikoak:
 - Sulfato erreduzitzaileak
 - Nitrato erreduzitzaileak
 - Burdina edo manganosoaren oxidoen erreduzitzaileak
- Animaliekin sinbiosian dauden metanoaren oxidatzaile aerobikoak
- Beroketa globalaren eragina metano-hidrato hauetatik metanoaren askapenean?

- Permiako-Triasikon (duela 250 milioi urte) desagerpena (landareen eta animalien %70)

Interesgarriena beroketa efektua izango da. Lehen esan bezala, metano asko metano-hidrato modura gordeta dago. Gizakiak horrela jarraitzen badugu eta planetako tenperatura igotzen jarraitzen badu metano hau askatu egingo da eta klima aldaketa izugarria gertatuko da. Adituek, Permiko-triasikoan emandako desagerpena metano-hidratoengatik izan zela pentsatzen dute.



Lehen esan bezala, C-ren zikloan oxigenoaren zikloaz gain, nitrogenoaren zikloarekin akoplaturik dago. Segun zein konposatu nitrogenodunen bihurketa abiadura nolakoa den CO_2 -ren zenbait prozesu areagotu (berdea) edo moteldu (berdea) egingo dira.

Eraginak:

- Karbono organiko asko badago N_2 asko fixatuko da. N_2 finkatzerakoan CO_2 ere finkatuko dute. CO_2 ren finkapena handitu.
- Karbono organiko gutxi badago, nitrogeno atmosferikoaren finkapena baxuagoa izango da eta CO_2 gutxiago finkatu, moteldu.
- Amonioaren kontzentrazioa handia bada, mikroorganismoek nitrogeno asko amonio moduan finkatuko dute CO_2 ren finkapena igoz.
- Amonio gutxiago badago prozesua moteldu.
- Nitrifikazioa: nitratoa askatu. Nitratoen kontzentrazioa handiago eta nitrogeno finkatzaileak nitrogeno gehiago fixatu. Ondorioz, prozesua azkartu.
- Desnitrifikazioa: Batzuk nitratoa erreduzitu N_2 -raino, prozesuan N_2 galduz. Ondorioz, CO_2 ren ekoizpena moteldu.

Azken ondorioa: Nitrogeno zikloan agertzen diren konposatu batzuk eragin handia izango dute karbonoaren finkapenean.